

E. V. ANGERER

**TECHNISCHE KUNSTGRIFFE
BEI PHYSIKALISCHEN
UNTERSUCHUNGEN**

12., VÖLLIG NEUARBEITETE AUFLAGE

**HERAUSGEGEBEN VON
HERMANN EBERT**

UNTER MITARBEIT ZAHLREICHER FACHWISSENSCHAFTLER

FRIEDR. VIEWEG & SOHN BRAUNSCHWEIG

1959

Э. АНГЕРЕР

**ТЕХНИКА
ФИЗИЧЕСКОГО
ЭКСПЕРИМЕНТА**

ПЕРЕВОД С 12-го НЕМЕЦКОГО ИЗДАНИЯ

ПОД РЕДАКЦИЕЙ

К. П. ЯКОВЛЕВА

ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

МОСКВА 1962

АННОТАЦИЯ

Книга является коллективным трудом, посвященным подробному изложению вопросов техники физического эксперимента. В ней излагаются руководства к техническим приемам работы, к выбору различных материалов, используемых в современных физических лабораториях. Широко описаны многие методы эксперимента, вопросы эксплуатации лабораторных установок, конструкции и применения наиболее распространенных видов физических приборов.

Перевод осуществлен с 12-го немецкого издания книги, вышедшего в 1959 г.

Книга рассчитана на студентов, аспирантов, научных и инженерно-технических работников различных специальностей. Много полезного найдут в ней лица, занимающиеся конструированием и эксплуатацией разнообразной физической аппаратуры в научных и заводских лабораториях.

Э. Ангерер.

Техника физического эксперимента.

М., Физматгиз, 1962 г., 452 стр. с илл.

Редактор *И. М. Железных.*

Техн. редактор *Н. Я. Мурашова.*

Корректор *Т. С. Плетнева.*

Сдано в набор 8/III 1962 г. Подписано к печати 11/VII 1962 г. Бумага 84 × 108¹/₃₂. Физ. печ. л. 14,125. Условн. печ. л. 23,17. Уч.-изд. л. 33,77. Тираж 18 000 экз. Цена книги 1 р. 79 к. Заказ № 2817.

Государственное издательство физико-математической литературы.
Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Первая Образцовая типография имени А. А. Жданова
Московского городского совнархоза. Москва, Ж-54, Валовая, 28.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие редактора перевода	7
Из предисловия к 12-му немецкому изданию	8

РАЗДЕЛ I

ЛАБОРАТОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИЕМЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ

Глава I. Применения некоторых материалов, получение их в чистом виде	9
§ 1. Металлы, сплавы, карбиды (Б. Шарнов, Г. Эберт)	9
§ 2. Неметаллы	37
А) Неметаллические элементы (Г. Эберт)	37
Б) Разделение газообразных изотопов (В. Грот)	43
§ 3. Искусственные материалы (пластмассы)	45
А) Органические искусственные материалы (Я. Молль)	45
Б) Неорганические искусственные материалы	55
а) Стекло (Г. Лёбер)	55
б) Керамические массы (Г. Эберт)	62
в) Замазки и клеи (Я. Молль)	64
Глава II. Некоторые лабораторные приемы	70
§ 1. Пайка и сварка (Г. Ленерт)	70
§ 2. Обработка поверхностей (защитные слои и пленки) (Г. Эберт)	83
§ 3. Обработка стекла (Г. Лёбер)	88
§ 4. Металлические покрытия (Г. Эберт, Р. Ричль)	112
§ 5. Тонкие пленки (Г. Маль)	124
§ 6. Тонкие проволоки (Г. Эберт)	130
§ 7. Тонкие нити (Г. Эберт)	135

РАЗДЕЛ II

НЕКОТОРЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ

Глава I. Аппаратура для высоких давлений (Я. Гилессен)	139
Глава II. Акустические методы (В. Лоттермозер)	153
Глава III. Защита от высокочастотных электромагнитных полей (Э. В. Гельмгольц)	160
Глава IV. Электронная микроскопия (Г. Маль)	162
Глава V. Защита от сотрясений (Г. Тингвальдт)	165
Глава VI. Вакуумная техника (К. Дильс, Р. Еккель)	168
Глава VII. Наполнение спектральных трубок (Г. Эберт)	204
Глава VIII. Магнетизм (Р. Охсенфельд)	205
Глава IX. Оптика (Р. Карио, Г. Эберт, Г. Корте)	212
Глава X. Фотография (В. Мейдингер)	223
Глава XI. Методы регулирования	233
§ 1. Число оборотов (В. Мейерен)	233
§ 2. Давление (мано- и вакуостаты) (Я. Гилессен)	235

§ 3. Влажность и температура (климостаты) (Г. Эберт)	240
§ 4. Электрическое напряжение (стабилизаторы) (Э. В. Гельмгольц)	242
§ 5. Температура (термостаты) (Я. Гилессен)	244
Глава XII. Метод Теллера (Г. Шардин)	254
Глава XIII. Обращение с различными устройствами (Г. Эберт)	264

РАЗДЕЛ III

НЕКОТОРЫЕ ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ К НИМ

Глава I. Акустические приборы (В. Лоттермозер)	267
Глава II. Электроды (Г. Эберт, Э. В. Гельмгольц)	283
Глава III. Электронные лампы (Э. В. Гельмгольц).	290
Глава IV. Окна в разрядных трубках. Толщина и фильтрующее действие окон в отпаянной разрядной трубке (Р. Егер)	293
Глава V. Источники ионов (Г. Эберт)	293
Глава VI. Ионизационные камеры и счетчики, повышение их чувствительности (Р. Егер)	294
Глава VII. Высокоомные сопротивления, изоляторы (В. Мейерен)	296
Глава VIII. Изготовление люминесцирующих экранов (Г. Эберт)	306
Глава IX. Изготовление измерительных диафрагм (Р. Егер)	307
Глава X. Изготовление штифтов и трубочек Нернста (К. Тингвальдт)	307
Глава XI. Изготовление электрических печей (К. Тинг- вальдт)	310
Глава XII. Оптические приборы (Г. Эберт, Г. Корте, К. Тингвальдт)	317
Глава XIII. Рентгеновская трубка для широкоугольных снимков, ее изготовление и принадлежности. Двойная съемка камерой с малым отверстием (Р. Егер)	327
Глава XIV. Тепловые приборы	329
§ 1. Индикаторы температуры (Г. Эберт)	329
§ 2. Термоэлементы (А. Шульце)	330
§ 3. Низкие температуры (Г. Мейсснер)	339
§ 4. Изготовление термометров сопротивления (В. Хойзе)	349
Глава XV. Часы (Е. Рикман)	352
Глава XVI. Изготовление уранового компенсатора для измерения слабых ионизационных токов (Р. Егер)	354
Глава XVII. Счетчики, камера Вильсона	355
§ 1. Счетчик Гейгера — Мюллера (Г. Френц)	355
§ 2. Сцинтилляционный счетчик (С. Вагнер)	370
§ 3. Камера Вильсона (Г. Френц)	383
Глава XVIII. Ячейки и элементы	384
§ 1. Ячейка Керра (Е. Фюнфер)	384
§ 2. Фотоэлементы (В. Лео, Г. Эберт)	387
Литература	391
Предметный указатель	446

ПРЕДИСЛОВИЕ РЕДАКТОРА ПЕРЕВОДА

Книга Э. Ангерера «Техника физического эксперимента» вышла в Германии первым изданием еще в 1924 г. При очень небольшом объеме она содержала весьма богатый и новый материал по вопросам лабораторной техники, в области которой Э. Ангерер являлся крупнейшим авторитетом. Эта книга, выдержавшая в Германии много изданий и переведенная на другие языки, известна и нашим читателям: в 1934 г. вышел ее русский перевод, сделанный с одного из первых немецких изданий. Особую ценность придает книге критическое отношение автора к различным рекомендуемым рецептам и лабораторным приемам: автор, сам очень много работавший в этой области, часто оценивает степень пригодности рекомендаций в различных случаях и указывает причины возможных неудач.

Работая над книгой почти тридцать лет, Э. Ангерер непрерывно пополнял ее новыми тщательно проверенными материалами. Благодаря этому книга, возраставшая по объему с каждым новым изданием, продолжала сохранять характер вполне надежного справочника «по новейшим приемам» лабораторной техники. Этот характер книга не утратила и после смерти ее автора в 1951 г.: посмертные издания книги, выходявшие под общей редакцией проф. Г. Эберта, продолжались к печати большим коллективом сотрудников, которые продолжали пополнять книгу новыми проверенными данными каждый по своей специальности. В последнем, 12-м издании эта книга по-прежнему содержит очень ценные и свежие материалы.

Однако приходится отметить, что это издание не свободно от некоторых недостатков. Там, где речь идет о лабораторно-технических вопросах, книга сохраняет свой характер прекрасного справочника; также удачно подобраны характеристики весьма разнообразных новых и новейших искусственных материалов, широко применяемых в лабораториях. Но описания измерительных методов и аппаратуры часто даются настолько кратко и схематично, что бывает трудно, а иногда и невозможно разобраться в деталях и особенностях конструкций, если не обращаться к первоисточникам. В этих случаях можно рассчитывать только на библиографию к книге, которая содержит более 1300 литературных ссылок и доведена до 1958 г. Упреки вызывает также несистематическое изложение материала, что вызвано, по-видимому, очень быстрым пополнением книги новыми данными; в результате иногда оказывается, что один и тот же частный вопрос рассматривается в двух и даже в трех различных местах книги. Этот недостаток отчасти искупается очень подробным предметным указателем, который позволяет легко ориентироваться в книге.

Эти незначительные недостатки не снижают больших достоинств последнего издания книги Э. Ангерера, которая была и остается наиболее полным и пока еще непревзойденным собранием весьма разнообразных рецептов и практических указаний во многих разделах современной экспериментальной физики.

Русский перевод книги Э. Ангерера, первоначально сделанный по 11-му изданию, затем был выверен по последнему, 12-му изданию. Перевод 11-го издания был сделан Н. М. Шикунинной, работы по сличению обеих изданий и перевод больших дополнений, введенных в последнее издание, были выполнены Л. Н. Капцовым и К. Я. Сенаторовым. Перевод книги был сделан почти без сокращений. Опущены только: 1) последний, очень короткий раздел книги, где излагаются главным образом немецкие нормы по технике безопасности работ в физических лабораториях, 2) названия и адреса немецких фирм, изготовляющих физические приборы и лабораторные принадлежности, и 3) излишне детальные описания двух-трех установок, которые применяются только в Германии; эти материалы не могут представлять интереса для наших читателей.

На русском языке имеется несколько оригинальных и переводных монографий по лабораторной технике и методике измерений. Книга Э. Ангерера в ее последних изданиях является наиболее полной среди книг подобного рода. Русский перевод ее представит большой интерес для лиц, занимающихся физическим экспериментом, а также для работников физических и технических лабораторий самых различных специальностей.

Декабрь 1961 г.

Проф. К. П. Яковлев

ИЗ ПРЕДИСЛОВИЯ К 12-МУ НЕМЕЦКОМУ ИЗДАНИЮ

Двенадцатое издание «Техники физического эксперимента» совпадает с небольшим юбилеем: первое издание этой книги вышло 35 лет назад. Отглядываясь на эти годы, можно, при всей скромности, сказать с уверенностью, что «Техника физического эксперимента» получила признание и заняла прочное место в лабораториях.

Постоянный большой интерес к этой книге, проявлявшийся в многочисленных устных и печатных дискуссиях и отзывах, оказывал большую помощь в пополнении и улучшении книги.

В этом, 12-м издании значительно расширен литературный указатель, выделенный в виде особого раздела. Это издание также дополнено большим новым материалом, полученным от многочисленных исследователей, которые присылали сообщения о рекомендуемых ими новых приемах и средствах.

Мы рассчитываем, что 12-е издание книги встретит такой же благосклонный прием, каким пользовались предыдущие издания.

Брауншвейг, апрель 1959 г.

Герман Эберт

РАЗДЕЛ I

ЛАБОРАТОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИЕМЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ

ГЛАВА I

ПРИМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕНИЕ ИХ В ЧИСТОМ ВИДЕ

§ 1: Металлы, сплавы, карбиды

А) Очистка металлов и сплавов

Применимость металлов и сплавов в большой степени обуславливается их чистотой, т. е. отсутствием различных загрязнений. Поглощенные, растворенные и связанные газы так же вредны, как и твердые примеси. Для их удаления пользуются термической обработкой металлических материалов, сплавы получают обычным путем или при помощи спекания, применяется также переплавка металлов, лучше всего в вакууме [1]. От твердых примесей, имеющих достаточно низкую температуру кипения, металлы можно успешно освобождать, также переплавляя их в вакууме. Таким приемом при давлении 10^{-5} мм рт. ст. можно уменьшить содержание марганца в железе до $10^{-3}\%$. Примеси, образующие летучие окисы, такие, как углерод, можно удалять действием достаточного количества кислорода, если только основной металл, также окисляющийся при этом процессе, можно затем восстановить, например, обработкой водородом.

Молибден, ниобий, рений, тантал, вольфрам получают из их хлористых соединений, гафний, торий, титан, цирконий — из йодистых соединений. Чистые металлы осаждаются из паров этих соединений на проволоке, нагреваемой током; при этом надо прежде всего удалить кислород, азот и углерод [2].

Электролизом водных растворов можно получать в весьма чистом виде свинец, хром, железо, золото, индий, кобальт, медь, никель, серебро, цинк [3]; при этом необходимо удалять водород, переплавляя металлы в вакууме. Электролитическое осаждение порошкообразного металла (при слабой концентрации осаждаемых ионов и высокой плотности тока — «порошковый электролиз») позволяет при последующем прессовании и спекании получать компактный материал без загрязнения, имеющего место при реакции в тигле [4]. Из достаточно хорошо очищенных металлов можно удалять твердые примеси методом зонной плавки по Пфану [5] до достижения любой степени чистоты, например, для германия до $10^{-8}\%$. При этом методе металлический стержень, помещенный в лодочке внутри трубы, эвакуированной или наполненной инертным газом,

медленно проходит через несколько узких индукционных полей (создающих градиент температуры); возникающие перемежающиеся зоны плавления смещают более легкоплавкие примеси к одному концу стержня, в то время как более тугоплавкие примеси накапливаются на противоположном конце [4]. Благоприятное влияние на процесс оказывает добавление к очищаемому материалу небольших количеств одной или нескольких присадок, способствующих удалению загрязнений [6, 7].

Б) Щелочные металлы

В табл. I, 1 приведены некоторые наиболее важные свойства щелочных металлов; λ обозначает длину волны, которая отвечает максимуму селективного фотоэлектрического эффекта [8], V_A обозначает потенциал возбуждения и V_j — ионизационный потенциал [9].

Таблица I, 1

Металлы	Li	Na	K	Rb	Cs
Плотность при 18° С, г/см ³	0,53	0,97	0,86	1,52	1,89
Точка плавления, °С	179	97,8	63,5	39,0	28,5
Точка кипения, °С	1340	883	760	713	690
Электроположительность	возрастает				
λ , Å	2800	3180	4360	4800	5100
V_A , e	1,84	2,09	1,61	1,55	1,38
V_j , e	5,37	5,12	4,32	4,16	3,88

Металлы расположены в таблице по возрастающей окисляемости под действием кислорода воздуха; в то время как температура воспламенения Li лежит выше 180° С, Cs воспламеняется немедленно от соприкосновения с воздухом при обычной температуре. Уже при работах с Na и K необходимо считаться с этой опасностью [10] (ящик с песком!).

При повышенной температуре со щелочными металлами реагируют также азот и водород, образуя соответственно нитриды и гидриды; активность при этих реакциях возрастает в направлении, обратном расположению металлов в таблице, т. е. от Cs к Li; последний образует устойчивый гидрид; в азоте литий можно довести до воспламенения, при этом образуется нитрид.

Щелочные металлы следует сохранять в стеклянных или в жестяных паяных сосудах, под слоем керосина. Но Rb и Cs целесообразнее восстанавливать в вакууме из их солей непосредственно перед употреблением.

При введении щелочных металлов в разрядную трубку можно применять следующие методы:

- а) Вливание расплавленных металлов: Na, K (Rb).
- б) Дистилляция: Li [11], Na, K (Rb).
- в) Восстановление из солей, упомянутое выше.
- г) Электролиз через стеклянную стенку: Na (K).

При этом следует отметить, что Li занимает среди щелочных металлов особое место; при температуре плавления (относительно высокой) литий разрушает стенки стеклянных и кварцевых сосудов.

а) *Вливание металла:* Na, K. Кусочек металла промывают в двух порциях петролейного эфира (бензина, ксилола) для удаления приставшего к нему керосина [12], затем быстро срезают ножом на фильтровальной бумаге поверхностный слой окиси, вслед за чем немедленно опускают металл в тонкостенную трубку, имеющую по крайней мере 20 см длины, изображенную на рис. 1,1а. Трубка сейчас же запаивается в точке А и откачивается. После этого металл осторожно разогревается на кончике пламени до тех пор, пока он блестящей серебряной струйкой не потечет по трубочке В в прибор, оставляя за собой слой отделившейся окиси. Тогда трубку отъединяют от прибора, отпаявая ее в месте В.

Если металлы необходимо освободить от основного количества содержащегося в нем водорода, то после удаления наружной корки металла его помещают в трубку, изображенную на рис. 1,1б, которую также запаивают в точке А и откачивают. Затем, продолжая непрерывную откачку, подогревают конец М трубки и поддерживают примерно в течение 1/2 часа его температуру около 150—250° С (лучше всего при помощи небольшой электрической печи). После полного охлаждения трубку отрезают вблизи М, разрушают стекло ударом молотка (оно прочно держится на металле и не отделяется) и бросают кусок М в трубку, имеющую форму, изображенную на рис. 1,1а. Далее поступают так же, как описано выше.

б) *Многokратная дистилляция* служит наиболее надежным способом удалить из металла связанный водород. Тяжелые щелочные металлы легко дистиллируются в вакууме, даже через узкие места для отпайки. Если при работе часто требуются небольшие количества чистого щелочного металла (K, Rb), то расплавленный конденсат переливают (в высоком вакууме) в тонкие стеклянные трубочки с внутренним диаметром 3—4 мм и длиной 20 см. После наполнения эти трубочки отрезают и закрывают их открытые концы парафином или плицеином. Металл сохраняется в таком виде на протяжении месяцев. По мере надобности отрезают кусочек трубки и переводят металл в апаратуру, [13].

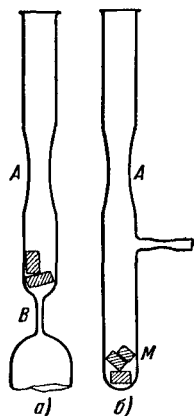


Рис. 1,1. Введение щелочных металлов в разрядные трубки.

е) К, Rb, Cs лучше всего получать посредством восстановления металла в вакууме из хлоридов [14]. Для этого смешивают 1 г измельченного металлического кальция с 3,7 г хлористого калия, или соответственно с 6,0 г хлористого рубидия, или с 9,0 г хлористого цезия, заполняют полученной смесью закрытую с одного конца железную трубочку *P* (рис. 1, 2а) и помещают ее в трубку из тугоплавкого стекла, левый конец которой запаивают. После откачки разогревают трубочку *P* до красного каления, при этом хлорид медленно восстанавливается, и щелочной металл, возгоняясь, конденсируется крупными каплями на стенках колена К. С указанными выше количествами, при полном их использовании, можно получить

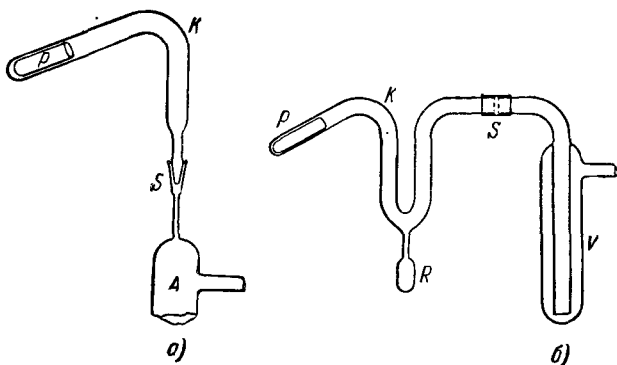


Рис. 1,2. Получение щелочных металлов из их хлоридов.

соответственно 1,7 г калия, 4 г рубидия или 6,5 г цезия. Когда в колоне К накопится достаточное количество металла, стенки стеклянной трубки разогревают, и металл стекает через предварительно подогретый шлиф *S* в аппарат *A* (из обыкновенного стекла).

Вместо шлифа можно пользоваться резервуаром *R* (рис. 1, 2б), который отплавляется по наполнении его щелочным металлом. Отделив резервуар *R*, бросают его (открытым концом вниз) в приспособление, изображенное на рис. 1, 1а. Для предотвращения воспламенения металла при вскрытии ампулу *R* предварительно охлаждают при помощи твердой углекислоты (в химическом стакане), вскрытие производят в атмосфере CO_2 . На рис. 1, 2б изображена еще одна часть вакуумной проводки: *S* обозначает место соединения (на замазке), связывающее обыкновенное стекло с тугоплавким; *V* — «ловушка».

Вместо кальция, который на воздухе весьма нестоек, де Бюер, Бросс и Эмменс применяли цирконий [15]. Авторы предлагают применять, например, 10 частей циркония в порошке плюс 1 часть бихромата рубидия ($t_{\text{пл}} \approx 370^\circ \text{C}$) или 10 частей циркония в порошке плюс 1 часть бихромата цезия ($t_{\text{пл}} \approx 380^\circ \text{C}$).

г) При электролитическом методе [16] применяют аппаратуру, схематически изображенную на рис. 1,3. В откачанную колбу К из натрового стекла с возможно малым содержанием свинца помещен горячий катод *G* (спираль). Колба погружена в железный тигель с подогретой до $270\text{--}350^\circ \text{C}$ расплавленной смесью, состоя-

щей из равных частей азотнокислого и азотистокислого натрва. В представляет собой источник напряжения от 100 до 300 в, отрицательный полюс которого соединен через предохранительное сопротивление в несколько тысяч ом со спиралью G, а положительный полюс соединяется с тиглем. Ионы Na проникают из расплавленного раствора через стекло и нейтрализуются электронами, эмитируемыми катодом. При токе 10^{-4} а через час или два на самых холодных верхних местах колбы осаждается блестящее натриевое зеркало, имеющее контакт с вспомогательным электродом Н. Лёбе и Ледиг [17] применяют ионный разряд в благородном газе (т. е. без горячего катода) и ток силой 40 ма (рис. 1,3).

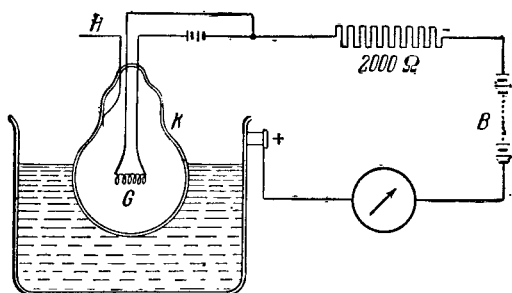


Рис. 1,3. Электролитическое введение натрия.

Получение калия непосредственно из его азотнокислых солей не удастся. Согласно Форро и Патаи [18] этого можно достичь путем замещения на внутренней стороне колбы ионов Na ионами K. Для этой цели колбу, которая, как было описано, погружена в расплавленный раствор азотнокислых солей натрия, наполняют азотнокислым калием и при электролизе (20 ма, 30 мин) соединяют с катодом внешнюю ванну. После этого колба промывается и снабжается горячим катодом. Если затем поступать так, как это было описано выше, то проникающие извне ионы Na осаждаются на внутренней стенке, освобождая атомы K. Аналогичным образом можно получить зеркальные слои Rb и Cs.

Для того чтобы ввести Na в стекло пирекс, Пике [19] применяет ванну из азотнокислого Na с 0,4% азотистокислого K и 0,8% азотистокислого Ca при $480-510^{\circ}\text{C}$; при плотности тока 5 ма/см^2 выделяется 4 мг Na на 1 см^2 в час.

д) Совершенно свободные от водорода щелочные металлы получают при нагревании их азидов (например KN_3); таким же образом можно получать Ba из BaN_6 .

Сплавы K и Na, содержащие 1 часть Na и от 2 до 10 частей K, при обычной температуре являются жидкими; в таком виде их можно применять для наполнения газоразрядных трубок. Для приготовления таких сплавов сначала расплавляют Na в фарфоровой чашечке под слоем парафинового масла и затем добавляют к нему соответствующее количество K. Сплав в течение некоторого времени может находиться на воздухе, однако его мелкие капельки могут внезапно воспламеняться.

Обычное стекло и кварц подвергаются постепенному воздействию горячего щелочного металла, свинцовое стекло чернеет и трескается. Сравнительно хорошо держится иенское стекло 2954.

В) С у р ь м а , Sb

Атомный вес 121,76, плотность 6,69 г/см³, температура плавления 630,5° С, температура кипения 1640° С.

Палочку аморфной сурьмы можно получить путем электролиза концентрированного раствора SbCl₃ подкисленного соляной кислотой. Анодом служит сурьма, катодом—пучок медных проволок; необходима температура не выше 25° С и большая плотность тока [20].

Sb-электроды применяются при измерениях рН [21]. При легировании сурьмы кадмием получают полупроводниковый материал [22].

Г) Б е р и л л и й , Be

Атомный вес 9,013, плотность 1,86 г/см³, температура плавления 1278° С, температура кипения 2970° С.

Свежая поверхность Be немедленно покрывается слоем окисла. Металл при обыкновенной температуре обычно тверд и хрупок. При нагревании до красного каления становится ковким; пластинки Be 20 мм шириной и 1—2 мм толщиной применяются в качестве окошечек в рентгеновской аппаратуре [23], так как они пропускают рентгеновские лучи в 17 раз лучше, чем алюминиевые. Катоды из Be подвержены еще меньшему распылению при тлеющем разряде, чем катоды из алюминия, и не реагируют со ртутью. При температуре от 600 до 800° С Be можно осаждать электролитически на меди, никеле, железе или алюминии из расплава фтористо-щелочных соединений и соединений окиси бериллия со фтором; на поверхностях этих металлов образуются при этом сплавы с бериллием [24].

Д) Ц е р и й , Ce

Атомный вес 140,13, плотность 6,75, температура плавления 815° С.

Обладает такой же твердостью и вязкостью, как олово. Свет горячей проволоки по яркости превышает яркость горячей магниевой проволоки. В чистом кислороде воспламеняется при температуре 150° С. Получение спектроскопически чистого металла из амальгамы описывает Аудриэт, он указывает на применение этого металла в качестве геттера [25]. «Цериевая смесь металлов» содержит 50% Ce, 40% La, остальное Fe и др.

Е) Г а л л и й , Ga

Атомный вес 69,72, плотность при 29° С 5,904 г/см³ (твердый), при 31° С 6,095 г/см³ (жидкий).

Металл подобен алюминию. Его особенностью является низкая температура плавления (29,92° С) и высокая температура кипения (свыше 2000° С); термометры (из кварцевого стекла), наполненные галлием или его сплавами, применяются в интервале температур от—15° до +1000° С. При высоких температурах галлий,

как неядовитую жидкость, предложено применять вместо ртути в жидких затворах. Возможно его применение в электронных лампах [26].

Ж) Г е р м а н и й, Ge [27]

Атомный вес 72,6, плотность 5,35 г/см³, температура плавления 937,2° С.

Хрупкий, устойчивый на воздухе металл, при сильном нагревании окисляется до двуокиси. В химическом отношении находится примерно между оловом и кремнием. Среди всех полупроводников кристаллы германия отличаются максимальной подвижностью электронов. Кристалл германия обнаруживает в месте контакта очень низкое сопротивление в направлении тока и очень высокое сопротивление в обратном направлении, вследствие чего этот элемент занимает особое место как выпрямитель [28]; в этом случае необходима высокая степень его чистоты. Рецепт для травления по Хайденрейху: 15 см³ уксусной кислоты, 25 см³ концентрированной азотной кислоты, 15 см³ плавиковой кислоты, 0,3 см³ брома [29].

З) И н д и й , In

Атомный вес 114,82, плотность 7,31 г/см³, температура плавления 156° С, температура кипения выше 1450° С.

Чистый металл получается электролизом из раствора серно-кислой соли. Благодаря низкой температуре плавления и высокой температуре кипения может применяться для наполнения термометров, особенно в виде сплава с Sn и Ga [30]. Применим также как припой при спаивании металлов с неметаллами, а в виде сплава с Pb, Sn и Ag — и для соединения со стеклом [31].

Фосфорнокислый индий является полупроводником и применяется для изготовления транзисторов [32].

И) М о л и б д е н, Mo

Атомный вес 95,95, плотность 10,2 г/см³, температура плавления 2620° С, температура кипения около 4800° С.

Чистый металл получают восстановлением его окислов действием H₂ при температуре около 1000° С. Он применяется для изготовления электродов вакуумных ламп благодаря тому, что имеет большую механическую прочность и большее удлинение при разрыве, чем вольфрам, а также значительно дешевле последнего. Кроме того, он применяется в качестве материала для нагревателей (в защитной атмосфере) в электрических печах специальных типов (относительно в плавлении молибдена в стекло см. дальше). Металл можно паять «твердым припоем» (латунью с бурой). По Хэрвуду хрупкость, возникающая из-за накопления в металле окиси, может быть устранена многократной переплавкой в вакууме при 10⁻⁶ мм рт. ст. [33].

К) Н и о б и й (к о л у м б и й), Nb

Атомный вес 92,91, плотность 8,58 г/см³, температура плавления 1950° С, температура кипения 2900° С.

Металл, подобный Ta, не подвергается действию кислот, за исключением HF. Допускает прокатку и сварку. Получать в чистом

виде можно путем электролиза расплава K_2NbF_7 (графитовый анод). Согласно исследованиям Реймана и Гранта работа выхода электронов для очень чистого металла составляет 4,01 эв [34]. Он применяется в качестве электродов в выпрямителях переменного тока и как материал для катодов в генераторных лампах.

Л) П л а т и н а, Pt

Атомный вес 195,09, плотность 21,4 г/см³, температура плавления 1773° С, температура кипения 4180° С.

Благодаря своей химической стойкости даже при высоких температурах платина особенно часто применяется при точных вакуум-технических исследованиях, если они требуют исключительно высокой чистоты опыта. Платина изготавливается нескольких степеней чистоты, с содержанием примесей от 0,5 до 0,01%.

Измерения среднего температурного коэффициента электропроводности α платины в интервале от 0 до 100° С (внутренние напряжения предварительно снимаются отжигом) показывают, что α возрастает с возрастанием чистоты образцов до предельного значения, равного 0,003927 град⁻¹ [35]. (Значения α , так же как и значения термоэдс, служат вообще критерием чистоты металла.)

В литературе можно найти данные о спутниках платины — металлах палладии, иридии, родии, рутении и осмии, а также о золоте и серебре [36].

Большая часть сплавов Pt, Pd и Ir с Au, Ag, Ni, W, Mo и Cu дает высококачественные материалы для контактов, применяющихся в технике слабых токов [37].

М) Р т у т ь, Hg

Атомный вес 200,61, плотность при 20° 13,546 г/см³, температура плавления — 38,83° С, температура кипения 357° С.

Вблизи температуры кипения ртуть медленно окисляется кислородом, в холодном состоянии она по своей индифферентности к кислороду приближается к благородным металлам.

В большинстве случаев при применении ртути ее необходимо предварительно очищать [38]. Масло удаляют промыванием в бензине, механические загрязнения — посредством фильтрования. Для этого служит воронка *T* (рис. 1,6) с трубкой длиной около 20 см; ее нижний конец с бортиком затянута кусочком замши, которая и служит фильтром.

Фильтром может также служить фарфоровая трубка длиной 60 см, нижнее отверстие которой закрыто керамической фильтровальной пластиной из пористой массы. Фильтрация через такую пластину осуществляется под давлением столба ртути.

Применяются также стеклянные трубки с пористыми стеклянными фильтровальными пластинами. Тип G2 (G стекло, 2 — ширина пор от 40 до 50 мк) вызывает медленное фильтрование под действием собственного давления ртутного столба; тип G3 требует применения водоструйного насоса. Так как фильтрование не освобождает ртуть от загрязнений растворенными металлами, то отфильтрованная ртуть покрывается слоем металлических окислов, если ее встряхивать. Металлические примеси или менее летучи, чем ртуть, или окис-

ляются легче нее, и тем и другим можно пользоваться для дальнейшей очистки ртути.

а) *Окисление металлических примесей потоком воздуха.* Большой стеклянный сосуд (рис. 1, 4) затыкается резиновой пробкой с двумя отверстиями. В одно из них вставляют стеклянную трубку, доходящую до дна сосуда, во второе вставляют короткую трубку, соединенную с водоструйным насосом. Сосуд наполняют примерно на 1/3 ртутью и пропускают через нее воздух. Металлические окислы собираются на поверхности ртути и могут быть затем отделены от нее посредством фильтрации или сливания.

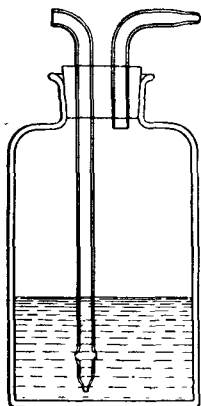


Рис. 1,4. Очистка ртути струей воздуха.

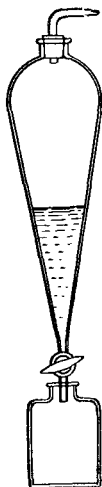


Рис. 1,5. Очистка ртути по Бэрстину.

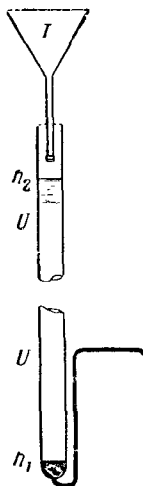


Рис. 1,6. Очистка ртути окислением.

Для той же цели Бэрстин [39] применяет делительную воронку (рис. 1, 5). Очистка считается законченной, когда возникший на поверхности ртути серый налет превращается в черный порошок.

б) *Окисление посредством азотной кислоты.* Трубка *U*, изображенная на рис. 1,6, заполняется до уровня h_1 чистой ртутью и до уровня h_2 разбавленной азотной кислотой (плотность 1,4). Мелкие капельки ртути проходят через всю толщину слоя азотной кислоты, которая растворяет посторонние металлы [40].

в) Очень хорошая *очистка ртути* достигается при помощи *дистилляции*. Однако сильно загрязненная ртуть должна быть предварительно обработана одним из указанных способов. Аппараты, применяемые для дистилляции ртути, снабжаются электрическим подогревом с автоматической регулировкой температуры [41].

Для точных работ (изготовление эталонов сопротивлений, нормальных барометров и т. д.) разработана следующая методика.

Продажная ртуть многократно промывается разбавленной азотной кислотой, затем (после повторного основательного промывания

водой) освобождается подобным же образом от жира промыванием в бензине или спирте. В качестве фильтра применяется или кусок очень тонкой кожи, которая находилась в бензине до тех пор, пока из нее не были удалены последние следы жира, или упомянутая выше фильтровальная трубка с керамической фильтровальной пластинкой.

Ртуть, обработанная такими приемами (и просушенная), все же еще содержит в незначительных количествах тяжелые металлы. Для их удаления ртуть дважды дистиллируют, пользуясь несколько модифицированным методом Хьюллета [42]. При этом ртуть из круглой колбы *A* (рис. 1,7), находящейся в песочной бане, перегоняется при помощи горелки в сосуд *B*; дистилляция ведется под низким давлением (водоструйный насос); для лучшего использования

тепла дистилляционный сосуд *A* защищается с боковых сторон и сверху асбестом. Через верхний шлиф в колбу *A* проходит стеклянная трубка, нижний капиллярный конец которой погружен в ртуть; благодаря этому через ртуть непрерывно проходит медленный ток воздуха, необходимый для окисления тяжелых металлов. Нагревание прибора регулируется таким образом, чтобы конденсация ртутных паров ограничивалась первой четвертью боковой отводной трубки. Для

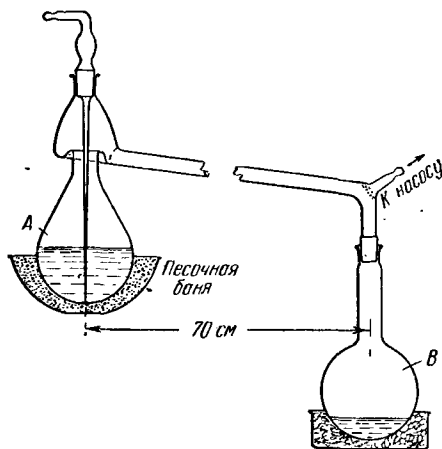


Рис. 1,7. Дистилляция ртути.

того чтобы большая часть испаряющейся ртути не могла поступать обратно в дистилляционную колбу *A*, в ее верхней части предусмотрен выступающий воротничок с канавкой, где собирается ртуть; благодаря небольшому уклону ртуть из канавки скатывается в сосуд *B*. Шлифы в приборе нельзя смазывать жиром или сургучом.

Для получения совершенно чистой ртути рекомендуется дистилляцию повторять два раза. Очищенный таким образом продукт удовлетворяет высшим требованиям, которые предъявлялись при прежних работах по изготовлению эталонов омического сопротивления [43]. Если затем провести еще электролитическую очистку по Егеру [44], то этого будет вполне достаточно.

Согласно Бэксу и Вэйкеру [45] металл, очищенный по методу Хьюллета, для магнитных измерений необходимо прогреть в вакууме до 260° С.

Хранить очищенную ртуть целесообразно в откачанных темных стеклянных сосудах, так как в противном случае — по-видимому, вследствие действия света и воздуха — на поверхности ртути образуется пленка. Если надо взять часть (пробу) ртути, то реко-

мендуется применять пипетку и отбирать пробу из середины имеющейся в сосуде ртути.

Пары ртути очень вредны для здоровья (см. [46]). Для устранения паров Шток [46] предлагает применять йодированный уголь (активированный уголь, содержащий около 5% йода): «Если открытые поверхности ртути покрыть слоем в несколько мм такого йодированного угля, то всякое испарение ртути в помещении прекращается».

Ниже, в табл. 1,2, приводится давление P насыщенных паров ртути в мм рт. ст. как функция температуры t °С.

Т а б л и ц а 1,2

t	+30	+25	+20	+10	
P	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$2,0 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	
t	0	-40	-78	-100	-180
P	$2,1 \cdot 10^{-4}$	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$3,2 \cdot 10^{-9}$	$7 \cdot 10^{-11}$	10^{-27}

Н) Р е н и й, Re [47]

Атомный вес 186,29, плотность $20,5 \text{ г/см}^3$, температура плавления 3100°С .

Чистый металл можно получить путем восстановления его соединений в потоке H_2 при красном калении; металл получается в виде порошка, который затем можно подвергнуть спеканию; в холодном состоянии рений весьма трудно поддается обработке. Вязкий металл получают термическим разложением в вакууме хлоридов или бромидов при температуре около 1800°С , осаждая его на проволоке из W или Ni, Pt, Mo, Ta. Работа выхода электронов для Re составляет 5,1 эв. Электронная эмиссия W при температуре 1900°К в десять раз больше, а при 2700°К в четыре раза больше, чем Re. Re и сплавы некоторых металлов с Pt и Pd используются в термопарах.

О) Т а н т а л, Ta

Атомный вес 180,95, плотность $16,6 \text{ г/см}^3$, температура плавления 2850°С .

Изготавливается в виде проволок и стержней с чистотой 99,9%. Чистый металл вязок и легко полируется. Благодаря своей стойкости против химических воздействий Ta может в некоторых случаях заменять Pt, например, как материал для электродов при электроаналитическом определении металлов. В электронных лампах Ta применяется как материал для сеток и анодов. Обладает исключительно сильным действием в качестве геттера в высоком вакууме. В цепях переменного тока действует как выпрямитель. Другие

применения: служит для изготовления чашек, лодочек, нормальных разновесок, а также в качестве примесей в различных сплавах [48].

В области между 2000 и 2500° К эмиссия электронов из чистого Та в десять раз превосходит эмиссию W.

II) Т о р и й, Th

Атомный вес 232,09, плотность 11,71 г/см³, температура плавления 1800° С, температура кипения свыше 3000° С.

Сравнительно мягок и ковок, может применяться в качестве геттера [49]. Добавление небольшого количества в сплавы для изготовления нагревательных приборов уменьшает образование окислыны. Содержит почти 100% изотопа 232. Последний распадается с испусканием α- и β-частиц, расщепляется нейтронами с выделением энергии; цепная реакция возможна лишь в смеси с U²³⁵. Для плавления Th применяются тигли из BeO.

Р) Т и т а н, Ti

Атомный вес 47,9, плотность 4,54 г/см³, температура плавления 1800° С, температура кипения 3000° С.

Полученный из паров йодида путем термической диссоциации так называемый «йодированный титан» содержит примерно 99,9% Ti; его антикоррозийные свойства близки к свойствам нержавеющей стали; поддается прокатке и до 500° С сохраняет высокую прочность, хорошо поглощает газы и может применяться в качестве геттера [50].

С) В о л ь ф р а м, W

Атомный вес 183,86, плотность 19,35 г/см³, температура плавления 3390° С, температура кипения 4830° С.

Вольфрам вследствие своей твердости не поддается обработке механическими инструментами — напильником, пилой или сверлами; его можно обрабатывать исключительно шлифовкой. Только при температуре желтого каления вольфрам становится до некоторой степени вязким, однако при этом он на воздухе сильно окисляется. Изготовление спирали из вольфрамовой проволоки диаметром более 0,3 мм необходимо производить на оправке в пламени паяльной лампы. Монокристаллы обладают модулем упругости до 40 000 кг/мм², модулем кручения до 17 000 кг/мм²; оба модуля изменяются при нагревании W до 800° С весьма незначительно. Максимальная прочность на разрыв составляет 400 кг/мм². Вольфрамовую проволоку диаметром до 5 мм можно получать протягиванием. Работа выхода электронов из чистого металла равняется 4,5 эв. Пористый материал, получаемый при спекании порошка W с медью, обрабатывается обычными инструментами. Пропитывающий металл после окончательной обработки испаряется при накаливании [51].

Для случая накаливания вольфрамовой проволоки в вакууме Баркгаузен приводит [52] следующие соотношения между темпе-

ратурой (абсолютной) проволоки, ее диаметром и током накала в амперах.

Т а б л и ц а 1, 3

Диаметр проволо- ки, мм	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
2000° К	1,0	2,9	8,0	15	24	32
2400° К	1,4	4,1	11,5	22	32	46
2600° К	1,6	4,7	13,0	24	37	52

При комнатной температуре вольфрам устойчив к действию газов, за исключением фтора; при 900° С в воздухе на поверхности вольфрама образуется желтая окись, немедленно испаряющаяся. Ртуть и водород на вольфрам не действуют. Вольфрамовая проволока, накаливаемая в вакууме, разрушается, если там присутствуют следы водяного пара.

Диаметр толстой вольфрамовой проволоки можно уменьшить, если ее в накаливаемом состоянии натереть кусочком азотистокислого натрия. Более тонкие проволоки погружают для этой цели в ванну с той же солью натрия, нагретую до 300° С, или же их вводят в качестве анодов в электролитическую ванну с водным раствором азотистокислого натрия. Вольфрам не удается покрывать амальгамой или полудой, паяется он только твердым припоем, латунию с бурой.

Вольфрам применяется: в качестве легирующей присадки к сталям, в качестве материала для контактов [53] вследствие малой склонности к искрообразованию и большой твердости, в нагревательных приборах (в атмосфере защитного газа), при некоторых электролитических процессах в качестве электродов, в лампах накаливания и в электронных лампах [54].

Т) Ц и р к о н и й, Zr

Атомный вес 91,22, плотность 6,52 г/см³, температура плавления 1860° С.

Чистый металл можно получить по методу де Бура и Фаста термическим разложением четырехйодистого соединения циркония на тонкой вольфрамовой нити [55]. Чистый металл можно прокатывать, получая фольгу толщиной до 20 мк, и вытягивать проволоки диаметром до 30 мк. В вакуумных лампах Zr является хорошим геттером. Поглощает Н₂ при 300° С и О₂, СО, СО₂, N₂ и Н₂О—при 1400° С. При этом поверхность металла остается чистой. Работа выхода электронов из чистого металла равна 4,13 эв.

Рентгеновская трубка с молибденовым антикатодом, имеющая герметическое окошко из Zr-фольги толщиной 30 мк, дает практически монохроматическое излучение, так как К β-линия Мо поглощается окошком, а К α-линия пропускается. Сухой порошкообразный Zr при нагревании выше 180° С легко воспламеняется, пыль Zr в воздухе сильно взрывчата, причем она не может быть потушена водой. В качестве геттерного слоя выгодно применять гидрид циркония ZrH₂ в порошке.

У) С п л а в ы

Из огромного количества различных сплавов в табл. I,4 приводятся только те, которые благодаря ряду их свойств имеют особое значение. Для справок о других сплавах отсылаем читателя к соответствующим пособиям [56].

Усилия естественную пленку окисла на Al и его сплавах, не содержащих Cu и Ni, нетрудно получить серый защитный слой толщиной от 1 до 2 мк, достаточно упругий для того, чтобы выдерживать изгиб и ударные нагрузки [57]. Для получения такого слоя можно опустить очищенный металл в нагретый до 90—95° С водный раствор, составленный из 5% обезвоженной соды (соответствует 13% кристаллической соды) и 1,5% хромовокислого натрия; затем металл следует тщательно прополоскать. Этот слой можно усилить 10—15-минутным кипячением в 2% растворе перекиси водорода. Для сплавов, содержащих медь, в эту ванну добавляется жидкое стекло в количестве от 1 до 2 г на литр или 30 г ортофосфорнокислого натрия ($\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$) на литр. Посредством анодного оксидирования (в серноокислом или щавелевоокислом растворе) можно получить прочный пористый слой Al_2O_3 толщиной до 30 мк [59]¹⁾. По твердости этот слой лежит между кварцем и корундом; он является хорошим изолятором (пробивное напряжение до 400 в) [60].

Ф) Получение металлических монокристаллов [116]

а) Методом рекристаллизации после критической деформации. Этот метод принципиально применим к таким металлам и сплавам, которые при обычных температурах допускают пластические деформации. Поликристаллический образец (пластинка, проволока, стержень) для изготовления монокристалла должен иметь возможно более однородную структуру с диаметром зерна примерно 0,1 мм. Если образец такой структуры не имеет, то ее необходимо создать; для этого его следует прокалить примерно в течение $\frac{1}{2}$ часа при температуре выше начальной температуры рекристаллизации; предварительно образец подвергают в холодном состоянии критической деформации, растягивая его на разрывной машине. Степень критического растяжения составляет для Mg и его сплавов примерно 0,2—0,3%, для Al 1,6—2,0%, для Fe 2,7—2,3%. Необходимая для данного случая степень растяжения определяется следующим образом: ряд одинаковых образцов исследуемого материала подвергают различным по величине растяжениям и после одинакового отжига определяют, при каком растяжении получаются кристаллы с наибольшими по величине зернами [117].

Отжиг для получения монокристалла начинается при температуре ниже температуры рекристаллизации и продолжается несколько суток; вначале температура повышается на 20—50° С в течение каждых суток; под конец возрастание температуры происходит быстрее и термообработка заканчивается коротким отжигом при температуре ниже точки плавления металла. Рекомендуется

¹⁾ Процесс электролитического окисления алюминия в немецкой литературе сокращенно называется «Элоксаль» (Eloxal — Elektrolytische Oxidation Aluminiums). — *Прим. ред.*

а) Алюминиевые сплавы

Состав сплава	Обработка	Применение	Название и обозначение
0,4—0,5 Mg; 0,5 Si; 0,3 Fe; остальное — Al	После отжига и закалки холод- ная обработка, за- тем отпуск при 120—150° C	Для электриче- ских проводов	Алдрей EA1MgSi
0,5—1 Mg; 0,6—0,7 Si; 0,3— 0,4 Fe; осталь- ное — Al	Закалка от 500° C, отпуск при 130—150° C (10—30 часов)	Детали для электрических машин и прибо- ров	Алудур 533L
0,5—1,4 Mg; 3—4,5 Cu; 0,25— 1,5 Mn; осталь- ное — Al	Закалка от 500° C, затем хра- нение 5 суток при комнатной темпе- ратуре	В приборострое- нии	Дуралюминий AlCuMgMn
0,4 Cu; 12— 13,5 Si; 0— 0,5 Mn; осталь- ное — Al	Литье	В приборострое- нии	Силумин GA1Si13
Соединение AlSb		Для выпрямите- лей, транзисторов	Сплав алюми- ний—сурьма [58]

б) Свинцовые сплавы

99,4—99,5 Pb; 0,5—0,6 Sb	—	Кабели	Кабельный сви- нец [61]
98—99,5 Pb; 0,5—2 Sb	—	Химическая по- суда	Твердый сви- нец 1 [61]
91—91,3 Pb; 8,7—9 Sb	—	Аккумуляторы	Аккумулятор- ный свинец 9 [61]
91—92 Pb; 8 Sn; до 0,6 Sb	—	Припой для ста- ли, меди, цинка	Мягкий припой 8LSn8 [62]
68 Pb; 30 Sn; до 2 Sb	—	Припой для ста- ли и меди	Мягкий припой 30LSn30 [61]
90—91 Pb; 9—10 Sb	—	Аноды для хро- мовых ванн	Твердый анод- ный свинец PbSb10 [61]
99—99,2 Pb; 0,8—1 Ag	—	Аноды для элек- тролиза цинка	Сплав свинца с серебром PbAg [61]

в) Железные сплавы

До 0,1 C; 0,5— 4,2 Si; 0,1— 0,2 Mn; осталь- ное — Fe	Отжиг 2—4 ча- са при 800° C, медленное охлаж- дение	В динамомашин- ах и трансфор- маторах	Динамная или трансформатор- ная сталь [63]
---	--	---	--

Состав сплава	Обработка	Применение	Название и обозначение
0,16 C; 52 Fe; 48 Ni	Медленное охлаждение от 1000° С	Материал с высокой магнитной проницаемостью	Пермонорм [63]
0,1 C; 45 Fe; 45 Ni; 10 Mn	Медленное охлаждение от 1000° С	Материал с высокой магнитной проницаемостью	Мегаперм [63]
1,0 C; 5,0 Cr; остальное — Fe	Закалка от 830° С в масле	Сталь для постоянных магнитов	Хромомагнитная сталь Cr035 [64]
1,0 C; 8,5 Cr; 15,5 Co; 1,5 Mo; остальное — Fe	Закалка от 980—1000° С в масле	Сталь для постоянных магнитов	Кобальтомагнитная сталь Co070 [64]
0,9—1,0 C; 4,5 Cr; 30 Co; 0,3 Mo; 4,5 W; остальное — Fe	Закалка от 960—980° С	Сталь для постоянных магнитов	Кобальтомагнитная сталь Co090 [64]
<0,03 C; 13 Al; 27 Ni; до 0,5 Ti; остальное — Fe	Охлаждение сжатым воздухом от 1250° С, отпуск при 640° С	Сталь для постоянных магнитов	AlNi120 [64] (Альни)
<0,03 C; 11 Al; 24 Ni; 12 Co; до 0,5 Ti; 4 Cu; остальное — Fe	Охлаждение от 1250° С сжатым воздухом, отпуск при 640° С	Сталь для постоянных магнитов	AlNiCo160 [64] (Альнико)
<0,03 C; 8 Al; 15 Ni; 24 Co; 4 Cu; до 0,5 Ti; остальное — Fe	Охлаждение в магнитном поле, отпуск при 640° С	Сталь для постоянных магнитов	AlNiCo400 [64]
65 Fe; 35 Co	—	Материал с весьма высокой магнитной проницаемостью	[64]
50—65 Fe; 35—50 Ni; 9—13 Cu	Холодная вальцовка	Измерительная техника, радиотехника	Изсперм [65]
0,12—0,5 C; 13—18 Cr; следы Si и Mn, +Ni +Mo; остальное — Fe	Отжиг при 800—850° С и медленное охлаждение	Нержавеющие приборы	[64]
0,5 C; 5 Mn; 12—15 Ni; 1—5 Cr; остальное — Fe	Закалка от 850—1000° С в воздухе, масле или воде	Немагнитная сталь для кожухов компасов и др.	[64]
18 Cr; 8 Ni; 0,4 Mn; 0,5 Si; 0,08—0,12 C; остальное — Fe	Закалка от 1100° С	В технике высокого вакуума	Сталь V2A («нормаль») [64]

Состав сплава	Обработка	Применение	Название и обозначение
18 Cr; 8 Ni; 0,4 Mn; 0,5 Si; <0,07 C; остальное — Fe	Закалка от 1100° С	Высоковольтные выпрямители	Сталь V2A («супра») [66]
68 Fe; 28 Cr; 4 Ni	—	Химические приборы	Реманит 2804 [67]
20—30 Cr; i Si; 0,4 Mn; 0,1 C; остальное — Fe	—	Для сплавления в стекло	— [68]
50 Fe; 48 Ni; 1 Co; 1 Mn	—	Проволоки для сплавления в стекло	Платинит [69]
64 Fe; 36 Ni	—	Техника высокого вакуума, термобиметалл ¹⁾	Инвар [70]
66 Fe; 33 Ni; 1 Cr	—	Техника высокого вакуума	Фригидаль [70]
70 Fe; 10 Mo; 20 Co	—	Ртутные выпрямители	Е. М. К. [70]
54 Fe; 29 Ni; 17 Co; 0,2 Mn	—	Техника высокого вакуума	Ковар, феррико [70]
74 Fe; 20 Ni; 6 Mn	—	Термобиметалл (большое термическое расширение)	— [70]
56—60 Fe; 33 Ni; 6—10 Cr; 1 Be	—	Сплав с постоянным коэффициентом упругости в пределах от —20° С до +40° С	Ниварокс [72]
65 Fe; 30 Cr; 5 Al	—	Сплав для электрических печей до 1300° С	Мегапир I [73]
75 Fe; 20 Cr; 5 Al	—	Сплав для электрических печей до 1100° С	Мегапир II [73]
67,5 Fe; 25 Cr; 5,5 Al; 2 Co	—	Сплав для электрических печей	Канталь AI [73a]
Пластическая сталь	—	Уплотнения	Девкон [73a]

¹⁾ Материал для пассивного элемента металлических термометров, реле и других приборов. — *Прим. ред.*

Состав сплава	Обработка	Применение	Название и обозначение
<i>г) Золотые сплавы</i>			
89 Au; 11 Pt	—	Химические приборы	Платино [74]
81,5 Au; 18,5 Cu	—	Золотой припой в технике высокого вакуума	— [74]
97,9 Au; 2,1 Cr	—	Прецизионные сопротивления	— [75]
96,5 Au; 3,5 Co	—	Термоэлемент Ag+0,7 Au (низкие температуры)	— [73]
<i>д) Иридиевые сплавы</i>			
90 Ir; 10 Rh	—	Термоэлемент для t до 2000° C (в паре с Ir)	— [76]
40 Ir; 60 Rh	—	Термоэлемент для t свыше 2000° C (в паре с Ir)	— [76]
<i>е) Кобальтовые сплавы</i>			
30—42 Co; 17—20 Ni; 5—11 Al; 2—10 Ti; до 10 Cu; остальное—Fe	Охлаждение в магнитном поле	Изготовление магнитно-анизотропных постоянных магнитов	— [77]
52 Co; 38 Fe; 10 V	Закалка от 1000° C, отпуск при 600° C	Сплав для постоянных магнитов	Викаллой I [78]
52 Co; 35 Fe; 13 V	Холодная прокатка	Сплав для постоянных магнитов	Викаллой II [78]
41 Co; 35 Cu; 24 Ni	После вакалки от 1050° C, отпуск при 600° C	Сплав для постоянных магнитов	Кунико [79]
30—55 Co; 25—33 Cr; 10—25 W; 0—10 Ge; 2—3 C	Литье	Твердые сплавы	Стеллит [80]
54 Co; 36 Fe; 10 Cr	—	Коромысла весов, стержни маятников	Нержавеющий пиввар [80]

Состав сплава	Обработка	Применение	Название и обозначение
<i>ж) Медные сплавы</i>			
54 Cu; 45 Ni; 1,0 Mn	—	Прецизионные сопротивления до 400° C	Константан CuNi 45 [83]
54 Cu; 46 Ni	—	Термопары для <i>t</i> до 700° C и для низких темпера- тур (в паре с Cu, Fe и Cr-Ni)	Константап [83]
67 Cu; 30—31 Ni; 2—3 Mn	—	Сопротивления	Никелин [83]
65 Cu; 12 Ni; 23 Zn	—	Сопротивления	Нейзильбер [84] Ns 65/12
86 Cu; 12 Mn; 2 Ni	—	Материал для сопротивлений	Манганин MnMbz 12 [83]
82,5 Cu; 12 Mn; 4 Al; 1,5 Fe	—	Материал для сопротивлений	Новоконстант [83]
99,0—99,5 Cu; 0,5—1 Mn	—	В электронных лампах	Марганцевая бронза MnBz1 [84]
85 Cu; 14 Mn; 1 Fe	—	Проволока для сопротивлений	Марганцевая бронза MnBz 14 [84]
94 Cu; 6 Sn	Волочение	Токонесущие жилы антенного канатика	Оловянная бронза SnBz 6 [85]
95 Cu; 5 Al	Волочение	Токонесущие шины	Алюминиевая бронза AlBz 5 [85]
97 Cu; 3 Pb	—	Электротехника	Свинцовая бронза 3 [85]
60 Cu; 20 Ni; 20 Fe	Закалка от 1050° C, отпуск при 600° C	Сплав для по- стоянных магни- тов	Магнетофлекс 20 [86]
68 Cu; 12 Ni; 20 Fe	Закалка от 1050° C, отпуск при 600° C	Сплав для по- стоянных магни- тов	Магнетофлекс 12 кунифе [86]
62—64 Cu; 35 Zn; 0,2— 0,4 Si	—	Твердый припой для меди и стали	Латунный при- пой 63 [84]
До 52 Cu; 11—13 Ag; 5—9 Cd; осталь- ное—Zn	—	Твердый при- пой для медных сплавов	Серебряный припой L Ag12Cd [84]

Состав сплава	Обработка	Применение	Название и обозначение
<i>з) Никелевые сплавы</i>			
86—92 Ni; 7 Cr; 1—7 Fe	—	Термопары (с нихромом) для t до 1000° C	— [87]
50 Ni; 50 Cu	—	Термопары с 84 Ni, 16 Mo для t до 800° C	— [87]
87,5 Ni; 12,5 Cr	—	Термопары с константаном и никелем для t до 1000° C	— [87]
78—80 Ni; 20 Cr; 0—1,5 Mn	—	Проволоки для электрических печей для t до 1200° C	Хронин 100, цекас II Ni 80 Cr [87]
62 Ni; 15 Cr; 23 Fe	—	Проволоки для накаливания до 1100° C	Хаве 110 [87]
77,5 Ni; 22,5 Cr	—	Термопары для t до 1100° C	— [87]
78,5 Ni; 21,5 Fe; 0,1 C	Отжиг при 600° C, быстрое охлаждение в воздухе	Материал с высокой магнитной проницаемостью	Пермаллой [88]
76 Ni; 17 Fe; 2 Cr; 5 Cu; 0,1 C	Отжиг при 600° C, быстрое охлаждение	Материал с высокой магнитной проницаемостью	Мю-металл [89]
72 Ni; 11 Fe; 14 Cu; 3 Mo; 0,1 C	Медленное охлаждение от 900° C	Материал с высокой магнитной проницаемостью	«Сплав 1040» [89]
79 Ni; 5 Mo; остальное—Fe	Закалка от 1100° C, отжиг от 1 до 10 часов при 600—300° C	Сплав с высокой магнитной проницаемостью	Супермаллой [90]
45 Ni; 30 Fe; 25 Co	Отжиг при 425° C, медленное охлаждение	Материал с постоянной магнитной проницаемостью (техника связи)	Перминавр [91]
70—65 Ni; 30—35 Cu; 1—2 Fe	—	Электроизмерительные приборы	Калмаллой, термаллой [92]
98—99,7 Ni; 0,3—2,0 Mn	—	Вакуумная техника, термопары	Никелевый сплав NiMn 2 [93]

Состав сплава	Обработка	Применение	Название и обозначение
60 Ni; 16 Fe; 15 Cr; 7 Mo; 2 Mn	—	Выпрямители с подогревным катодом, обмотки печных нагревателей, материал для пружин	Сплав В7Мо (констрацид) [94]
61,4 Ni; 18,5 Cr; 14,5 Fe; 3 Mn; 2 Mo; 0,6 Si	—	Сплав с небольшой теплопроводностью, пружины	В2Мо Хроман [95]
58 Ni; 22 Fe; 20 Mo	—	В радиолампах	А-сплав FeMo [96] Ni60
<i>и) Сплавы платины</i>			
90—95 Pt; 5—10 Cu	—	Материал для контактов	— [97]
95 Pt; 5 Rh	—	Химические приборы	— [97]
90 Pt; 10 Rh	—	Термопары для t до 1600° С (в паре с Pt)	— [98]
92 Pt; 8 Re	—	Термопары для t до 1600° С (в паре с Pt)	— [98]
90,5 Pt; 4,5 Re; 5 Rh	—	Термопары для t до 1900° С (в паре с Rh)	— [98]
76,7 Pt; 23,3 Co	Закалка от 1200° С, отпуск при 600° С	Постоянные магниты	— [99]
77,8 Pt; 22,2 Fe	Закалка от 1350° С	Постоянные магниты	— [100]
<i>к) Ртутные сплавы</i>			
95,1 Hg; 8,5 Tl	—	Жидкость для термометров	— [101]
59,6 Hg; 40,4 Tl	—	Жидкость для термометров	— [101]
<i>л) Родиевые сплавы</i>			
0,15—15 одного или нескольких металлов Co, Ni, Pd, Pt, остальное—Rh	—	Детали приборов, если они при изготовлении прибора входят в непосредственное соприкосновение с расплавленным стеклом	— [102]

Состав сплава	Обработка	Применение	Название и обозначение
<i>м) Сплавы серебра</i>			
44 Ag; до 32 Cu; остальное—Zn	—	Твердый припой для Cu и ее сплавов	Серебряный припой LAg44 [103]
72 Ag; 28 Cu	—	Твердый припой для Cu и ее сплавов	Вакуумный припой Е [104]
45 Ag; 18—22 Cd; до 19 Cu; остальное—Zn	—	Твердый припой для Ag, Au, Pt	Серебряный припой LAg45 [103]
82 Ag; 10 Mn; 8 Sn	Отжиг при 430° С	Прецизионные сопротивления	NBW 108 [105]
78 Ag; 13 Mn; 9 Sn	Отжиг при 195° С	Прецизионные сопротивления	NBW 139 [105]
99,3 Ag; 0,7 Au	—	Термопары (в паре с Au+1% Co) для низких температур	— [105]
<i>н) Сплавы висмута</i>			
50 Bi; 25 Pb; 12,5 Cd; 12,5 Sn	—	Легкоплавкий припой ($t_{пл}=60^{\circ}\text{C}$)	Сплав Вуда 106]
50 Bi; 27 Pb; 10 Cd; 13 Sn	—	Легкоплавкий припой ($t_{пл}=70^{\circ}\text{C}$)	Сплав Липовица [106]
50 Bi; 25 Pb; 25 Sn	—	Легкоплавкий припой ($t_{пл}=94^{\circ}\text{C}$)	Сплав Розе [106]
<i>о) Сплавы вольфрама</i>			
75 W; 2 Mo	—	Термоэлементы для t до 3000° С (в паре с W)	— [107]
74—84 W; 12—22 Ni; 5 Co	—	Натриевые лампы	Вонико [108]
90—50 W; 10—50 Cu	Спекание	Защитные колпачки для антикатодов	«Вольфрам—медь» [109]
55 W; 20 Mo; 15 Ta; 8 Fe; 2 C	—	Металлы для режущих инструментов	Мирамант [110]
62 W; 3 Ni; 35 Ag	—	Припой	Руннот S [108]

Состав сплава	Обработка	Применение	Название и обозначение
62 W; 35 Cu; 3 Ni	—	Припой	Руннот С [108]
81—89 W; 5—13 Co; 5—6 C	Литье	Подшипники, фильеры	— [111]
Смесь порошков вольфрама с 5% Ni и 5% Cu (получается све- щением).	—	Экранировка жесткого излуче- ния, маленькие маховики	— [112]
<i>п) Сплавы цинка</i>			
99,85 Zn; 0,15 Fe	—	Материал для проводников	Пластический сплав Zn и Fe [113]
56 Zn; 41—43 Cu	—	Твердый припой для Ni и Cu	Латунный при- пой 42LMs42 [114]
>50 Zn; 47—49 Cu	—	Твердый припой для Cu, стали и чугуна	Латунный при- пой 48LMs48 [115]
60 Zn; осталь- ное—Sn	—	Припой для Al	Цинк-алюми- ниевый припой LZnSn [115]
<i>р) Сплавы олова</i>			
50 Sn; 32 Pb; 18 Cd	—	Мягкий припой	Кадмиевый при- пой [118]
98 Sn; осталь- ное—Pb+Sb	—	Мягкий припой для Cu и стали	Оловянный припой 98 [115]

пользоваться незначительным температурным градиентом [118]. Нельзя переходить через аллотропическую точку (как например, в случае β/γ — превращения железа).

Если этот метод применяется к материалам с очень высокой температурой плавления и не имеется специальных печей, то согласно Андраде [119] для превращения поликристаллической проволоки в монокристалл ее следует закрепить по оси кварцевого цилиндра, откатать его и затем разогреть проволоку электрическим током. Над кварцевой трубкой следует расположить подвижную электрическую печь небольшого размера; незначительное количество тепла, которое она выделяет, оказывается вполне достаточным для того, чтобы в любом месте проволоки скомпенсировать потерю тепла на излучение и тем обеспечить необходимый градиент температуры.

б) Методом кристаллизации. В чистом Al после холодной прокатки до 70% и последующего двухчасового отжига при температуре,

превышающей 550°C , можно получить монокристаллы с поверхностью порядка 1000 м.м^2 . В электролитической меди после холодной деформации свыше 80% и отжига при температуре выше 950°C можно получать монокристаллы с поверхностью даже до $10\,000\text{ м.м}^2$ [120]. Кристаллы Си ориентированы в определенном направлении, в Al они расположены беспорядочно.

Монокристаллы W можно получать по тому же способу пресованием металлического порошка в болванки; под давлением 4000 кг/см^2 болванки затем подвергаются спеканию и примерно 1 час отжигаются в атмосфере влажного водорода при температуре, лежащей немного ниже температуры плавления. Добавление 0,75% ThO_2 ускоряет процесс [121].

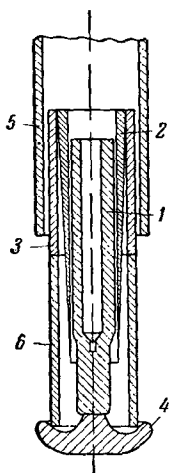
в) *Методом отвердевания расплавов.* Этот метод применяется наиболее часто. Металл, помещенный в трубку с вытянутым нижним кончиком, плавится в вертикальной электропечи, лучше всего в вакууме, и нагревается затем до температуры, превышающей температуру плавления приблизительно на 100° . Печь имеет две обмотки, которые можно включать отдельно таким образом, что отвердевание может начинаться только в вытянутом нижнем конце трубки. В результате внизу образуется монокристалл, который постепенно растет в направлении вверх. В этом методе можно применять также стеклянные тигли, которые для предотвращения роста иначе ориентированных кристаллов имеют двойное сужение [122]. Медленное выведение тигля из печи со скоростью от 4 до 60 мм/час способствует тому, что при начавшейся внизу кристаллизации вверх растет только один кристалл.

Если применять стеклянные или кварцевые трубки со сложными разветвлениями, различные части которых могут иметь всевозможные направления, то удастся получать сложные кристаллические образования; в различных трубках кристаллы имеют различную ориентировку, и вместе с тем все кристаллическое образование в целом представляет собой один монокристалл [123].

Рис. 1,8. Установка для приготовления монокристаллов.

Ориентировку кристаллов, находящихся в отдельных разветвлениях, можно определить, измеряя их электрическое сопротивление.

Для получения монокристаллов с определенной ориентировкой Глокер и Граф [124] применяют прибор, изображенный на рис. 1,8: внутренняя полость тигля 1 (в данном случае графитового) имеет внизу сужение, в которое вставляется зародыш кристалла с желаемой ориентировкой; тепло подводится к прибору косвенным путем от индукционной печи, которая вызывает нагревание вольфрамовой трубки 2, окружающей тигель, эта трубка одновременно предохраняет металл в тигле от электродинамических движений и вследствие своей конической формы ослабляет передачу тепла по направлению книзу; 3 представляет собой угольную трубку, усиливающую тепловое воздействие; она стоит на фарфоровой трубке 6 и защищена снаружи более широкой фарфоровой



трубкой 5. Графитовая тарелочка 4 обеспечивает необходимый отвод тепла. Вся установка помещена в закрытую снизу фарфоровую трубку (не показанную на рисунке) диаметром примерно 5,5 см и длиной 25 см, которую можно эвакуировать. При введении зародыша можно допускать только частичное расплавление его. Способ охлаждения обуславливается свойствами тигля и самого металла; оно вызывается или понижением степени разрежения (на 0,4 мм рт. ст./мин) при постоянной силе тока, или постепенным уменьшением силы тока.

Штейнер и Шёнек [125] для получения монокристаллов Sn применяют печь, в которой толщина термоизоляционного слоя уменьшается в направлении книзу; этим достигается температурный градиент 4°/см; они получали монокристаллы диаметром 2 см и длиной 15 см.

г) *Посредством вытягивания из расплава.* Поверхности расплавленного металла касаются зародышем кристалла с желаемой ориентировкой, затем постепенно и равномерно вытягивают его вверх со скоростью несколько меньшей, чем линейная скорость кристаллизации [126]. Толщину вытягиваемой нити можно регулировать слюдяной пластинкой с соответствующим отверстием, плавающей на поверхности расплава. Для предохранения нити от окисления ее охлаждение ведется в потоке N₂. Этот метод испытывался на Zn, Cd, Bi, Au, Sn и их сплавах, а также на Si и Ge. Для легко окисляемых металлов, как, например, Mg, вытягивание из расплава производится в вакууме [127].

Для металлов, плавящихся при низкой температуре, можно применять обычные стеклянные тигли; для металлов, имеющих более высокую температуру плавления, применяют специальные стекла (стекла пирекс или супремакс). Для Al и Cu пользуются графитовыми тиглями. Для еще более высоких температур и для металлов, взаимодействующих с углем, требуются керамические тигли, например, из Al₂O₃ (корунд), MgO, ZrO. Для кремния и германия необходимы кварцевые тигли.

д) *Получение из газовой фазы.* Металлы Zn, Cd и Ag [128] могут осаждаться в кристаллическом виде из парообразной фазы на холодных поверхностях. Весьма чистые кристаллы получают термическим разложением чистых соединений в вакууме; металл отлагается на монокристаллическом металлическом сердечнике, подогреваемом электрически.

Для получения кристаллов W в качестве исходного продукта пользуются парами WCl₆; в качестве металлического зародыша служит вольфрамовая тонкая проволока, не имеющая упругого последействия. W в виде гибких кристаллов получается уже при температуре около 1000° С при действии H₂ на пары WCl₆ [129]. Если осаждение происходит в результате чисто термической диссоциации (без одновременного воздействия H₂), то необходима рабочая температура около 1600° С [130].

На металлическом зародыше монокристаллы посторонних металлов могут нарастать даже в случае несовпадающих структурных решеток, если различие в их решетках незначительно [131].

Этот метод применим также к Ti, Fe, Cu, Mo, Ta, Zr, Nb. Для того чтобы, разрезая металлические монокристаллы на части, не вызывать механических деформаций на краях разреза, Вестфаль [132] рекомендует применять бесконечный резиновый шнур,

который приводится в медленное движение соответствующим механизмом и непрерывно смачивается небольшим количеством кислоты. Монокристалл, приведенный в соприкосновение с резиновым шнуром при таких условиях, можно разрезать действием кислоты без возникновения в нем каких-либо напряжений.

Получение других кристаллов см. в указанной далее литературе.

Х) Получение монокристаллов солей [138]

Метод, описанный в разделе Ф), пункты *в*) и *г*), можно применять также к расплавленным солям [139]. Для получения кристаллов LiF и NaBr для оптических целей согласно Штокбаргеру [140] применяется графитовый или платиновый тигель с коническим дном; печь, через которую опускается тигель, имеет два нагревателя, скорость роста кристаллов составляет примерно 1 мм/час. Очень важно, чтобы температурный градиент в зоне перехода от расплава к кристаллу был возможно большим и чтобы были устранены колебания температуры.

Кристаллы стильбена для сцинтилляционных счетчиков можно получать по Лейнингеру, охлаждая стильбен в печи с 130 до 117° С при градиенте температуры 1° С/2,5 см при скорости опускания тигля 4 см/сутки [141].

Из расплава буры с NiO и Fe₂O₃ после нагрева до 1330° и при очень медленном охлаждении (примерно 2°/час) выделяются монокристаллы феррита никеля с длиной ребра около 2 мм.

Для получения безукоризненных кристаллов солей при охлаждении их насыщенных растворов необходимо, согласно Эйтелю [142], подводить к подвешенному в растворе зародышевому кристаллику все новые и новые порции раствора; это достигается непрерывным перемешиванием его. Прибор Буэ и Лафона для выращивания кристаллов MgSO₄, NaClO₄ и ZnSO₃ (термосифон [143]) работает так: пересыщенный соляной раствор, температуру которого можно регулировать, течет сверху в кристаллизационный сосуд, а внизу вытекает охлажденный раствор; тем самым можно устанавливать скорость роста кристаллов и температуру их образования.

Для изготовления кристаллов сегнетовой соли для пьезоэлектрических исследований можно пользоваться насыщенным раствором этой соли объемом 5 л; раствор, в котором на волоске подвешен зародышевый кристалл, находится в состоянии покоя вначале при температуре 30° С; затем раствор охлаждают до 20° С со скоростью 0,1°/час.

Кристаллы кварца получают в бомбе (2,5 см \varnothing и 25 см высотой) из 5% раствора Na₂CO₃, где SiO₂ находится в качестве осадка; требуется температура 400° С и давление 865—1000 атм [144].

Ц) Карбиды металлов

Твердость и хрупкость идут параллельно друг другу [133]. При применении материалов с такими качествами необходимо иметь в виду это обстоятельство. Очень твердыми, но одновременно и очень хрупкими материалами являются карбиды, прежде всего карбид вольфрама [134], например видиа (WC+5% Co), с помощью которого, применяя большие скорости резания и равномерную авто-

матическую подачу, можно обтачивать и сверлить стекло. Видиа (Wiedia — wie Diamant, т. е. «как алмаз») несколько тверже, чем корунд, и сохраняет свою твердость до 800° С, модуль упругости $\approx 60\ 000\ \text{кг/см}^2$; модуль сдвига $\approx 13\ 000\ \text{кг/см}^2$. Из видиа изготовляют также детали для аппаратуры, работающей при давлениях, превышающих 50 000 атм.

Карбид бора [135] B_2C , норбид) стоит в этом отношении еще ближе к алмазу. Карбид кремния [136] обладает при высоких температурах большой прочностью и трудно окисляется.

Карбиды тяжелых металлов обладают наиболее высокими температурами плавления из всех известных [136а] (табл. I, 5):

Т а б л и ц а I, 5

$T_{\text{пл}}, \text{ }^\circ\text{K}$	2725	3410	3770	3805
Карбид	B_2C	TiC	NbC	CrC
$T_{\text{пл}}, \text{ }^\circ\text{K}$	4150	4160	4200	4215
Карбид	TaC	HfC	$4\text{TaC} + 1\text{ZrC}$	$4\text{TaC} + 1\text{HfC}$

Ч) Закалка стали

Свойства железа можно изменять в чрезвычайно широких пределах, если вводить в него легирующие компоненты и применять холодную или горячую обработку; поэтому такой метод, более чем какой-либо другой, может удовлетворить самым разнообразным требованиям, возникающим на практике. Нелегированные углеродистые стали с содержанием С до 1,7% (вместе с 0,2% Si, 0,2% Mn, следами S, P и Cu) можно закалывать, что сопровождается образованием мартенсита; для этой операции сталь следует быстро охладить в воде от области температур, которая лежит примерно на 40° С выше границы растворимости С в γ -железе (температура закалки) [145]. Температуры закалки равны примерно: при 0,2% С в железе 900° С, при 0,4% С 850° С, при 0,6% С 805° С, при 0,8% С 790° С и выше 1% С 790° С. С возрастанием содержания С твердость стали увеличивается; при содержании С выше 0,5% достигается твердость стекла, наибольшее значение равно примерно 720 по Бринеллю (что соответствует сопротивлению на разрыв 260 кг/мм^2 , прочность на растяжение). Необходимая для закалки критическая скорость охлаждения, которая с увеличением содержания С снижается, достигается лишь при обработке небольших кусков металла (например, в стержнях диаметром 1 см при повышенном содержании С получается сплошная закалка); в прочих случаях создается твердый поверхностный слой толщиной в несколько мм. Увеличение присадок Cr, Mn, Ni, Mo и Si изменяет температуру закалки [146]

и снижает критическую скорость охлаждения; подобные легированные стали закаляются по всему объему даже при больших размерах и умеренном охлаждении (в масле, нефти или воздухе: масляная закалка, воздушная закалка). Как правило, не следует охлаждать более резко, чем это необходимо; например, хромированные стали с 1,0% С должны закаливаться в воде лишь при содержании хрома до 1%, а хромированные стали с 0,4% С — при содержании хрома до 12%.

Для нагревания до температур закалки, вместо накала в газовой атмосфере, предпочтительнее пользоваться ваннами с расплавленными солями. Можно применять: в интервале 500—800° С смеси хлористых и углекислых солей щелочных и щелочноземельных металлов; от 800 до 1100° С — буру; от 1000 до 1350° С — хлористый барий. Кислород воздуха, поглощаемый солями в ваннах, снижает содержание углерода в закаливаемом предмете; во избежание этого добавляют небольшое количество цианистого натрия или ферросилиция или покрывают поверхность соли в ванне слоем древесного угля или графита. Расплавы буры не поглощают кислорода, а в ваннах с хлористым барием снижение содержания углерода предотвращается добавлением буры.

Недостатком метода закалки резким охлаждением является изменение формы и размеров закаливаемых изделий; это выражается в неизбежном увеличении их объема и изменении формы в результате появления остаточных напряжений (коробление, искривление). Кроме того, при комнатных температурах наблюдается медленное незначительное изменение размеров изделия (естественное старение); последнее может быть устранено достаточно длительным выдерживанием (отпуском) при 140—200° С, пока не установится постоянство размеров (искусственное старение). Такую обработку рекомендуется проводить со всеми резко охлажденными сталями; она несколько снижает их твердость, но увеличивает вязкость. Искривление имеет место главным образом при закалке в воде, в этом отношении более благоприятна закалка в масле и еще лучше — в воздухе. Нержавеющая хромированная сталь, содержащая 1,0% С, 0,4% Si, 0,5% Mn и 17% Cr и применяемая в точных измерительных приборах, может закаливаться в воздухе (температура закалки 1000—1060° С) [147].

На мягких углеродистых сталях (до 0,25% С, 0,4% Mn), например на кузнечном железе, можно получить твердый поверхностный слой толщиной 0,5—2 мм при помощи цементирования. Изделие, помещенное в железный ящик, окружают со всех сторон сажой, древесным углем, добавляя к ним в данном случае углекислый барий; ящик нагревают до 875° С и выдерживают его при этой температуре в течение 10 часов; затем изделие быстро охлаждают водой.

Нагревая сталь в потоке аммиака при 505° С в течение 900 часов (азотирование, нитрирование), можно получить очень твердый поверхностный слой, толщиной 0,9 мм, твердостью 1200 по Бринелю [148]; сталь следует медленно охлаждать. В поверхностном слое не возникает напряжений, и он не подвержен старению; весьма малое увеличение объема нитрированного слоя может быть рассчитано. Наиболее пригодны для этой операции особые стали с 0,05—0,4% С, 1—2% Cr, 1% Al, 0,2% Mo.

Поверхностную твердость сталь получает также в тлеющем разряде в атмосфере, содержащей N₂ [149].

§ 2. Неметаллы

А) Неметаллические элементы

Элементы и некоторые их соединения

а) *Углерод* [1]. Находит широкое применение в электричестве [2], оптике, вакуумной технике, химии, в особенности там, где работы производятся в восстановительной атмосфере, например, при плавлении благородных и полублагородных металлов или при работе с корродирующими жидкостями [3].

При спектральных работах должны применяться угольные электроды, которые не обнаруживают никаких посторонних спектральных линий, в особенности линий Na, Ca, Mg, Cu. Для удаления этих линий уголь следует в течение 10—20 сек прокалить или в воздухе при 3000° С [4], или в азоте с примесью хлора или паров четыреххлористого углерода при 2300° С [5]. Напряжения, неблагоприятно влияющие на прочность (предел прочности) и стойкость против изменений температуры, можно устранять действием звука или ультразвука [6].

При нагревании чистого угольного порошка до 2500° С уголь переходит в графит [7]. В вакуум-техническом отношении «электрографит» отличается высокой температурой плавления, низким давлением паров и пассивностью по отношению к ртути.

Коллоидальный графит в водных растворах, нанесенный тонким слоем на какую-либо поверхность, образует при высыхании на ней прочные графитовые покрытия.

б) *Селен* в чистом виде, например, для выпрямителей можно выделять [8] из раствора H_2SeO_3 , который получается при окислении сырого неочищенного селена; этот раствор следует освободить от загрязнений (Te, Hg, Fe) при помощи адсорбционного осаждения гидроокисью алюминия $Al(OH)_3$, или гидратом сернистого алюминия.

в) *Вода.*

1) *Весьма чистая вода.* Имеется очень много методов получения возможно более чистой воды, особенно необходимой при определении атомных весов. Так, например, имеющаяся в лаборатории дистиллированная вода может быть вторично дистиллирована со щелочным марганцевокислым калием (применяется стеклянный холодильник) и третий раз — с небольшим количеством бисульфата калия (применяется оловянный холодильник) [9]. Холодильник прямоугольного типа вставляется непосредственно в сужение дистилляционной колбы без какого-либо уплотнительного материала. Чистую воду собирают в колбы из пенского стекла, которые могут служить для этой цели в течение многих лет. На пути пара при дистилляции можно еще включать стеклянные фильтры Шотта, задерживающие водяные капельки, увлекаемые паром [10].

Особое устройство из двух установленных друг над другом колоколов [11] позволяет осуществлять циркуляцию воды таким образом, что она при этом охлаждает стенку внутри одного колокола. Только после этого вода проходит к источнику электрического тока. Если циркуляция воды прекращается, подогрев автоматически прерывается. Дистиллят, стекающий по стенке вниз, постепенно ссезживается. Специально для фармацевтических целей воду можно очищать при помощи электроосмоса [12]. Для воды

можно пользоваться обычным электроосмотическим аппаратом. При этом все соли и посторонние включения в воде, обычно образующие дистилляционные остатки, отлагаются на стенках электролизера. Для получения наиболее качественной дистиллированной воды рекомендуется кварцевая аппаратура [13].

1 л дистиллированной воды, которая в течение длительного времени находилась на воздухе, согласно Дюнуайе [14], содержит 34 см^3 воздуха.

Резервуары из Al для хранения дистиллированной воды оказались лучше, чем стеклянные или из обычной нержавеющей стали [15]. Освобождать воду от радиоактивных веществ можно обычными методами очистки (коагуляция, фильтрация через песок, ионный обмен, умягчение) или особыми методами (осаждение совместно с одинаковыми или родственными стабильными элементами, осаждение с $\text{Ca}(\text{OH})_2 + \text{NaPO}_4$, чистой глиной или металлическими стружками, электродиализом, испарением) [16].

Воду с электропроводностью от 0,07 до $0,15 \cdot 10^{-6} \text{ ом}^{-1} \cdot \text{см}^{-1}$ можно получать из обычной дистиллированной воды (7000 л) при смешении (750 г) с амберлитом IR-120 в качестве катионного и амберлитом IRA-400 г в качестве анионного обменника [17].

2) Тяжелая вода, в которой водород от 5% и (почти) до 100% заменен тяжелым изотопом, а также тяжелый водород, получаются при многократном электролизе. Вместо известного метода получения тяжелой воды из смеси газов H_2 и D_2 можно сжигать газы, получаемые при электролизе воды; образующуюся при этом воду, повторяя над ней указанный процесс много раз, можно довести до любой степени обогащения тяжелой водой [18]. Тепло, выделяющееся при образовании воды, можно использовать, например, для восстановления металлических окислов.

г) Газы. Чистые газы в особенности необходимы для наполнения спектральных трубок. В связи с этим далее рассматриваются в основном газы, важные в спектроскопическом отношении, и описываются методы получения наиболее чистых газов, хотя бы и в незначительных количествах [19].

Степень чистоты определяется масс-спектроскопическим способом [20]. Газы могут быть очищены каталитически (главным образом от примесей кислорода [21]), электрическим способом (главным образом от пылинок), увеличением содержания водяного пара [22] или при помощи центробежного пылеуловителя [23].

Обычные газы.

а) Водород. Водород проходит через нагретый палладий. Если палладиевую трубочку (без шва), диаметром 1—2 мм, длиной 3—4 см, закрытую на одном конце и приваренную другим концом к стеклянной трубке, раскалить на пламени спиртовой горелки, то содержащийся в пламени водород диффундирует во внутреннюю полость трубочки. Таким приемом пользуются в рептеневских трубках; его называют «осморегенерацией». Водород получается химически чистым.

При осморегенерации нельзя пользоваться долгое время пламенем светильного газа: трубочки вскоре становятся ломкими, в них появляются сквозные отверстия. Еще лучшим, чем пламя спиртовой горелки, является чистое водородное пламя. При частом применении лучше всего трубочку слабо накалывать в атмосфере водорода электрическим током (трансформатор низкого напряже-

ний). В этом случае можно применять следующее приспособление: палладиевая трубочка (паружный диаметр 1,3 мм, толщина стенок 0,15 мм) впаивается обычным приемом в стеклянную трубку и снабжается двумя припаянными твердым припоем латунными контактами для подвода тока (30—40 а при 0,6—1 в). Палладиевая трубочка помещена под стеклянным чехлом, который охлаждается проточной водой. Две медные трубки, из которых одна заземлена, а другая изолирована плотно вклеенными стейтитовыми фланцами, служат для подвода тока и позволяют, кроме того, вводить в чехол водород. При избыточном давлении 1 атм (снаружи) это приспособление позволяет получать в час 100 см³ (при атмосферном давлении) чрезвычайно чистого водорода.

Далее, палладий, как известно, адсорбирует при комнатной температуре такое количество водорода, что его объем при атмосферном давлении приблизительно в 1000 раз превышает объем самого палладия. Чтобы воспользоваться этим свойством, полоску листового палладия заряжают водородом, вводя его в качестве катода в химический стакан, наполненный сильно разбавленным электролитом (фосфорной кислотой). Электролиз ведут слабым током продолжительное время (в течение ночи), затем, протерев полоску палладия очень тщательно фильтровальной бумагой, впаивают ее в соответствующую деталь аппаратуры и откачивают аппаратуру. При нагревании до 100—200° С из палладия выделяется большое количество водорода, совершенно свободного от каких-либо загрязнений.

При электролитическом выделении получается (на катоде) также чистый водород, в котором содержатся только следы кислорода (и водяного пара). В качестве электролита при этом целесообразно применять 15—30% раствор едкого натра, в качестве электродов — листовой никель [24].

Гэде [25] устраняет загрязнение кислородом при помощи второго дополнительного электрода. Прибор Гэде состоит из U-образной трубки, в одном колене которой (довольно глубоко) помещен катод, в другом колене — анод и под ним второй катод. Поднимающиеся от последнего пузырьки водорода вымывают кислород из электролита. Низе [26], Вульф [27] и Шу [28] описали аппаратуру для получения водорода. Низе применяет два помещенных один в другой стеклянных конуса: внутренний содержит катод, наружный — второй, дополнительный катод и анод. Сила тока от 20 до 30 а. Для получения незначительного количества газа автор применяет U-образную трубку (длина колена 80 см) и производит электролиз слабым током продолжительное время, например в течение ночи. Водород вытесняет раствор едкого кали в сосуд, с которым сообщается колено U-образной трубки, несущее анод. Когда катод оказывается вне раствора, ток выключается. Чистый водород получают также действием раствора едкого кали или натра на очень чистый (!) алюминий.

Как известно, у водорода отношение интенсивности атомного спектра (серия Бальмера) к интенсивности молекулярного (линейчатого) спектра зависит в очень сильной степени от типа трубки. Хотя при разряде молекулы распадаются на атомы, но последние рекомбинируют на стеклянных стенках и на электродах. Если необходим сильный сериальный спектр, то, согласно Вуду [29], следует пользоваться длинной трубкой и «отравить» ее стенки

кислородом, т. е. увлажнить их, например, фосфорной кислотой или, проще, применить влажный водород или даже просто водяной пар.

Лау и Рейхенхейм [30] уменьшают длину свободного пробега атомов водорода тем, что в водород, имеющий давление 0,2 мм рт. ст., они добавляют неон под давлением 2 мм рт. ст., а на дегазированной стеклянной стенке предварительно адсорбируют аргон.

Если, напротив, желают иметь сильный молекулярный спектр (или непрерывный спектр), то применяют хорошо просушенный водород, тщательно дегазируют стенки трубки или покрывают их очень тонким (вполне прозрачным) слоем серебра. Атомарный водород можно получить также в том случае, если газ пропускать мимо накаленной добела вольфрамовой спирали. Кропелин и Фогель [31] описывают подобное устройство. Давление газа равнялось 10 мм рт. ст., скорость движения потока 4 л/час, электрическая мощность 130 вт.

Прибор для электролиза небольших количеств тяжелой воды с целью получения дейтерия был построен Слэком и Эрке [32]; диффузионный прибор для разделения H_2^2 и H описан Герцем [33]. Другие методы описаны Клеменсом [19]. Дейтерий можно отделить от других газов также при помощи диффузии через палладий.

Получение параводорода по методу Бонгоффера и Хартэка [34] описано также Клеменсом.

Водород или содержащие водород газы для синтеза аммиака можно получать из метана или газов, содержащих метан, пользуясь коксом в качестве катализатора [35].

β) Кислород. Описанным выше методом электролиза (насыщенного раствора гидрата окиси бария) получают на аноде очень чистый кислород; загрязнения, кроме водяного пара, состоят из незначительных количеств водорода, который диффундирует через электролит от анода и может быть устранен с помощью дополнительного катода. Если некоторое количество (20—100 г) чистого марганцевокислого калия освободить от пыли, просеивая его через сито, а затем нагреть в закрытой с одной стороны стеклянной трубке до 200—240° С, то начинает выделяться кислород, в котором находятся ничтожные количества пыли и двуокиси углерода. Пыль удаляют с помощью асбестовой ваты, а CO_2 — с помощью твердого едкого кали; в результате получается очень чистый кислород. Метод исключительно высокой очистки полученного этим способом кислорода описывают Шток и Риттер [36].

Подобно тому как водород диффундирует через раскаленный палладий, кислород диффундирует через раскаленное серебро. Этим свойством пользуются в изящном методе, предложенном Тэйлором [37], аналогичном описанному выше методу для водорода. Так как серебряные трубочки нельзя впаивать в стекло, то к ним приваривают кусочки платиновой трубочки. Для диффузии кислорода трубочки следует нагревать (до 600° С) в электрической печи (платиновая спираль). Получаемые количества кислорода не так велики, как при диффузии водорода через палладий.

γ) Озон. При получении озона по принципу тихого разряда целесообразно применение конусообразных и дискообразных электродов [38].

б) Азот. Для спектроскопических целей часто применяют воздух, из которого удалена большая часть кислорода. Воздух отбирают из колбы, в которой находится немного белого фосфора и воды, и сушат, например, посредством охлаждения.

Очень чистый (прежде всего свободный от кислорода) азот получают путем разложения азидов, в особенности азида натрия (NaN_3), который при 280°C распадается на натрий и азот. 2 г NaN_3 дают 1 л N_2 при атмосферном давлении. В связи с опасностью взрыва азидов рекомендуется применять предложенное Юсти [39] приспособление (рис. 1,9). Его важной деталью является трубка *c*, которая наполняется азидом лишь настолько, чтобы была покрыта ее нижняя сторона. После откачки трубка *c* осторожно подогревается (в электрической печи, максимальная температура 250°C). Затем небольшим пламенем ручной горелки подогревают кольцеобразную часть *a*

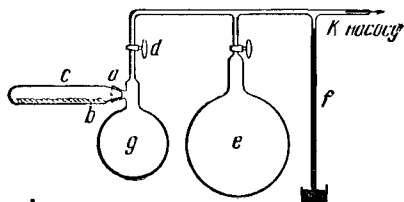


Рис. 1,9. Получение азота из азида натрия (по Юсти).

Натрий откладывается в колбе *g*; открывая время от времени кран *d*, азот переводят в колбу *e*. Необходимо следить за тем, чтобы при внезапном повышении давления трубка *c* не отлетела влево.

Гейне [40] описал целую серию физических и химических методов определения чистоты азота и аргона; некоторые из них требуют наличия значительного количества газа.

Наиболее точным контролем загрязнений азота электроотрицательными газами, согласно работе Эльцина [41], является его послесвечение при электрическом разряде низкого давления; согласно измерениям, проведенным Пиранни и Лаксом [42], абсолютно чистый азот не обнаруживает послесвечения; свечение усиливается при загрязнении от $5 \cdot 10^{-5}$ до $10^{-3}\%$ и прекращается, если загрязнение достигает $10^{-2}\%$ и больше.

е) Хлор. Небольшие количества чистейшего хлора получают согласно Траверсу, путем нагревания в вакууме хлорного золота.

Разложение (концентрированной, не содержащей воздуха) соляной кислоты с помощью пиролюзита или марганцевокислого калия дает газ с примесью только кислорода (около 0,5%). Лучшие результаты (0,1%) получаются с двуххромовокислым натрием. Требуются: капельная воронка с тонко вытянутым носиком, стеклянный шлиф и охлаждение колбы. Аналогичное приспособление описано Клеменсом. Хлор сравнительно легко очищается путем фракционной дистилляции с помощью жидкого воздуха.

з) Углекислый газ. Чистый двууглекислый натрий при нагревании примерно до 100°C дает очень чистый CO_2 и большое количество

водяного пара, который можно конденсировать в трубке, охлаждаемой льдом. Далее следует осушение CO_2 с помощью концентрированной серной кислоты.

η) Инертные газы: гелий, неон, аргон, криптон и ксенон — хранятся в газовых баллонах с отводной стеклянной трубкой, закрытой топкой (стеклянной) перегородкой. В этой трубке помещают железный цилиндрок, свободно скользящий в ней, затем припаивают трубку к аппаратуре. После откачки последней разрушают стеклянную перегородку, перемещая железный цилиндрок магнитом.

Небольшие количества гелия (несколько см^3 при атмосферном давлении) можно получить, нагревая до $300\text{--}400^\circ\text{C}$ несколько граммов клевета, монацита или торинита в вакууме или лучше [43] в атмосфере водорода. Очистка гелия особенно проста, так как он поглощается охлажденным активированным углем (стр. 37 и 202) значительно меньше, чем все остальные газы. Применение при этом ртутного насоса в качестве циркуляционного насоса см. стр. 174, 176.

Чистый аргон получают из аргона-сырца, удаляя чаще всего встречающиеся примеси кислорода и азота отчасти химическим путем, отчасти сильным охлаждением [44]. Водород отделяется трубкой из палладия [45].

θ) Очистка инертных газов от химически активных примесей. Вейцель [46] описал установку, которую можно приобрести в готовом виде. В этой установке газ, подлежащий очистке, пропускается под давлением $4\text{--}5$ мм рт. ст. и подвергается действию сильного газового разряда в трубке с электродами из магния. Режим: 380 в, $\frac{1}{2}\text{--}1$ а, водяное охлаждение. Продолжительность очистки: $10\text{--}20$ минут.

При очистке больших количеств инертных газов хорошо оправдал себя следующий метод: предварительная очистка в электрической дуге с кальциевыми электродами согласно Борну [47]. Режим: 220 в, 2 а, давление газа до 100 мм рт. ст. Стержни кальция, которые можно приводить в соприкосновение (зажигание дуги) при помощи магнита, расположены горизонтально. Дуга горит хорошо до тех пор, пока газ не очистится вполне. Когда место возникновения дуги имеет тенденцию к перемещению вдоль кальциевого стержня, то газ согласно методу, предложенному Вурхисом и Пайком [48], продолжают очищать разрядом между анодом и катодом, для которых берется цериевая смесь [49]. Железный тигелек (10 мм высотой и 25 мм диаметром) нагревают в вакууме до 1000°C и заполняют затем этой смесью. Последняя расплавляется в вакууме. Режим: 220 в, $0,25\text{--}1$ а, катод должен быть доведен до красного каления. Разряд может продолжать гореть в течение нескольких недель. Очистка длится примерно одну неделю.

В литературе имеются указания на то, что разрядные трубки, наполненные инертными газами, при длительном употреблении очищаются сами по себе.

Литература по выделению из смеси инертных газов ее отдельных компонентов указана у Клеменса. Для такого разделения применяется в большинстве случаев фракционная дистилляция.

Азот и кислород могут быть удалены при помощи мелких металлических порошков (Ba, Ca, Mg) [50].

Смеси газов с определенным содержанием компонентов можно получать (очень точно) при помощи двух резервуаров (8 кранов, парциальное давление можно измерять) [51].

Б) Разделение газообразных изотопов.
Методы с произвольно большим коэффициентом разделения

а) Электромагнитный метод разделения. Метод, основанный на принципе масс-спектрометрии, нашел особенно широкое применение при получении чистых изотопов. Главные трудности вызывались необходимостью иметь достаточно интенсивные ионные пучки, возможно большей эффективности и устранением влияния пространственных зарядов. Эти трудности удалось преодолеть, применяя магнит с диаметром полюсных наконечников 467 см с расстоянием между ними 183 см [0;1].

Фотохимический метод разделения основан на различии границы полос в спектрах изотопных молекул, что дает возможность применить фотохимическую реакцию с такой длиной световой волны, которая поглощается только определенными изотопными молекулами [2].

Для разделения газовых изотопов можно применять тлеющий разряд постоянного тока. В разряде молекулы диссоциируют и вновь рекомбинируют. Скорость рекомбинации зависит от массы молекул. На электродах происходит накопление легких и тяжелых изотопов, количество которых зависит от ионизационного потенциала молекул или атомов [3].

б) Метод молекулярного пучка. Ввиду того, что распределение скоростей по Максвеллу для молекул разных изотопов различно, можно, пользуясь прибором Штерна, получить любое количество легких молекул, если ввести вращающиеся диафрагмы и ловушки.

в) Методы разделения с малыми коэффициентами. При этих методах необходимо многократное повторение некоторого процесса, при котором отдельные блоки разделения изотопов, работающие обычно по дифференциальному методу, объединяются в производственный каскад, где они служат его последовательными ступенями.

г) Фракционная перегонка. Частое повторение процесса обогащения в этом случае происходит в ректификационных колоннах, как в технике разделения газов. Так как различие в давлении паров изотопов атомов или молекул тем больше, чем ниже их температура, то разделение следует проводить при температуре, возможно более близкой к тройной точке данного газа. До настоящего времени фракционной дистилляцией были получены изотопы следующих элементов: водорода, углерода, кислорода, неона, ксенона [4].

д) Химические обменные реакции. Константы равновесия и коэффициенты разделения теоретически вычислены и экспериментально определены для большого числа обменных реакций в газовой фазе и при различной растворимости газов в жидкостях. Повторение процесса происходит в ректификационных колоннах, устройство которых подобно устройству дистилляционных колонн [5].

е) Адсорбция и десорбция. До настоящего времени посредством адсорбции и десорбции производилось разделение только легкого и тяжелого водорода. При достаточно низких температурах и незначительных толщинах поверхностного адсорбционного слоя удается достичь исключительно высоких коэффициентов разделения. Оказалось, что силикагель производит лучшее разделяющее действие, чем активированный уголь, так как, во-первых, теплопровод-

ность силикагеля лучше и, во-вторых, в нем отсутствуют необратимо адсорбирующие центры [6].

ж) *Диффузионный метод.* Диффузия через пористые перегородки. Принципиальная возможность применения этого метода была доказана еще в 1932 г. Г. Герцем [7], который построил установку с большим числом блоков разделения и получил изотопы неона с высокой степенью разделения. Максимальный коэффициент разделения в области Кнудсена пропорционален корню квадратному из отношения масс изотопов; в области Пуазейля никакого обогащения не происходит. Разделение уменьшается еще до перехода диффузионного течения в область Пуазейля; необходимо работать в таком интервале давлений, в котором отношение средней свободной длины пробега к диаметру, пор или капилляров примерно равно десяти [8].

В другой работе Г. Герц пользовался также диффузионными процессами для разделения изотопов легких элементов [9]. Количество газа, с которыми можно работать при этом методе, сравнительно малы вследствие ограниченного интервала возможных давлений. В установке Герца применялись пары ртути, которые служили одновременно транспортирующим средством и диффузионной средой. При других опытах применялись вертикальные диффузионные колонны, в которых создавался противоток при помощи тепловой конвекции [10]. Необходимо всегда следить за тем, чтобы подлежащая разделению смесь изотопов диффундировала в газовой среде значительно более тяжелой. Коэффициент полезного действия обоих диффузионных методов сравнительно невелик. Главными потребителями энергии при диффузии через пористые стенки являются насосы, создающие необходимую разность давлений внутри пористых стенок.

з) *В методе термодиффузии*, предложенном Клузиусом и Диккелем [11], применяются особые разделительные трубки. Используются или трубками, подогреваемыми спиралью, или двумя концентрическими металлическими трубками, из которых внутренняя подогревается, а наружная охлаждается с помощью водяной рубашки; предполагается, что выбрано наивыгоднейшее расстояние между стенками трубок и что коэффициент термодиффузии не зависит от давления. При этом условии длина трубок для данного обогащения уменьшается при увеличении давления. Расход энергии, однако, при этом не изменяется, так как расстояние между стенками должно быть соответственно уменьшено. В установке несмысла целесообразно введено несколько ступеней, поэтому ее размеры тем меньше, чем выше обогащение [12].

Вещества с высокой температурой кипения (например, ртуть), также можно применять в таких разделительных трубках, если поддерживать температуру наружной стенки выше температуры кипения жидкости [13].

и) Для разделения изотопов можно использовать также *конвекционное рассеяние* [14] и, кроме того, совместное действие сжатия и обычной диффузии в расширяющемся сверхзвуковом потоке [14а].

к) *Центрифугирование.* Разделение в поле центробежных ускорений, в противоположность всем другим методам, зависит не от относительной разности масс изотопов $\Delta m/m$, а от разности их абсолютных масс; отсюда следует, что этот метод в особенности пригоден для обогащения изотопов тяжелых элементов, которые могут

находиться в виде тяжелых газообразных или парообразных соединений. Перепад давления в направлении от периферии ротора центрифуги к его оси очень велик для соединений с высоким молекулярным весом. Каждая ступень дает небольшое обогащение при тех полях ускорений, которые экспериментально достижимы. Поэтому даже при этом методе требуются ступенчатые каскады, для которых можно воспользоваться испарительными центрифугами [15], качающимися центрифугами [16] или применить термосифонный метод [17]. Газовые потоки внутри трубы можно стабилизировать добавлением водорода [18].

§ 3. Искусственные материалы (пластмассы)

А) Органические искусственные материалы

а) Обзор. Очень много искусственных органических веществ пригодно для применения в лаборатории и может помочь при решении специальных задач. Большое число имеющихся в продаже материалов затрудняет правильный их выбор, в особенности потому, что выбор материалов для применения в лаборатории по большей части производится с других точек зрения, чем выбор для их технического применения.

Этот раздел должен облегчить такую работу, так как далее даются некоторые рекомендации. обстоятельное сопоставление химической классификации, свойств материалов и техники их обработки имеется в литературе [1]. Размеры и форма материалов, имеющихся в продаже, и методы их обработки устанавливаются стандартами [2]; выпуск новых материалов обычно расширяет области возможных применений. Для правильного представления о материале необходимо иметь сведения о химических и технологических особенностях его получения и обработки; такие сведения далее приводятся. Обычные торговые обозначения [3] добавлены в скобках.

1) Высокомолекулярные естественные материалы, которые можно искусственно изменять: производные целлюлозы (искусственный шелк, штапельное волокно, бумага, вулканизированная фибра), животные белковые вещества (искусственный рог, изделия из казеина), производные каучука (эбонит, губчатая резина).

2) Высокомолекулярные материалы, полученные поликонденсацией: фенолформальдегидная смола (бакелит, пертинакс), мочевиная и меламиновая смола (резопаль, ультрапаз), анилиновая смола (иганил), алкилполисульфиды (тиокол, пердурен), полиамиды (игамид, перлон, нейлон), полиэфирная смола (легувал).

3) Продукты, получаемые полимеризацией: полиуретаны (десмокол, молтопреп, вулкалан), этоксилиновая смола (аральдит).

За некоторым исключением (например, полиамид), группы 2) и 3) называют «отвердевающими» искусственными материалами в связи с тем, что они имеют свойство после начального состояния термопластичности переходить в другую модификацию, которая более уже не меняет форму и нерастворима. Эти материалы в зависимости от их назначения можно иметь в первоначальном термопластическом виде или в отвердевшем состоянии.

4) Полимеризационные искусственные материалы: полиэтилен (луполен), полиизобутилен (оппанол В), полистирол (тролигул, стирофлекс), полиакрилаты (плексиглас, стабол), поливинилхлорид (винидур, игелит), поливинилацетат (мовилит), бутадиен-полимеризат (бува), силикон, фтористый углеводород (тефлон), кроме того, смешанные полимеризаты (минолам, астралон, формвар). В зависимости от положения точки размягчения и величины молекулярного веса эти материалы при 20° С могут быть твердыми, эластичными или вязко-жидкими. Твердые полимеры при более высокой температуре способны к пластическим деформациям; вследствие этой особенности они носят название «термопластичных» искусственных материалов.

Полимеризация, т. е. процесс, при котором низкомолекулярные соединения (мономеры) переходят в высокомолекулярные соединения (пластмассы), очень широко применяется в настоящее время [4]. Образующиеся вещества в большинстве случаев содержат еще некоторые необходимые примеси (например, стабилизаторы, связующие наполнители), так что не являются химически чистыми соединениями. Для высокомолекулярных соединений характерно статистическое распределение по молекулярному весу и перемешанное молекулярное строение [5].

6) *Искусственные конструкционные материалы.* Возможности использования твердых и термопластичных материалов в качестве конструкционных материалов для приборов и лабораторного оборудования весьма разносторонни. Здесь играют роль следующие их общие свойства: электрическая изоляция, химическая стойкость, достаточная прочность наряду с отсутствием хрупкости, а также возможность применения различных способов обработки.

1) Из феноловых смол с наполнителями часто применяется слоистая пластмасса из бумаги, пропитанной искусственной смолой, в форме пластин различной толщины, например перлинакс или тролитакс. Эти анизотропные слоистые материалы [5а] характеризуются следующими данными: плотность от 1,26 до 1,9 г/см³; модуль упругости от 65 до 130·10⁸ кг/см²; прочность на растяжение от 150 до 500 кг/см²; прочность на сжатие от 1200 до 3000 кг/см²; коэффициент теплового расширения от 10 до 80·10⁻⁶ °С⁻¹; теплопроводность от 40 до 190·10⁻⁵ кал/см·сек·°С; устойчивость формы (непластичность) по Мартенсу [6] от 120 до 150° С; диэлектрическая постоянная от 4,8 до 6; tgδ от 0,02 (50 гц) до 0,1 (800 гц); удельное сопротивление от 10¹⁰ до 10¹² ом·см; поверхностное сопротивление 10¹⁰ ом [7]; неустойчивы против блуждающих токов, устойчивы против почти всех органических растворителей, подвержены действию слабых и концентрированных кислот и щелочей.

2) После пропитки асбеста или слюды феноловыми смолами и прессования получаются весьма теплоустойчивые материалы, например миканит, который может применяться при температурах до 450° С.

3) Если нежелательны коричневые и темные цвета материалов из феноловой смолы, например для покрытия лабораторного стола, то можно применять покрытия из мочевиновой или меламиновой смол, например формики или резопали. Поверхности этих материалов хорошо сопротивляются местному нагреванию. Из резопалевых пластин, которые составлены из нескольких цветных

слоев, можно изготовлять простыми средствами путем гравирования прочные шилдики для надписей на приборах.

4) Из термопластических материалов можно рекомендовать твердый поливинилхлорид, известный под коммерческим названием винидур. Может быть получен в виде пластин (толщиной до 50 мм), труб, стержней специальных профилей и фольги. Хорошо обрабатывается (например, на токарном станке), устойчив против разбавленных и концентрированных кислот и щелочей, минеральных масел, парафинового масла, спирта, кислорода и озона; все это, наряду с перечисленными ниже данными, обеспечило ему разносторонние применения. Плотность $1,38 \text{ г/см}^3$; ударная вязкость $150 \text{ см/кг} \cdot \text{см}^2$; диэлектрическая постоянная от 4,0 до 3,4 (между 50 и 10^3 гц); $\text{tg} \delta$ от 0,020 (800 гц) до 0,04 (10^6 гц); удельное сопротивление $10^{15} \text{ ом} \cdot \text{см}$; пробивная прочность от 40 до 50 кв/мм ; стойкость к поверхностности токама; относительно небольшое давление паров. Сохраняет устойчивую форму до 65°C ; коэффициент теплового расширения равен от 50 до $100 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ \text{C}^{-1}$. PVC не горит. Растворители: тетрагидрофуран и циклогексанон.

Весьма сходные свойства имеют также полимеры миполам и астралон.

5) Добавляя к поливинилхлориду размягчающие вещества, его можно сделать эластичным, как резина. Такие тонкие и мягкие листы (непрозрачные или окрашенные), с проницаемостью для водяного пара $7 \cdot 10^{-9} \text{ г} \cdot \text{см/час} \cdot \text{см}^{-1} \cdot \text{мм рт. ст.}$, применяются, например, в лабораториях для защиты ценных приборов.

6) Как прозрачный материал широко применяется полиметакрилатная смола плексиглас [8] в качестве окошек, моделей и прозрачных пластинок. Плотность $1,18 \text{ г/см}^3$; модуль упругости (20°C) $28,5 \cdot 10^3 \text{ кг/см}^2$; ударная вязкость 20 см кг/см^2 ; устойчивость формы (непластичность) (Мартенс) 80°C ; теплопроводность $44 \cdot 10^{-5} \text{ кал/см} \cdot \text{сек} \cdot ^\circ \text{C}$; коэффициент расширения $80 \cdot 10^{-6} \text{ }^\circ \text{C}^{-1}$; диэлектрическая постоянная от 3,0 до 3,6; $\text{tg} \delta$ от 0,02 до 0,07; удельное сопротивление $10^{15} \text{ ом} \cdot \text{см}$; пробивная прочность 35 кв/мм . Оптические данные см. стр. 52 и 61; плексиглас устойчив против атмосферных влияний, на него не действуют также вода, разбавленные кислоты и щелочи (до 20%), бензин и минеральное масло. В качестве растворителя служат хлористые соединения углеводородов. Специальные клеящие средства для плексигласа имеются в продаже.

7) Применение деталей из политетрафторэтилена (тефлона) объясняется его хорошей теплостойкостью, устойчивостью против коррозии, в особенности против соединений, содержащих фтор, и очень благоприятными свойствами в отношении трения [9]. Материал может длительное время работать при температуре 280°C и разлагается лишь при 450°C . Так как термопластическая обработка его невозможна, то детали различной формы из тефлона изготовляют, спекая их из порошка. Допускает обработку для удаления заусенцев. Дальнейшие указания на стр. 65, 302.

8) Часто тефлон можно заменять политетрафтормонохлорэтиленом хостафлоном. Его можно употреблять длительное время при температурах до 190°C ; при $230\text{—}280^\circ \text{C}$ становится пластичным и ему можно придать требуемую форму; разлагается при 300°C [10]. Возможно изготовление покрытий посредством его распыления при нагревании.

9) Указания по обработке твердых искусственных материалов. Если не считать некоторых материалов, которые изготавливаются посредством смешивания органического материала с неорганическим наполнителем (например, каменной мукой), то отвердевающие и термопластические материалы могут сверлиться, распиливаться, фрезероваться, обтачиваться и шлифоваться обычными средствами [11]. Большой частью возможно также нарезание резьбы, только необходимо избегать острых краев. При применении слоистых веществ (материала из пропитанной смолой бумаги, текстолита) следует обращать внимание на анизотропию материала, чтобы избежать расслаивания. При обработке термопластических материалов необходимо считаться с местным разогреванием, при котором легко достигается температура размягчения. Чтобы избежать этого так называемого «размазывания» обрабатываемой детали, следует охлаждать ее воздухом или жидкостью (вода, эмульсия); кроме того, помогают острый инструмент и правильные скорости резания (приблизительно соответствующие легким металлам). При отвердевающих смолах непосредственно получать из сырья различные детали [12] можно только в заводских условиях (в общем, из-за высокого давления при прессовании). В то же время термопластические массы легко и без напряжений можно формовать в лаборатории.

в) *Материалы для отливок и заполнения пор и пустот.* Некоторые искусственные материалы являются ценным сырьем для качественных отливок, которые можно выполнять в лабораторных условиях. Эти материалы заливается в формы и отвердевают после добавления к ним особых закрепителей или после соответствующей термообработки. Все большее значение приобретает вещества, в которых искусственные материалы служат только связующим (например, между стеклянными волокнами).

1) Для отливок при $120-130^{\circ}\text{C}$ можно применять смолу для литья аральдит В [14], многократно оправдывавшую себя. Желто-коричневые куски этой смолы плавятся в сосуде при $125-130^{\circ}\text{C}$. После добавления закрепителя горячую и очень текучую смесь можно применять для отливок. К расплавленной смоле можно прибавлять до 300% каких-либо наполнителей (например, кварцевой муки). Если отливку держать более одного часа при 120°C , то начинается отвердевание; при этом с увеличением длительности процесса отвердевания уменьшается объемное сжатие: с 2,3% (отвердевание при 200°C требует примерно 1—2 часов) до 0,5% (отвердевание при 100°C за 14—20 часов). Затвердевший материал механически прочен и устойчив. Аральдиты хорошо прилипают к другим материалам. Коэффициент температурного расширения, равный $60 \cdot 10^{-6} \text{ град}^{-1}$, может быть уменьшен путем добавления наполнителей. Температура разложения $340-350^{\circ}\text{C}$; удельное сопротивление $10^{16}-10^{17} \text{ ом}\cdot\text{см}$; диэлектрическая постоянная 3,7—4,2; $\text{tg}\delta$ 0,007 (при 50 гц) и 0,027 (при 10^6 гц).

2) Имеются также разновидности аральдита, жидкие при 20°C и отвердевающие при этой температуре при добавлении закрепителей.

3) Как связующий материал особое значение имеют смолы сложных эфиров. Обычно отвердевания этих смол добиваются под влиянием закрепителя при нормальной температуре. Для изготовления полых тел из стеклянных нитей, связанных смолами сложных эфиров, разработаны различные методы [15].

4) Для моделей при исследованиях напряжений оптическим методом применяют фенолрезольные смолы, которые называют собирательным термином «облагороженные» искусственные смолы (стр. 302, 305). Одним из торговых названий является «декорит». Эти смолы вырабатываются при 80—85° С без добавления закрепителей, а затем при тех же условиях подвергаются в течение 30—40 часов затвердеванию. Возможности хранения жидких смол ограничены. Не полностью затвердевшие стеклянно-прозрачные образцы окрашиваются под влиянием света и тепла. «Облагороженные» искусственные смолы являются сравнительно плохими изоляторами.

5) Возможна полимеризация мономерных метакрилатов в лабораторных условиях [16], при которой вымывают стабилизатор и добавляют ускоритель (перекись бензоила); эта операция применяется главным образом при изготовлении образцов для получения очень тонких срезов (электронная микроскопия).

6) Для заделки демонстрационных объектов пригоден бесцветный материал целодал.

7) Для крепления электрических деталей часто применяется смола аральдит. Можно также применять заливочные материалы, содержащие битум или синтетический воск, например нибрен-воск. Особое внимание при этом надо обращать на заполнение всех полостей и на отсутствие пузырьков. См. также п. 9.

8) В качестве заделочной массы для транзисторов применяется особая смесь, которая вырабатывается при 130° С и после застывания образует твердый гель [17]; ее состав 7,5 вес. % полиэтилена (молекулярный вес 12 000), 92 вес. % полиизобутилена (молекулярный вес 3000) и 0,5 вес. % полимеризованного триметилдигидрохинолина в качестве антиоксидного средства.

9) Советы при этих работах. В качестве материалов для форм при отливках можно применять свинец, медь, латунь, сталь и стекло. Для того чтобы было легче вынимать отлитые детали из форм, следует избегать в последних острых кромок и углов. Можно рекомендовать смазывание формы 2% раствором пчелиного воска или парафина в четыреххлористом углероде. Особенно хорошим отделяющим средством является силиконовое масло DC (жидкость для смазывания форм). Если необходимо получить отливки, очень однородные, хорошо заполняющие формы и без воздушных пузырьков, то литье следует проводить в вакууме (10—20 мм рт. ст.). Материал, подлежащий заливке, необходимо тщательно высушить и обезгазить.

г) Эластичные и вязкие материалы.

Определенное применение в лабораториях находят также некоторые из эластичных материалов, в большом количестве имеющих в продаже. Такие материалы широко применяются для получения герметичности [18], для гибких передач, в качестве покрытий при противокоррозийной защите [19], как специальные изолирующие прокладки и мембраны, в качестве демпфирующего и пружинящего материала в установках, не допускающих сотрясений.

Выбор эластичных резиновых материалов можно делать по следующим свойствам.

1) Мягкость сорта резины, чаще всего определяемая в градусах жесткости по Шору (92—78 жесткая; 77—51 средней жесткости; менее 50 — мягкая) [20].

2) Желаемый температурный интервал применения (натуральная резина: от -30 до $+60^{\circ}\text{C}$; буна-S: от -25 до $+75^{\circ}\text{C}$; пербунап: от -25 до $+100^{\circ}\text{C}$; силиконовая резина: от -70 до $+200^{\circ}\text{C}$).

Эти границы могут быть несколько изменены при добавлении наполнителей, которые часто необходимы для получения желаемой формы.

3) Желаемая стойкость против действия газов и жидкостей. (Изделия из натуральной резины, например, нестойки к действию минеральных масел и других органических жидкостей. Синтетические материалы, однако, в таких случаях еще можно применить.)

4) Имеющиеся в продаже сорта натурального каучука и детали из них описаны, например, в специальном техническом словаре [21] резиновых изделий.

5) При использовании плоских уплотнителей лучше всего придерживаться образцов, имеющихся в продаже: круглого шнура, профилированных и плоских колец. Для уплотнения на кривых поверхностях применяют большое количество манжетных прокладок различной формы (например, кольца Зиммера) и O-образных колец из различных материалов.

6) Специальные уплотнители изготавливают из материалов с различной жесткостью и из толстых резиновых пластин, предназначенных для покрытий.

Для особых целей могут служить также различные эластичные материалы, невулканизированные и обладающие поэтому термопластическими свойствами. Такие свойства имеет полиизобутилен.

7) Полиизобутилен [22] (торговое название опаноль). Этот материал имеет различные средние молекулярные веса. Так, например, опаноль В15¹⁾ представляет собой мягкую клейкую массу, В100 и В200 подобны сырой резине. Упругие сорта обнаруживают текучесть под давлением, что может быть использовано при применении их в уплотнениях. Сравнительно хорошо выдерживают давление сорта OG и ОК; они сохраняют эластичные свойства в пределах от -50 до $+100^{\circ}\text{C}$.

8) Вместо резиновых шлангов можно применять шланги из мягкого поливинилхлорида или подобных ему материалов (например, сарана). Они более стойки против химических воздействий. Надевание этих термопластических шлангов на трубки и колена облегчается при слабом нагревании материала. При охлаждении шланг прочно охватывает штуцер, что на длительное время обеспечивает хорошее уплотнение и соединение. Если такие шланги служат для подачи органических жидкостей, то вследствие растворения смягчающих наполнителей шланги могут постепенно приобрести чрезмерную хрупкость.

9) Эластичные шланги, которые должны подвергаться внутреннему или внешнему давлению, можно усилить, обматывая их проволоочной спиралью или вводя ее внутрь. В продаже имеются шланги определенных диаметров, в которых такая спираль впрессована в стенки.

10) Для подачи газов под высоким давлением и для охлаждающих водяных систем в лабораториях рекомендуется для без-

¹⁾ По немецкой номенклатуре. — Прим. ред.

опасности применять шланги с прокладкой из ткани, для которой известно максимально допустимое давление.

Для работ в лаборатории могут быть использованы следующие жидкости.

11) В качестве наполнителей жидкостных термостатов оправдали себя метиловый спирт (от -60 до 0°C), смесь веществ, понижающих температуру застывания жидкостей (например, глизантин или этиленгликоль с водой) (от -10 до $+90^{\circ}\text{C}$), минеральное масло (от $+20$ до $+150^{\circ}\text{C}$), дифил (от $+15$ до $+250^{\circ}\text{C}$), силиконовые масла (от -60 до $+250^{\circ}\text{C}$).

12) Вязкость силиконовых масел очень слабо зависит от температуры. Поэтому их можно применять в качестве эталонов при измерениях вязкости.

Для особых целей силиконовые масла можно также применять как манометрическую жидкость [23].

13) Жидкости с высокой температурой кипения и малой упругостью паров при нормальной температуре применяются в диффузионных насосах. Для этого рекомендуются такие жидкости, как октойль, наркойль, силиконовые масла и специально обработанные минеральные масла, например апьезоновые; для той же цели часто применяются такие технические размягчители, как трикрезилфосфат или дибутилфталат.

14) Клофены являются высококачественными электроизолирующими жидкостями, применяющимися для пропитывания и наполнения электрических деталей.

15) Для изменения вязкости и улучшения смазывающего действия минеральных масел к ним добавляют высокомолекулярные жидкости (например, опаноль В3, В15 или В50).

16) Локтит [4] не летуч; в присутствии кислорода воздуха текуч; применим для предохранения винтов от развинчивания.

в) *Электроизолирующие вещества.* Хорошие изолирующие свойства многих искусственных материалов вызвали их применение во всех областях электротехники [24]. Для выбора необходимых веществ можно воспользоваться таблицей стандартов [4], где даны исчерпывающие сведения об их разнообразных технических параметрах и диэлектрических свойствах. Далее приводятся некоторые материалы с особо интересными свойствами.

1) Поливинилбензол (под торговым названием полистирол и тролитул) в форме пластин (толщиной от 1 до 30 мм) и стержней (диаметром до 50 мм) применяется как конструкционный материал. Сохраняет форму примерно до $100-120^{\circ}\text{C}$. Прозрачный или непрозрачный полистирол с одинаковым успехом может применяться как для постоянных, так и высокочастотных токов. Удельное сопротивление 10^{16} ом·см, поверхностное сопротивление $3 \cdot 10^{12}$ ом·см, полная стойкость к токам утечки благодаря гидрофобности поверхности (поглощение воды после 7 дней пребывания в ней только 0,05% по весу); диэлектрическая постоянная 3,0 (50 гц), 2,3 (800 гц), 2,2 (10^6 гц); $\text{tg}\delta$ $5 \cdot 10$ (50 гц), $2 \cdot 10^{-4}$ (800 гц), $6 \cdot 10^{-6}$ (10^6 гц); пробивная прочность 100 кв/мм, коэффициент теплового расширения $60-80 \cdot 10^{-6} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$.

Под влиянием длительной механической нагрузки, а также под действием органических растворителей или их паров на поверхности полистирола появляются волосные трещинки, которые, однако, почти не влияют на его электрические свойства.

2) Полистирол, выработанный в виде тонкой фольги (вальцованный) толщиной до 0,01 мм, под названием, например, стиролфлекс применяется для изоляции кабелей и в дорожных рулонных конденсаторах.

3) Наряду с уже ранее упоминавшимися материалами — поливинилхлоридом (см. стр. 50,301, диэлектрическая постоянная от 4,0 до 3,4; $\text{tg}\delta$ от 0,015 до 0,04) и опанолем (стр. 50,304, диэлектрическая постоянная 2,3; $\text{tg}\delta$ $4 \cdot 10^{-4}$), следует еще упомянуть о твердом поливинилкарбазоле (торговое название лувикан); этот материал имеет хорошую теплотойкость (устойчив по Мартенсу от 150 до 160° С), его удельное сопротивление (от 20 до 100° С) равно 10^{16} ом·см, $\text{tg}\delta$ $4 \cdot 10^{-4}$. Также следует упомянуть о твердом, несколько воскообразном полиэтилене; этот материал, с торговым названием лулолен, можно получить в виде пластин или фольги. Он успешно применяется в качестве изолирующего материала при высоких частотах [26]. Диэлектрическая постоянная 2,2 (10^9 гц) и $\text{tg}\delta$ от 3 до $6 \cdot 10^{-4}$ (10^9 гц), плотность 0,42 г/см³, область размягчения от 112 до 115° С, устойчив к низким температурам до -50° С, водопоглотительная способность менее 0,01%.

4) Жидкие изоляторы и заливочные масла сопоставлены на стр. 49, 304. Изолирующие лаки см. стр. 54.

е) Органическое стекло. Подразделение стекол на органические и неорганические кажется вполне оправданным, если иметь в виду только оптические свойства отдельных органических искусственных материалов [27].

1) Метакриловые смолы (плексиглас, перспекс) (см. стр. 47 и 302) особенно сильно отличаются от силикатного стекла в семь раз большей прочностью на изгиб при ударе (20 кг/см²). Это отсутствие хрупкости и придает органическим стеклам их особый характер. Два торговых сорта плексигласа М22 и М33 обладают следующими оптическими свойствами: $n_D(20^\circ \text{C})$ 1,49, число Аббе от 54 до 56, коэффициент поглощения $1,1 \cdot 10^{-4}$ мм⁻¹, прозрачность 99% (400—900 мкм), граница прозрачности в коротковолновой области для М22 лежит при 260 мкм и для М33—при 295 мкм, граница в длинноволновой области—при 1000 мкм. Спектральная зависимость поглощения приведена Эссером [28]. Следует отметить еще то обстоятельство, что при изготовлении плексигласа получают продукты, которые, вследствие различной химической структуры, имеют несколько различные коэффициенты преломления и дисперсию.

Плексиглас выпускается в продажу в виде блоков, пластин или как профилированный материал; он хорошо поддается обработке. Уход за плексигласом заключается в протирании его водой с мылом. Поверхности, поцарапанные при механической обработке, можно полировать сначала мелкой наждачной бумагой или на полировальном (кожаном или суконном) круге; затем, смачивая поверхность «плексиполем», полируют ее влажным тампоном из мягкого материала или ваты. Если под действием электростатических сил на поверхностях плексигласа осаждается пыль, то против этого явления можно применять специальный «плексиклар».

2) Прозрачные сорта полистирола также применимы для оптических целей. Коэффициент преломления $n_D(20^\circ \text{C})$ 1,59, число Аббе 31, проникаемость 85% при 550 мкм, 72% при 400 мкм, 50% при 330 мкм.

3) Большие линзы изготавливаются путем деформации пластин метакриловой смолы переспекс, из которых склеивается полая линза; ее затем заполняют жидкостью [29].

4) Осаждение в высоком вакууме металлов на плексигласе и переспексе не встречает затруднений.

5) Метакриловая смола (плексиглас, см. стр. 47) вследствие большой оптической анизотропии при напряжениях применяется как материал для изготовления моделей для оптического исследования напряжений [30].

Хотя ударная прочность и другие качества органических стекол кажутся довольно привлекательными, тем не менее при их применении для оптических целей необходимо помнить о следующих особенностях, присущих этим материалам: низкие температуры размягчения, большая зависимость коэффициента преломления от температуры по сравнению с силикатными стеклами и малая прочность в отношении царапин.

6) В качестве прозрачных прокладок или подложек для светофильтров, диапозитивов и пленок вместо известного целлулоида следует применять ацетатную пленку, как менее горючую.

В торговой сети ацетилцеллюлоза встречается либо в виде готовой пленки («целлон»), либо в виде материала для отливок тонких пластин («целлит»): n_D (20° С) от 1,46 до 1,5.

ж) Пеноматериалы, термические и акустические изоляционные материалы. Пеноматериалы нашли себе весьма широкое применение в лабораториях вследствие их малой плотности, очень небольшой теплопроводности и возможности изменять их упругие свойства и прочность.

1) Ипорка — белая, мягкая пена карбамидных смол — поставляется в виде пластин или в виде материала для пробок, сальников и т. п. При плотности 0,015 г/см³ этот негорючий материал можно применять в качестве термоизоляции без опасений его разложения как при низких температурах, так и при высоких, до +120° С. Теплопроводность (λ [0° С] = $7,5 \cdot 10^{-5}$ кал/см·сек·°С) материала мало зависит от температуры (λ [100° С] = $15,5 \cdot 10^{-5}$ кал/см·сек·°С). Однако сопротивление ипорки давлению невелико (0,25 — 0,5 кг/см²), поэтому целесообразно использовать этот материал между твердыми стенками; это одновременно предохраняет неплесневеющую, весьма мелкопористую термойзоляцию от соприкосновения с жидкостями. Ипорку можно применять также и для целей звукоизоляции. Средняя звукопоглощающая способность между 128 и 4100 гц составляет 0,51 (для пробки 0,05).

2) Для изоляции холодных деталей пена, получаемая на основе поливинилбензола (торговые названия: стиропор, тропорит), более пригодна, чем ипорка. В продаже имеются пластинки различной толщины и полукольца, служащие для изоляции трубопроводов. Коэффициент теплопроводности 6— $10 \cdot 10^{-5}$ кал/см·сек·°С.

3) В продаже для хранения твердой СО₂ имеются небьющиеся сосуды из пенополистирола.

4) Пена молтопреп, получающаяся на полиуретановой основе, является гибким или твердым материалом (плотность от 0,02 до 0,4 г/см³), который при нагревании до 150° С можно снова пластически деформировать. Затем начинается затвердевание, после которого материал сохраняет неизменную форму при нагревании вплоть до 250° С. Твердые пеноматериалы обладают механической

прочностью, допускают обработку напильником. Они в особенности пригодны для использования в качестве опорных подставок [31].

5) Для наполнения твердыми пенами полостей и тел, получаемых путем формовки (например, крыльев самолета, профилей), пригодна пена, полученная на основе полистирола и полиуретана. Оба вещества можно получить в виде сырья, которое может быть превращено в пену [32].

6) Пеноматериалы имеют особое значение в акустике как экраняющие и поглощающие материалы [33].

7) В основном все полимеры способны в термопластическом состоянии образовывать пену при помощи соответствующего вещества. Пенополистирол применяется в качестве диэлектрика (диэлектрическая постоянная 1,4), обладающего механической прочностью.

8) Пеноматериалы могут быть при некоторых обстоятельствах анизотропными, если пузыри, находящиеся в них при изготовлении, деформируются или располагаются вполне симметрично.

9) Из мягких пен, в качестве подушек и подкладок для ценных приборов или как изоляционный материал, применяют губчатую резину (открытые поры) или пенистую резину (закрытые поры). Употреблять их можно в диапазоне температур от -30 до $+150^{\circ}$ С.

з) *Лаки, пропитывающие и связывающие средства.* Сорты лаков и рецепты специальных покрытий так многочисленны [34], что здесь не имеет смысла останавливаться на этом подробно. Рецептура для разнообразных областей применения приведена, например, в [35]. В сущности, массу естественных материалов, несколько видоизмененных, и почти все искусственные материалы можно применять в качестве основы для лака. Практически, однако, высококачественные лаки получают только от соединения вполне определенных основных веществ (твердых тел) и растворителей с некоторыми примесями (пигменты, наполнители, размягчители), которые затем удаляются при высушивании на воздухе или в печи.

Так как имеется большое количество стандартных материалов. выпускаемых промышленностью, самостоятельное изготовление лаковых смесей в лаборатории необходимо лишь в редких случаях. Некоторые уплотнительные лаки, а также лаки, требующие выжигания, обычно имеются в продаже.

1) Для обычных задач, встречающихся в практике лабораторий, как, например, для защиты от влаги или от коррозии, пригодны лаки на основе нитроцеллюлозы (цаноллаки, нитролаки) или еще лучше малогорючие лаки на основе ацетилцеллюлозы (целлон- и целлит-лаки).

2) Для улучшения электрической изоляции, для пропитки катушек и обмоток, которые вследствие этого одновременно приобретают и механическую прочность, рекомендуется применять отвердевающие лаки, например, на основе феноловых смол (альбертол, эсагол) или лаки, отвердевающие в холодном состоянии, которые изготавливаются непосредственно перед их употреблением смешиванием двух компонентов.

3) Качества, которым должны отвечать имеющиеся в продаже изоляционные лаки, изложены в соответствующих стандартах. Относительно особых вопросов, связанных с лакоизоляцией, см. [36].

4) При самостоятельном составлении изолирующих лаков можно воспользоваться следующим рецептом: 4 весовых части шел-

лака, 1,2 весовой части густого терпентина, 20 частей спирта. Вязкость лака можно изменять путем добавления спирта.

5) Опишем еще следующие изоляционные лаки, применяемые в специальных случаях.

Аральдитовая лаковая смола (например, типа 985) является этоксилиновым продуктом со свойством очень хорошо прилипать к металлу. Температура разложения свыше 300° С.

Предлагаются рецепты: лак для лакировки окунанием — 500 частей по весу аральдита 495Е (два устойчивых компонента), 150 частей метилацетата, 150 частей этилацетата, 30 частей метилового спирта, 170 частей толуола; лак для нанесения пульверизатором — 335 частей по весу аральдита, 445 частей дианетонового спирта, 65 частей толуола, 65 частей ксилола, 40 частей этилацетата, 40 частей метилацетата. Застывший лак (печная сушка в течение примерно 160 минут при 160° С) устойчив против большинства органических растворителей, воды и масел.

Силиконовые лаки с особой характеристикой, хорошей температуроустойчивостью, предохраняют от воды и имеют хорошие технические данные. Пробивная прочность 110 *кг/мм*, диэлектрическая постоянная 2,8, $\text{tg} \delta$ от 0,003 до 0,005. К сожалению, пока они еще дороги.

6) Для наружного покрытия кожухов применяются «эффектные лаки» (декоративные), имеющиеся в продаже под различными названиями, например: стягивающиеся лаки, муаровые, мраморные, лаки под чеканную отделку. Лаки, затвердевающие в печи, обладают лучшими механическими свойствами.

7) Известны электропроводящие лаки. Особенно хороши коллоидальные смеси металлов или графита с лаками (например, лейтзильбер).

8) Температура поверхности машин и отдельных деталей может быть установлена по цвету специальных красителей, смешанных с лаками и нанесенных на исследуемую поверхность (термокопир-красители). Эти красители обладают свойством изменять при определенной температуре свой цвет. (Пригодны в интервале от 60 до 650° С; см. стр. 329.)

9) Для закрепления слоев с высоким содержанием твердых веществ (светящиеся экраны, слои солей и т. д.) при их изготовлении примешивают незначительное количество растворимого в воде поливинилового спирта (торговое название мовиол), который служит связующим средством (см. стр. 46).

10) При необходимости обработки поверхности твердых веществ или обмоток искусственными материалами можно воспользоваться эмульсиями некоторых термопластических материалов, имеющихся в продаже. После термической обработки возникают твердые слои эмульгированного материала.

Б) Неорганические искусственные материалы

а) *Стекло.* 1) При практическом применении кварца следует принимать во внимание два вида его полусырых продуктов: 1) белый, непрозрачный плавленый кварц с шелковистым блеском поверхности и 2) прозрачное, оптически почти чистое кварцевое стекло

(плавленный горный хрусталь). Оба материала можно сплавлять друг с другом. Неупругий плавленный кварц благодаря более низкой цене применяется при изготовлении больших сосудов; к таким сосудам в сложных аппаратах припаиваются в случае необходимости прозрачные трубочки из плавленого кварца. Кварцевое стекло состоит из чистой двуокиси кремния (SiO_2) и не поддается действию плавиковой и кипящей фосфорной кислот; оно не поддается также действию щелочей и некоторых щелочоземельных металлов, как, например, магнезия, и щелочных растворов, например аммиака. Кварц применяется для термометров с ртутью до 1000°C (высокое давление азота) и с галлием до 1200°C . Откачанные кварцевые трубки выдерживают максимум 1200°C . Для горячей обработки и дутья кварцевых трубок необходимы: 1) температуры до 1800°C , получаемые с помощью гремучего газа или лучше ацетилено-кислородного пламени, 2) темные очки и 3) вследствие сильного испарения, вытяжной шкаф. Для обработки кварца можно также пользоваться смесью пропана с кислородом и специальной горелкой. Тонкие кварцевые трубочки можно припаять на паяльной горелке, работающей на светильном газе и кислороде.

Тепловое расширение кварца характеризуется следующими данными (табл. I,6).

Таблица I,6

	Диапазон температур от 0°C до									
	100°	200°	300°	400°	500°	600°	700°	800°	900°	1000°
Линейный коэффициент расширения $\alpha \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	5,10	5,85	6,27	6,35	6,12	6,00	5,71	5,62	5,56	5,40

Стержень из кварцевого стекла длиной 1 м при повышении температуры от 0 до 1000°C удлиняется в соответствии с этим на 0,54 мм.

Вследствие исключительно малого теплового расширения кварц почти нечувствителен к резкой смене температур. Раскаленное кварцевое стекло можно быстро охлаждать в воде, не опасаясь, что оно растрескается. Механическая прочность кварца лишь незначительно ниже механической прочности стекла. Разрезать кварцевые трубки при незначительной толщине стенок можно так же, как и стеклянные, т. е. надрезая ножом для стекла их поверхности и растягивая затем (с небольшим изгибом) надрезанное место. Трубки с более толстыми стенками режут алмазной или корундовой пилой.

Если требуется припаять кварцевые пластины, то необходимо убедиться в том, что они имеют аморфное, а не кристаллическое строение. Кристаллические пластины вследствие наличия точек перехода допускают лишь очень осторожное нагревание. Вплавление или припайвание кварцевых пластин является весьма сложной операцией, которая удаётся только с помощью специальных горелок.

2) Сплавление кварца с металлом в большинстве случаев требует применения переходных кварцевовольфрамовых стекол. Для сплавления проволок в кварцевое стекло применяются также промежуточные стекла.

Способ непосредственного сплавления молибдена в кварц дает Лаустер [1]. Он приплавлял молибденовую фольгу толщиной 15 мм и шириной 4 мм непосредственно к кварцевой трубке. Прочность спая молибдена с кварцем при этом была настолько большой, что, несмотря на разницу в коэффициентах расширения обоих материалов, даже после охлаждения не появлялось никаких трещин и расслоений. Такая сплавленная фольга выдерживает нагрузку током до 10 а.

3) В противоположность обычному стеклу, кварцевое стекло как при комнатной температуре, так и при высоких температурах сравнительно легко пропускает гелий и водород [2]. Мак-Ленан и Вильгельм [3] обнаружили, что вакуум дьюаровского сосуда в защитной рубашке из кварцевого стекла после однократного наполнения его жидким гелием ухудшается.

Согласно Релею в течение суток через 1 см² кварцевой пластины в 1 мм толщиной диффундирует 0,3 мм³ гелия при давлении 1 атм и при комнатной температуре. Так как в пламени бунзеновской горелки всегда содержится водород, то эвакуированные сосуды из кварцевого стекла не следует нагревать ее пламенем.

Особенно пригодным для хранения гелия оказалось стекло с борнокислым свинцом завода Вертхейм (EW).

Кварцевые сосуды, в которых хранятся сильные препараты радия, обнаруживают более слабое изменение окраски, чем сосуды из обыкновенного стекла, однако на их внутренней поверхности образуются мелкие трещины, а иногда отслоения. Высокотемпературные печи значительно облегчили изготовление кварцевого стекла для оптических целей, свободного от внутренних напряжений и неоднородностей. Для ультрафиолетовых лучей кварцевое стекло почти так же прозрачно, как и кристаллический горный хрусталь. Пластины толщиной 3 см из плавленого кварцевого стекла только при длине волны 185,0 мкм поглощают сильнее, чем кристаллические пластины той же толщины. С помощью аппаратуры, разработанной Хэндлейном, можно вытягивать сравнительно однородные кварцевые трубки.

Кварцевые пленки толщиной 3 мк, согласно Терриену [4], прозрачны для волн длиной до 146,0 мкм. В инфракрасной области при длине волны 2,73 мк лежит полоса поглощения; при толщине пластины 5 мм оно достигает 75% (см. в противоположность этому инфракрасное поглощение обычных стекол в интервале длин волн 2,5—3 мк [5]).

4) Благодаря своей почти идеальной упругости кварцевые нити толщиной от 0,1 до 0,3 мм являются прекрасным материалом для подвесов в крутильных приборах, при подвешивании коромысел в микровесах и т. п. Подобные нити изготавливаются следующим образом. Вначале из кварцевого стержня диаметром 1—2 мм вытягивают тонкую кварцевую нить диаметром примерно 0,1 мм. Затем эту нить размягчают в пламени газовой горелки, добавляя к нему кислород, и под определенным натяжением наматывают на угольный стержень диаметром 12—25 мм; при наматывании нити вращают стержень [6].

Нити подвеса в крутильных весах можно склеивать из отдельных частей кварцевых нитей при помощи хлористого серебра. Для этого, накалив на горячем «микропламени» кончик кварцевой нити, погружают его в порошкообразное хлористое серебро и прилипшие к нему зернышки сплавляют в небольшой шарик. Затем соединяемые кусочки кварцевых нитей выравнивают на асбестовой пластинке и закрепляют в требуемом положении с помощью достаточного массивных кусочков стекла. После этого, касаясь соединяемого места париком хлористого серебра, нагревают его маленьким пламенем; хлористое серебро немедленно плавится, образуя весьма прочное соединение. Применение кварцевого стекла и его керамических соединений в последнее время сильно расширяется вследствие высокого электрического сопротивления кварца [7].

Современный способ изготовления кварцевых нитей позволяет получать сколь угодно длинные нити с постоянным сечением и с диаметрами в интервале 0,7—30 *мк*: для этого кварцевый стержень толщиной 0,2—2 *мм* медленно с постоянной скоростью протягивают через пламя водородной горелки, надлежащим образом отрегулированное. Из размягченного кончика стержня с большой скоростью (5—25 *м/сек*) можно вытягивать нить, наматывая ее на барабан [8].

Для спайки легкоплавких приборных стекол 3-го гидролитического класса (стекла завода Вертхейм) с плавленным кварцем необходим набор из 13 промежуточных стекол. Такие наборы имеются в продаже в готовом виде.

5) Сорта стекол. В зависимости от назначения следует различать три основных сорта стекол.

а) Для обычных лабораторных приборов и для обычной стекольной продукции в общем случае употребляют легкоплавкое приборное стекло 3-го гидролитического класса.

б) Для таких лабораторных работ, как, например, нагревание, кипячение, испарение, применяется преимущественно тугоплавкое стекло 1-го гидролитического класса.

в) Для изготовления разрядных трубок и ламп или для других электротехнических целей применяют как легкоплавкие, так и тугоплавкие сорта стекол. Химические особенности стекол, имеющие значение для общих лабораторных надобностей, здесь не являются важными: на первый план выступают физические и в особенности электрические свойства — точка T_{k-100} и диэлектрическая постоянная. Стекло для трубок счетчиков не должно обнаруживать собственное электронное излучение.

В остальном следует указать на исчерпывающие сведения, имеющиеся у Гельгофа [10], Кешлера [11], Тиене [12], Эспе—Кноля [13] и Дж. Партриджа [14].

Для начинающих можно рекомендовать пользоваться тугоплавкими стеклами вследствие меньшей опасности растрескивания. Но при этом к пламени стеклодувной горелки необходимо добавлять небольшое количество кислорода. Стекла дуран и пирекс применяются преимущественно для впаивания металлов.

В табл. 1, 7 приведены характеристики основных типов стекол. Очень хорошим стеклом для впаивания платины является стекло фирмы Шотт № 16 III, а также стекло завода Вертхейм с обозначением «NW». И тот и другой сорт стекла можно применять для изготовления счетчиков, так как они свободны от окиси калия. При изготовлении трубок для счетчиков необходимо позаботиться о том,

Таблица I, 7

Сорт стекла	Средний коэффициент расширения (20°—400°С) $\alpha, 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Температура превращения $T, ^\circ\text{C}$	Температура размягчения $T_k, ^\circ\text{C}$	$T_{k-100}, ^\circ\text{C}$	Тангенс угла поворота $\text{tg}\delta, 10^{-4}$ при 1 мдгц	Гипролит, класс Н	Поставщик
Группа 1							
AR	94	510	570	220	—	III	Стеклозавод Рур Стеклозавод Вертхейм Стеклозавод Фишер, Ильменау
GW	93	525	575	220	—	III	
Фишер-прима	96	492	538	204	—	III	
Группа 2							
Иенское приборное стекло	50	555	792	210	51	I	Шотт, Майнц Стеклозавод Вертхейм Шотт, Майнц Стеклозавод Корнинг
В-стекло	56	560	750	200	—	I	
Стекло дуран 50	33	525	817	244	43,5	I	
Стекло пирекс	32	535	770	215	43	I	
Группа 3							
Свинцовое стекло MW	94	420	460	340	—	III	Стеклозавод Вертхейм Осрам, Берлин Стеклозавод Вертхейм Шотт, Майнц Стеклозавод Вертхейм Шотт, Майнц
M-стекло Осрам	95	420	450	320	—	—	
LW-стекло	97	520	580	250	83	III	
Молибден 1447	51	516	730	197	67	I	
BW-стекло	48	510	565	320	—	I	
Вольфрамовое стекло 8212	41	505	754	397	20	II	
Корнинг 671	50	513	—	—	—	—	Стеклозаводы Корнинг

чтобы, прежде всего, освободить стенки стеклянных трубок от водяной пленки; для этого требуется продолжительное прогревание при температуре около 450° С. Перед сборкой счетчика трубку необходимо хорошо прогреть. Счетчики для нейтронов необходимо изготовлять из сортов стекол, свободных от солей калия и бора.

6) Прозрачность для ультрафиолетовых лучей. Прозрачность стекла для ультрафиолетовых лучей вплоть до очень коротких длин волн в значительной мере зависит от чистоты сырых материалов, применяемых для его изготовления. Прежде всего, следует следить за полным отсутствием железных и титановых окислов. Граница ультрафиолетового поглощения у обычных стекол лежит вблизи 300 мк. Специальные стекла [15] пропускают ультрафиолетовое излучение примерно до 260 мк.

Стекла, прозрачные для еще более коротких лучей, неизбежно оказываются неустойчивыми по отношению к атмосферным влияниям.

Шледе и Вельманн дают следующий рецепт стекла с высоким содержанием борной кислоты: 76% борной кислоты, 18% углекислого лития и 6% углекислого бериллия; такое стекло допускает шлифовку и полировку, не слишком сильно поддается атмосферным влияниям и проникаемо до 200 мк.

Согласно Леве и Ледигу для стекол, часто применяемых в лабораториях, можно принять значения границы поглощения, указанные в таблице I,8.

Т а б л и ц а I, 8

Сорт стекла	Граница поглощения, мк
Увиолевое стекло UV	275
Стекло для колб, не содержащее свинца	280
Свинцовое стекло	295
Тюригское стекло	300

Стекла, прозрачные для ультрафиолетовых лучей, известны не только среди легкоплавких, но и среди тугоплавких стекол, например стекло для впаивания молибдена. Кроме того, известны черные стекла (заглушенные окисью никеля), прозрачные в ультрафиолетовой части.

Численная величина проникаемости зависит также от толщины слоя стекла, так как между толщиной поглощающего слоя и проникаемостью наблюдается непосредственная зависимость. Например, проникаемость, выраженная в процентах, при толщине 0,3 мм и длине волны $\lambda=290$ мк для тюригского стекла составляет 20%, для увиолевого стекла 85%, для иенского стекла 16 III 87%, для стекла дурац 68%.

7) Проницаемость для рентгеновских и гамма-лучей. Мера проницаемости стекол для рентгеновских лучей определяется порядковым номером элементов, окислы которых содержатся в стекле, причем проникаемость падает при увеличении их номеров. Следовательно, стекла с большим содержанием лития, бериллия и бора значительно более прозрачны, чем стекла, содержащие свинец.

«Окошки Линдемана» [16] изготавливаются из стекол, в состав которых входят литий, бериллий и бор; диски из такого стекла, впаянные в рентгеновские трубки, обеспечивают высокую проникаемость для мягких рентгеновских лучей. Так называемое «стекло Линдемана» получают путем совместного сплавления 83,5% тетраборнокислого лития ($\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$), 14% борной кислоты H_2BO_3 и 2,5% окиси бериллия BeO . Если эти соединения не содержат кристаллизационной воды, то сплавлять их можно в платиновом тигле; затем расплав лучше всего вылить на платиновую пластинку, от которой стеклянная шайбочка легко отделяется. В эксплуатации «окошки Линдемана» должны быть защищены от влажного воздуха слоем лака. Так как лак также подвержен атмосферным влияниям, то необходимо время от времени смывать прежний слой лака соответствующим растворителем и заменять его новым слоем. Если при смывании лака под ним окажутся шероховатые места, то не следует пытаться устранить их механическими средствами. Такие шероховатости не причиняют вреда проникаемости окна для рентгеновских лучей.

Для полноты сведений следует еще упомянуть о том, что кристаллы фтористого натрия проникаемы до 132,0 мкм, фтористого лития — до 108,3 мкм, следовательно, обладают еще большей проникаемостью, чем лучшие образцы плавикового шпата.

Стекла, подвергающиеся длительному ультрафиолетовому, рентгеновскому или гамма излучению, окрашиваются в цвета от желтого до коричневого. Процесс идет тем интенсивнее, чем меньше количества железа и церия содержатся в стекле. Поэтому для получения рентгеновского стекла с постоянной окраской в него добавляют незначительные количества этих металлов.

8) Сведения об искусственных смолах (см. стр. 45, 304). Очень известным, совершенно прозрачным искусственным материалом является плексиглас, принадлежащий к группе акриловых смол. Он сравнительно тверд, устойчив относительно атмосферных влияний, хорошо поддается шлифовке и термопластичен.

Устойчив к щелочам, бензину и неорганическим кислотам до 20% концентрации, органическим кислотам до 10% концентрации, растворяется в уксусном эфире, ацетоне, бензоле, четыреххлористом углероде, спирте и концентрированных кислотах. Плексигласовые детали прочно склеиваются друг с другом и с упругими материалами специальным клеем (плексигумом).

Свойства плексигласа М33

Плотность	1,18 г/см ³
Прочность на сжатие	1200 кг/см ²
Прочность на растяжение	750 кг/см ²
Твердость (по Моосу)	от 2 до 3
Линейный коэффициент расширения	80·10 ⁻⁶ °C ⁻¹
Светопоглощение	от 1 до 10%
Пробивная прочность 5 мин/3 мм толщ.	40 кг
Коэффициент преломления (света) $n_1^{20^\circ\text{C}}$	1,49
Температура пластического состояния	от 140 до 160° C (в зависимости от толщины)

Плекситерм М340 характеризуется особенно высокой теплоустойкостью — отформованные без внутренних напряжений детали сохраняют свою форму до 100° С.

Органическое стекло можно окрашивать в различные цвета, покрывая его поверхность слоями красителей, которые могут быть как прозрачными, так и непрозрачными (глухими).

Плексиглас обладает не только высокой прозрачностью для видимых лучей, он вместе с тем обнаруживает хорошую ультрафиолетовую и инфракрасную прозрачность.

б) *Керамические массы* [17]. Применение таких масс весьма разнообразно. Они выпускаются в виде керамических изделий с пористым черепком (строительный материал, гончарные изделия, фарфор), а также в виде электротехнических или огнеупорных специальных материалов. Керамические изоляционные материалы [18] изготавливаются из кизельгура и магнетита с высоким содержанием $MgCO_3$; они характеризуются небольшими диэлектрическими потерями. Качества электротехнического фарфора, такие, как поверхностное сопротивление, объемное сопротивление, пробивная прочность, диэлектрическая постоянная, диэлектрические потери, должны возможно менее зависеть от содержания влаги в окружающей атмосфере.

Влагонепроницаемость электротехнического фарфора, глазурованного и неглазурованного, испытывается, например, так: несколько деталей кладут в раствор фуксина в метиловом спирте и выдерживают там в течение 4 часов при давлении 150 атм. В осколках деталей, разбитых после этого испытания, фуксин не должен обнаруживаться.

1) Изделия из смеси различных количеств Al_2O_3 , MgO и SiO_2 отличаются высокой температуростойкостью [19] и хорошими изоляционными свойствами [19а].

Кантал-супер в основном состоит из SiO_2 и $MoSi$ и является хорошим материалом для сопротивлений до температур 1600° С [20].

В широком смысле керамические массы представляют собой обожженные при высоких температурах окислы Be , Zr и Th . Если Si заместить Ti , стоящим под ним в периодической системе, то получают продукт с исключительно высокой диэлектрической постоянной [21].

2) Окись алюминия Al_2O_3 . Прекрасные качества этого материала описал Гердиен [22]. В настоящее время Хальденвангер поставляет газонепроницаемую спекшуюся массу из 99,7% Al_2O_3 (обозначение — альзипт), которая должна иметь подобные же качества. Приведенные ниже сведения взяты из работ Гердиена: плотность 3,75 г/см³, твердость 9 (корунд), температура плавления 2050° С (плавится резко, без периода размягчения). Газонепроницаема. Средний коэффициент расширения в интервале от 20 до 800° С равен $6,3 \cdot 10^{-6} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Теплопроводность значительно выше теплопроводности фарфора, она почти столь же велика, как теплопроводность нейзильбера. Электрическое сопротивление при высоких температурах см. рис. III, 26 на стр. 312. Такие же основные свойства имеет дегуссит. Материал устойчив почти против всех химикалий, даже, например, против (кипящей!) плавиковой кислоты. Вольфрамом не восстанавливается до 2000° С (в противоположность окиси магния).

В качестве нового керамического режущего вещества рекомендуется применять синтокс (или «травэвэй»); он не требует охлаждения [22а].

3) Ц е р м е т ы, в особенности на основе TiC и Al₂O₃ (в последнем случае с Cr в качестве связующего вещества), пригодны до рабочих температур 1000° С, типа Al₂O₃ (+Cr)— прежде всего в качестве тиглей для плавки [23].

4) О к и с ь м а г н и я плавится при 2800° С. Этот материал вследствие высокого коэффициента термического расширения, составляющего примерно $1 \cdot 10^{-5} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, очень чувствителен к колебаниям температуры; его можно применять в нейтральной или окисляющей атмосфере до 2500° С (в вакууме MgO при этих температурах сильно испаряется).

Чистая кристаллическая окись MgO (периклаз, β-магнезия) получается как побочный продукт при изготовлении изоляторов из окиси магния [24]. Она является единственным прозрачным материалом, который даже при высоких температурах (450° С) не подвержен заметному действию щелочных паров и применяется поэтому в качестве материала для окон (диаметром до 30 мм) в железных вакуумных лампах. При этом важную роль играет то, что коэффициент расширения кристаллической MgO равен коэффициенту расширения кузнечного железа. MgO прозрачна от $\lambda=5 \text{ мк}$ до 2150 Å. Ее коэффициент преломления при 7065 Å равен 1,7813, при 2536 Å—1,845.

5) М а с с а м и, б о г а т ы м и к р е м н е м а г н и е в ы м и соединениями, являются стеатит и фреквента, далее калит, калан и ультракалан. Они отличаются незначительной электрической проводимостью при высоких температурах, большой механической прочностью и особенно низкими диэлектрическими потерями.

6) П и ф а г о р о в а м а с с а — твердый фарфор, газонепроницаема до температуры 1580° С; ее можно применять до 1750° С. Ценным керамическим сырьевым материалом является чистая окись бериллия, температура плавления которой лежит выше 2500° С. Вследствие большой теплопроводности материал нечувствителен к резкой смене температур.

7) Н а и в ы с ш и е т е м п е р а т у р ы п л а в л е н и я имеют окись циркония (2700° С) и окись тория (3000° С). Изделия из окиси циркония можно применять примерно до температур 2400° С, однако она несколько пориста и чувствительна к резкой смене температур. Это в еще большей степени относится к изделиям из окиси тория.

8) М а с с ы, г л а в н у ю с о с т а в н у ю ч а с т ь к о т о р ы х образует окись титана, уже упоминались выше. Диэлектрическая постоянная этих материалов может быть различной по величине, от 40 до 80. Помимо этого, они отличаются тем, что температурный коэффициент диэлектрической постоянной отрицателен, и, наконец, тем, что обладают весьма малыми диэлектрическими потерями при высоких частотах.

9) Т е п л о в о е р а с ш и р е н и е к е р а м и ч е с к и х м а с с д о 2000° С исследовалось Эбертом и Тингвальдтом [25]. В температурном интервале от 0 до 1500° С было найдено: для MgO 23 мм/м, для Al₂O₃ 13 мм/м. Для ZrO получают весьма различные значения (от 5 до 17 мм/м). Для дегуссита в интервале 0—1000° С указывают примерно 8,5 мм/м.

е) *Замазки и клеи.*

1) Соединения на клею и на замазке. Успешное соединение твердых деталей на клею или на замазке возможно только при правильном выборе связующего материала и метода соединения. Разнообразие требований к местам соединений и различия в свойствах соединяемых деталей не позволяют создать универсальный клей, применимый во всех случаях. В литературе имеются исчерпывающие сведения об известных в настоящее время приемах склеивания [1] и описание рецептов для различных практических случаев [2].

В общем случае клеящий материал или замазка должны не только иметь механическую прочность, но и удовлетворять ряду других условий, таких, как передача усилий, устойчивость места соединения к высоким температурам, большая герметичность, устойчивость против действия воды и химикалий и т. д. В зависимости от этих условий необходимо выбрать способ склеивания и клеящее вещество. Большое значение имеют также различия в термических коэффициентах расширения и свойствах поверхностей соединяемых деталей.

Для простого соединения различных материалов обычно служат клеи, которыми смачивают склеиваемые поверхности; после испарения растворителя образуется эластичное соединение их. Перед склеиванием рекомендуется очищать места соединений от загрязнений, в особенности жира, делать их слегка шероховатыми и смазать тонким слоем клея, дав ему подсохнуть. Только после этого соединяемые места вторично смазывают тонким слоем клея и спрессовывают. При таком способе достигается лучшее удаление растворителя из шва, большая прочность и быстрое затвердевание. Толщина слоя клеящего вещества не должна превышать 0,1—0,2 мм. Склеенные места обычно выдерживают температуры не выше 50—60° С, а при низких температурах становятся хрупкими.

Для длительного соединения металлических деталей [3] между собой или со стеклом и керамикой пригодны отвердевающие клеящие вещества (см. пункты от а до е). Эти вещества создают твердые слои склеивающего материала, который после отвердевания прочно пристает к склеиваемым поверхностям, чаще всего благодаря своему химическому строению. Место склеивания должно быть таким, чтобы шов работал главным образом на срез, а площадь склейки была бы достаточной, чтобы противодействовать нагрузке на нее (рис. 1,10). Если при нанесении клеящего вещества устранять образующиеся воздушные пузырьки, то можно получить соединение, пригодное для вакуумных работ. При составлении клеящего вещества из двух готовых компонентов необходимо строго придерживаться указаний фирменной инструкции, так как в противном случае можно не получить желательных свойств склеивающего слоя. Склеиваемые поверхности должны быть тщательно очищены.

Клеящие вещества, затвердевающие в холодном состоянии, после смешивания с отвердителем годятся для употребления только ограниченное время, которое указывается обыкновенно фирмой. После этого срока они становятся густыми и жесткими, плохо смачивают поверхности и не обеспечивают надежных соединений. Сорты клея, затвердевающие в нагретом состоянии, расплавляют на предварительно нагретых деталях, после чего обеспечивают затвер-

девание при указанной температуре. Клеящее вещество при этом становится жидким, распределяется по всей склеиваемой поверхности, смачивает ее и через некоторое время затвердевает.

Некоторые искусственные пластмассы очень плохо поддаются склеиванию (полиэтилен, тефлон), так как клеящие вещества не смачивают их поверхности и не могут поэтому к ней прочно приставать. В этих случаях рекомендуется, нагревая поверхность искусственного вещества, вплавить в нее металлический порошок, после чего можно применять затвердевающие клеящие вещества. В общем случае большое различие между склеиваемыми материалами (например, большое различие в термическом коэффициенте расширения) может быть компенсировано слоями клеящих веществ с различными свойствами.

Для искусственных веществ было разработано много специальных методов склеивания [4]. Если детали соединяются прочно и плотно, но место соединения необходимо время от времени вскрывать, то применяют обратимую, размягчающуюся при нагревании замазку (см. стр. 69). Эту замазку наносят на предварительно нагретые детали и также нагревают, пока она не становится вязко-текучей. Предварительно нагревать детали лучше всего в сушильном шкафу, для расплавления замазки пользуются маленькой газовой горелкой (см. стр. 331), так называемым «микрорепламенем». Если необходимо получить плотное, газонепроницаемое соединение, то недопустимо, хотя бы в одном месте, превысить температуру разложения замазки (в особенности при склеивании пицевинном и сургучом), так как сгоревшие частички и пузырьки газа, возникающие при сгорании, сильно влияют на качество уплотнения. Этой трудности легко избежать непрерывным перемещением пламени. Тем не менее температура поверхности соединяемых частей и замазки во всяком случае должна быть настолько высокой, чтобы замазка становилась жидкой и хорошо смачивала поверхности (см. рис. 1, 10).

Если рабочие температуры, требуемые в месте соединения замазкой, слишком высоки для органических материалов (максимум 300°C), то применяют неорганические замазки (стр. 68). Эти

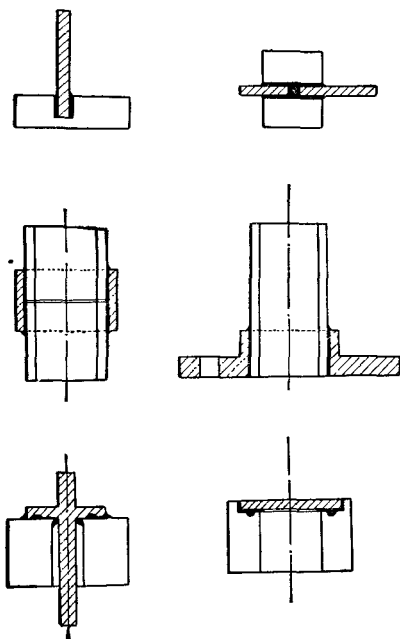


Рис. 1,10. Расположения склеиваемых деталей.

замазки обеспечивают очень прочные соединения, особенно керамических и стеклянных деталей, но в большинстве случаев оказываются пористыми. Образования крупных пор можно избежать при медленном высыхании и затвердевании замазки.

В заключение укажем еще на способ соединения линз или пластинок канадским бальзамом. Если не имеется безукоризненно чистого канадского бальзама, не содержащего мелких посторонних тел [5], то его можно изготовить следующим образом: несколько кусков «канадского бальзама для оптических целей, имеющего твердость стекла» (палочки в оболочках из оловянной фольги), растворяют в таком количестве ксилола, что образуется густая, как мед, жидкость, которую для дальнейшего применения наливают в оловянную пробирку. Линзы нагревают до 30—40° С. Положив одну из линз горизонтально, наносят на ее свободную поверхность несколько больших капель бальзама. Затем накладывают вторую линзу, выдавливают из слоя клея пузырьки воздуха и нагревают линзы до нового образования в нем пузырьков (за счет испарения ксилола). При этой температуре вязкость раствора бальзама настолько мала, что он почти весь выдавливается. После этого линзы при умеренном давлении охлаждают, а выступивший бальзам удаляют ножом или спиртом. Давление необходимо сохранить в течение нескольких дней, до высыхания клеящего слоя.

Растворенный в ксилоле бальзам, толстый слой которого имеет цвет янтаря, можно обесцветить, если бутылку с раствором в течение нескольких дней подвергнуть действию солнечных лучей.

2) К л е я щ и е в е щ е с т в а. При экспериментальных работах всегда применяются различные способы простого и быстрого склеивания, если необходимо плотно и прочно соединить различные детали. Новые материалы и новые способы значительно расширили возможности этих операций (оптическое склеивание, см. [5]). Для успешного склеивания еще больше, чем при других способах соединения, необходим тщательный выбор клеящего вещества в зависимости как от материала склеиваемых деталей, так и от предъявляемых требований. Для работ, проводимых в лабораториях, предлагаются следующие сорта клеящих веществ.

а) Клей «десмокол-десмодур» выпускается различных специальных типов [5а]. Применяется для склеивания металлов, алюминиевых сплавов, искусственных материалов, стекла и резиновых изделий между собой или в каком-либо сочетании друг с другом. Так, например, при соединении металла с металлом достигают твердости от 2,0 до 3,5 кг/мм², которая около 100° С падает на 30%. Следует отметить, что такие соединения выдерживают температуры выше 200° С, кроме того, они устойчивы против действия воды и химических.

б) Подобными же качествами обладают клеи «аральдит», существующие как в жидком (тип XV), так и в твердом (тип I) виде; эти клеи применяются и высушиваются при повышенной температуре (выдержка около 2 часов при 120° С) или с добавлением закрепителей (№№ 102 и 103) при нормальной температуре. При этом место склейки не требуется подвергать прессованию, так как изменение объема клеящего вещества ничтожно. Аральдит применим в интервале температур от -60 до +120° С (см. стр. 45).

Оба клея очень хорошо соединяют как шероховатые, так и гладкие поверхности и особенно пригодны для склеивания металлов

и стекла. Механические свойства мест склейки замазками, затвердевающими в нагретом состоянии, оказываются лучше, чем при применении замазок, затвердевающих в холодном состоянии (см. также стр. 68).

γ) Для склеивания металлов [6] пригодны также клеи «редукс» (смесь из феноловых смол с различными полимеризующими смесями). Но эти клеи требуют давления в месте склеивания и повышенной температуры (110—220° С) в период затвердевания.

δ) Для склеивания пористых материалов, например асбеста, дерева, керамики или пробки, устойчивого против воды и химикалий, применяется клей «аэродукс».

ε) Из многочисленных составов для склеивания дерева следует упомянуть лишь некоторые. Известностью пользуются кальтлейм (холодный клей), кауритлейм, мелокол. Два последних клея дают водостойкие соединения.

ζ) Известный вязкий столярный клей (костяной клей) можно сделать нерастворимым в воде, добавляя к нему несколько процентов насыщенного раствора двуххромовокислого калия; высушивать склеенное место следует отчасти на дневном свете.

Если при склеивании не требуется большая механическая прочность и температуростойкость, то рекомендуется применять следующие сорта клея, очень простые в обращении:

η) «Кохезан» — клей из искусственных материалов. Сорт S применяется для склеивания бумаги, кожи и пористых материалов. Сорт M может применяться как клей для металлов, искусственных материалов, стекла и керамики. Наименьшая торговая расфасовка — 1 кг. Растворитель — бутилацетат.

θ) С помощью универсального клея «УНУ» (широко известен и имеется в продаже в тюбиках) можно получить теплостойкие, вплоть до 60° С, хорошо электроизолирующие склейки. (Удельное сопротивление 10^{14} ом·см, пробивная прочность от 15 до 20 кв/мм). Растворители: ацетон, метилацетат.

ι) Концентрированные растворы целлулоида в ацетоне или полистирола (см. стр. 51 и 304) в бензоле дают клей, пригодный во многих случаях.

κ) Раствор шеллака в спирте или ацетоне можно применять для уплотнения мелких пор и для приклеивания кварцевых нитей.

λ) Следует еще упомянуть об известном резиновом клее, который после разбавления растворителем оставляет при высыхании резиновую пленку. Если ее покрыть слоем хлористой серы (S_2Cl_2 , выделяет раздражающие пары!), которую предварительно смешивают с сероуглеродом в отношении 1 : 20, то резиновую пленку можно вулканизировать, что делает ее более прочной. Излишек S_2Cl_2 следует смыть водой, к которой добавляют 1—2% едкого натра для нейтрализации образующихся кислот.

μ) Если необходимо получить клеящее вещество, сохраняющее эластичность, например для выравнивания различного температурного расширения склеиваемых материалов, то составляют раствор термопластических искусственных веществ в органических растворителях (например, поливинилацетата в ацетоне) и добавляют в смесь так называемые размягчители (трикрезилфосфат, дибутилфталат). Требуемую концентрацию размягчающих веществ определяют экспериментально.

З) Замазки, применяемые в холодном виде (необратимые). Такие замазки применяются в отдельных случаях, когда требуется устойчивость при высоких температурах против действия кислот и оснований и механическая прочность места соединения. Условиям герметичности эти замазки не удовлетворяют вследствие их пористого строения.

а) Замазка из глицерина и свинцовой глета. Некоторое количество окиси свинца, представляющей собой желтый тяжелый порошок, нагревают в течение нескольких минут на железном противне при температуре 200—400° С и после охлаждения смешивают с густым глицерином до получения кашицы. Замазка застывает за полчаса (образование свинцовых глицеридов), держится до 260° С и при не очень длительном воздействии нечувствительна к воде, многим кислотам, всем щелочам и парам хлора. Склеиваемые поверхности (металл, стекло, фарфор) должны быть предварительно смазаны чистым глицерином.

б) Замазка из жидкого стекла и талька. Жидкое стекло с окислами Са, Mg, Zn, Pb, Fe или с углекислыми солями (например, отмученным мелом) образует по истечении нескольких часов твердую каменную массу (двойные силикаты), устойчивую относительно многих химикалий и непродолжительного воздействия воды. При смешении талька в порошкообразном состоянии с густым жидким стеклом (раствор силиката натрия) до кашеобразного состояния получают замазку, которая выдерживает долгое время температуру каления. В противоположность некоторым термопластическим замазкам эта замазка не отскакивает от стекла в жидком воздухе.

γ) Замазка из хлорокиси цинка. Эта замазка застывает в течение нескольких минут и превосходит все вышеупомянутые замазки по своей твердости. Так, например, из нее можно изготовлять небольшие детали, которые допускают даже полировку. Ее составляют, смешивая примерно 60% раствор хлористого цинка с мелко распыленной окисью цинка, свободной от углекислых солей. Окись цинка на воздухе постепенно образует углекислые соединения. Для того чтобы окись цинка освободить от них, а также и от воды, перед употреблением ее следует хорошо прокалить.

δ) Для закрепления камней, а также в химических приборах применяется кислотоупорная замазка «асплит». Специальные сорта ее устойчивы и против плавиково́й кислоты.

ε) Высокие температуры (до 1000° С) выдерживает смесь каолина с 10% буры, которую с помощью воды или льняной олифы доводят до состояния густой кашицы, оставляют высохнуть на месте склейки и затем медленно нагревают до яркого каления.

ζ) В качестве быстро отвердевающего кислотоупорного строительного раствора, пригодного в интервале температур от 300 до 1000° С, применяется особая огнеупорная замазка.

η) Гипс лучше схватывается и становится тверже, если к воде, с которой он смешивается, прибавить 2—3% желатина и 1% алюминиво-аммонийных квасцов.

θ) Для склеивания разбитых высоковольтных изоляторов пригодны следующие смеси замазок [7].

Мелко размолотый полевой шпат вводится до получения тестообразной массы в раствор жидкого стекла. Места соединений необходимо подвергать обжигу при температурах около 1250—1300° С,

40 весовых частей окиси свинца, 25 весовых частей размолотого песка (кварцевого) и 25 весовых частей буры смешиваются с желатином и водой до получения густой тестообразной массы. Замазанное место высушивают и затем нагревают до красного каления в муфельной печи. При этом замазка сплавляется с местом излома.

4) Обратимые термопластические замазки. Для некоторых работ в лаборатории применяются также замазки, требующие нагревания при работе и образующие после остывания твердые и плотные соединения шлифов, трубок или нипелей. В вакуумной технике, однако, для соединений, которые должны вскрываться, лучше пользоваться эластичными материалами (см. стр. 196), а для постоянных соединений применять затвердевающие клеящие материалы (см. стр. 50, 64). Приведем некоторые из надежных замазок.

а) Пицейн многократно опробован; замазка глубокого черного цвета; поставляется двух сортов: пицейн 80 (температура каплеобразования около 100°C) и пицейн 105 (температура каплеобразования около 125°C). При 60 или 80°C соответственно полностью пластичен. При комнатной температуре эта замазка сохраняет также некоторую пластичность, обладает большой прилипающей способностью к различным материалам, изоляционными свойствами и устойчива по отношению к воде и спирту. Бензин, бензол и скипидар являются хорошими ее растворителями. Температуру размягчения пицейна можно понизить, смешивая его со свободным от воды ланолином.

б) Имеющийся в продаже сургуч в виде палочек при комнатной температуре более тверд и хрупок, чем пицейн, однако все же еще немного пластичен. Температура размягчения около $70\text{--}80^{\circ}\text{C}$. Растворитель — спирт.

γ) Цемент Хотинского — американская смоляная замазка, рекомендуемая многими авторами. По внешнему виду напоминает шеллак. При нагревании распространяет запах, подобный карболовому. К стеклу и металлу прилипает крепче, чем пицейн и сургуч. Растворитель — спирт.

δ) Для уплотнения винтовых соединений в вакуумной технике особенно пригодны специальные замазки из алкильных смол (торговое название — «глифталь»).

ε) Медленно застывающие замазки можно готовить из шеллака. При смешивании расплавленного шеллака с 10% коричневого или оливкового масла получают вязкую замазку.

ζ) Хлористое серебро (AgCl) плавится при 455°C , превращаясь в легкоподвижную жидкость, которая застывает в рогоподобную массу, хорошо пристающую к стеклу, кварцу, металлу; она не растворяется в воде, в спирте, в бензоле, не растворяется и в кислотах. Благодаря высокой температуре плавления AgCl следует склеиваемые детали нагревать и охлаждать более осторожно и медленно, чем в случае приклеивания пицейном или сургучом. В литературе описано свободное от напряжения закрепление стеклянных окон хлористым серебром [7].

η) Легкоплавкий сплав, хорошо пристающий к стеклу и металлу, получается при сплавлении 40 частей висмута, 25 частей свинца, 15 частей ртути, 10 частей олова и 10 частей кадмия. (Ср. данные, приведенные по стеклу и его обработке.)

ГЛАВА II

НЕКОТОРЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ ПРИЕМЫ

§ 1. Пайка и сварка

А) Пайка

Под пайкой понимают соединение двух металлических деталей при помощи припоя, температура плавления которого лежит ниже температуры плавления более легкоплавкой детали; благодаря этому детали могут быть разъединены при нагревании. Рабочий процесс пайки, кроме соединяемых металлических деталей, требует наличия припоя, мягкого или твердого, флюса (паяльной жидкости) и источника тепла для нагревания припоя и спаиваемых деталей. Важно также придать спаиваемым деталям форму, благоприятную для получения после пайки хорошего шва [1].

Флюс служит для устранения окисляющего действия кислорода воздуха на нагретые поверхности металлических частей и для получения хорошей смачиваемости их расплавленным припоем [2]. Прежде почти для всех металлов применялся универсальный флюс (универсальная паяльная жидкость, получаемая при помощи соляной кислоты); в настоящее время рекомендуется применять изготовляемые специальными фирмами особые флюсы, различные в разных случаях, состав которых, естественно, является секретом выпускающих их фирм. Эти флюсы, проверенные на опытах, дают значительно лучшие результаты, чем ранее применявшиеся кустарные средства [3].

В качестве источника тепла при мягком припое в большинстве случаев применяется паяльник, а также ванночки для нагревания и бунзеновская горелка. При пайке твердым припоем применяется паяльная горелка (светильный газ, ацетилен) с дутьем, ванночка для нагревания или муфельная печь; последняя вместе с защитным газом представляет собой новейший метод пайки (в атмосфере защитного газа) без применения флюса; этот метод вводится теперь повсеместно, в особенности для больших паяльных работ, а также в тех случаях, когда предъявляются высокие требования к прочности изделий.

а) Мягкими называются припой, температура плавления которых лежит ниже 400° С.

1) Мягкие припои в значительной степени стандартизованы. Под названием «оловянный припой» подразумевают оловянно-свинцовые сплавы, служащие для пайки тяжелых металлов и их сплавов. Кроме стандартных припоев, известен еще целый ряд специальных припоев, которые изготовляются различными заводами для особых целей. Приведенные ниже данные (табл. I, 9—12) облегчают выбор соответствующего припоя для различных случаев. Эти припои изготовляются в виде листов, пластинок, лент, фольг, стержней, цельной проволоки, полый проволоки с флюсом внутри, порошка, таблеток из порошка, смешанного вместе с флюсом. Некоторые особые сорта мягкого припоя поставляются только лишь в форме одного из указанных видов.

Из приведенных в таблице температур плавления видно, что эвтектический припой Sn1.55 позволяет паять с наименьшим расходом тепла, в то время как более дешевые припои, как, например,

Таблица 1,9

Вид припой	Обозначение	Состав, %					Область плавл.		Ут. вес, кг/дм ³
		Sn	Sb	Fe не более	Cu + As + Ni	Pb	нижняя крит. точка	верхняя крит. точка	
Оловян. припой 25	SnL25	25	1,70	0,05	0,10	ост.	183	257	9,8
Оловян. припой 30	SnL30	30	2,00	0,06	0,12	ост.	183	249	9,6
Оловян. припой 33	SnL33	33	2,20	0,07	0,14	ост.	183	242	9,5
Оловян. припой 40	SnL40	40	2,70	0,08	0,16	ост.	183	223	9,3
Оловян. припой 50	SnL50	50	3,30	0,09	0,18	ост.	183	200	8,8
Оловян. припой 55	SnL55	55	3,60	0,10	0,20	ост.	183	183	8,6
Оловян. припой 60	SnL60	60	3,20	0,10	0,20	ост.	183	185	8,5
Оловян. припой 90	SnL90	90	1,30	0,10	0,20	ост.	183	219	7,5

SnL25, требуют значительно более сильного нагревания. Однако они применяются в таких случаях, когда необходимы большие количества припоя, например, в качестве заолняющего материала в пористых отливках. Все приведенные выше оловянные припои не содержат алюминия и цинка.

Кроме стандартных припоев, имеется еще много специальных мягких припоев с температурами плавления, лежащими между 56 и 360° С. Легкоплавкие припои изготавливаются с различными точками плавления, а именно: 56, 68, 95, 125 и 177° С. Они представляют собой эвтектические мягкие припои и поэтому не обнаруживают никакого температурного интервала плавления. Вследствие низких и очень постоянных точек плавления эти сплавы пригодны для изготовления, например, плавких предохранителей, которые включают аварийные сигналы или размыкают ток в цепи, если нагревание проводников выходит за предельные значения.

Некоторые из таких сплавов чрезвычайно хрупки, не допускают изготовления проволоки или листов и поставляются только в виде литых стержней. Серию этих легкоплавких эвтектических припоев можно дополнить припоями с небольшими интервалами плавления в пределах от 300 до 320° С и от 360 до 380° С.

Особую группу среди мягких припоев составляют серебряные мягкие припои. Они имеют то же неприятное свойство, что и свинцовооловянные припои — обнаруживают текучесть под действием длительной нагрузки. Опыты показали, что если две поверхности по 1 см², наложенные друг на друга, спаяны мягким серебряным припоем и находятся под действием перпендикулярной к ним статической нагрузки в 100 кг, то предел текучести еще не достигается. Далее, серебряные мягкие припои хорошо допускают гальванические операции, их можно по частям покрывать лаками, требующими вжигания. Некоторые из этих припоев имеют, например, такие обозначения:

WS141, легко растекающийся припой с температурой плавления 141° С. Применяется в особенности для пайки полупроводниковых германиевых приборов, а также для пайки деталей, которые закреплены в легкоплавких искусственных материалах.

WS200, температура плавления 200° С. Гарантируется отсутствие свинца, применяется специально при последующей гальванизации.

WSA₁, температура плавления 270° С. Легко растекающийся припой, пригоден для пайки алюминия, в особенности для деталей, которые в дальнейшем покрываются лаками, требующими вжигания, гарантируется отсутствие свинца.

Все эти припои, включая специальные припои, паяются обычным образом. Если допускается присутствие незначительных количеств неорганических солей и хлора, можно пользоваться дешевым флюсом, имеющимся в большом количестве на рынке; но в тех случаях когда должно быть гарантировано полное отсутствие хлора, необходимо применять растворимые в воде смолосодержащие флюсы, которые часто поставляются в виде полых проволок, заполненных внутри флюсом.

Припой, устойчивый против коррозии под действием щелочей [4], можно получить в виде сплава, содержащего 25% индия, 37,5% свинца и 37,5% олова.

Для очистки места спая от флюса или остатков смолы лучше всего применить кипячение в щелочных растворах. Иногда возникают некоторые осложнения, например, припой скатывается в шарики, неправильно распределяется по поверхности или же недостаточно прилипает к ней; причиной этого часто является недостаточная мощность паяльника. Поэтому следует всегда применять возможно больший паяльник, который может обеспечить избыток тепла.

В настоящее время, в особенности в США, применяют электропаяльники, рабочая площадь которых состоит только из одной тонкой проволоки, имеющей в некоторых случаях маленький твердый наконечник. При таких паяльниках, пригодных для очень тонких и средних работ, экономится время и расход тепла. Время нагрева проволочных паяльников 5 сек, потребляемая мощность примерно 250 вт; рекомендуется освещать место работы укрепленной вблизи лампой с небольшим рефлектором.

Упомянутые уже выше полые паяльные проволоки, наполненные флюсом, применяются в большинстве случаев для небольших паяльных работ. Пользуясь ими, можно производить пайку и без паяльника, непосредственно расплавляя их в предварительно нагретом месте пайки.

Почти все описанные ниже материалы требуют применения особых методов. Тем не менее можно указать некоторые общие технические правила, которых следует придерживаться во всех случаях. Прежде всего, лучше пользоваться большим паяльником, чем маленьким, чтобы наверняка нагреть спай до необходимой температуры и не быть ограниченным во времени. Место спая должно быть чистым и смазано флюсом. Паяльник надо нагреть, в горячем состоянии капилником освободить от окалины, затем опустить во флюс или потереть о нашатырь, после этого паяльник следует залудить, касаясь им олова. Кончик или острие паяльника должно быть не круглым, а несколько плосковатым для лучшей передачи тепла спаиваемым предметам. Передаваемая тепловая энергия достаточна, если припой при нанесении на спаиваемый шов отделяется от паяльника тонким слоем и втекает в шов, не образуя при этом шариков или свободных от припоя островков. Слишком высокая

температура паяльника при применении некоторых из упомянутых ниже материалов может привести к уменьшению прочности спая.

2) П а й к а а л ю м и н и я. Принимая специальные меры предосторожности, алюминий можно спаивать мягким припоем. Припой состоит из Sb, Zn и Cd, иногда с добавлением небольшого количества алюминия Al. Различают мягкие припои (LSn60Zn, 260° С) для пайки узких швов и более твердые (LZnCd, 320° С), больше пригодные при изготовлении макетов. Обычные оловянные припои, вследствие содержания в них свинца, неприменимы! Успешно можно пользоваться чистым оловом. Обычный паяльник как источник тепла достаточен лишь для пайки пластин толщиной 0,2 мм или тонких проводов. Поэтому применяют более эффективные источники тепла: горелки, ванну для погружения («окунация»).

Различают три основных способа пайки: пайку трением, реактивную пайку и ультразвуковую пайку.

При пайке трением слой окиси на Al разрушается механическим путем. При этом нельзя применять паяльную жидкость или пашатырь! Спаиваемый металл нагревают до плавления на его поверхности припоя, в которую последний втирают щетками, шабрами или шероховатыми пластинками. Залуженная таким образом поверхность алюминия припаяется затем обычным способом. Однако при таком способе припой никогда не затекает в швы, которые не были залужены. Для очистки поверхностей можно также пользоваться вращающимися инструментами с острыми гранями или щеточками; их вводят вместе со спаиваемыми деталями в расплавленное олово, в котором и происходит залуживание зачищенных поверхностей. Для этого имеются некоторые приспособления, похожие на маленькие электрические паяльники, например, для залуживания алюминиевых проволок.

При реактивном способе пайки применяется флюс, содержащий хлористый цинк. Около 280° С начинается реакция с образованием дыма; соли проникают в оксидный слой и разрывают его. На чистой поверхности металла осаждается Zn, что предотвращает ее от нового окисления. После этого пайка производится с применением мягких алюминиевых припоев и заканчивается тщательным смыванием остатков солей.

При новом способе пайки пользуются ультразвуковым пистолетом, который с помощью излучаемых им колебаний разрушает пленку окиси на поверхности алюминия, что обеспечивает хорошее прилипание к нему мягкого припоя. Паять алюминий этим способом можно, выдерживая спаиваемую деталь в оловянной ванне при 250° С, в которую одновременно погружен и ультразвуковой пистолет; точно так же можно, подогревая деталь на горячей пластине, расплавить несколько париков олова на спаиваемой поверхности, которые затем с помощью ультразвукового пистолета распределяются на ней тонким слоем. После залуживания алюминия его паяют так же, как и все другие металлы. Слой полуды, который при этом способе получается на поверхности алюминия, пристает к ней настолько прочно, что его не удастся снять ни в холодном, ни в горячем состоянии (см. также стр. 80).

В качестве припоя следует применять чистое олово без флюса.

3) Ч у г у н, вследствие высокого содержания в нем углерода, непосредственно не поддается залуживанию. Поэтому необходимо предварительно удалять углерод из поверхностного слоя чугуна.

Это достигается путем основательного травления, за которым следует очистка песком. Такую процедуру повторяют еще раз, затем чугуны следует просушить. После этой предварительной обработки чугуны можно лудить обычными приемами.

4) **Нержавеющая сталь** [5] хорошо паяется обычными оловянными припоями, однако при залуживании требует специального флюса, значительно более активного, чем обычный. Можно применять один из следующих флюсов:

(1) Соляную кислоту, насыщенную кусками цинка до прекращения выделения пузырьков водорода.

(2) Жидкость (1) с добавлением 25% чистой соляной кислоты.

(3) Жидкость (1) с добавлением 10% уксусной кислоты.

(4) 10—20% раствор ортофосфорной кислоты в воде.

(5) Жидкость (2) и 2—5% плавиковую кислоту, в особенности для сталей, содержащих молибден, титан или ниобий.

После залуживания место спая тщательно промывают; окончательную спайку производят, применяя флюс, не вызывающий коррозии. Нержавеющие стали в месте спая могут стать хрупкими, если его температура превышала 260° С. Поэтому не следует спай перегревать.

5) **Платина** (а также золото) легко образует с расплавленным припоем серый хрупкий сплав. Поэтому температура пайки ни в коем случае не должна быть выше и продолжительность нагрева больше, чем это безусловно необходимо для пайки. Целесообразно применять наиболее низкоплавкий припой и маленький паяльник.

6) **Свинец и олово** паяются низкоплавкими эвтектическими специальными припоями. Как олово, так и свинец можно и непосредственно, без припоя, приплавить, т. е. сварить.

7) **Тантал** непосредственно не поддается пайке. Но его можно предварительно покрыть слоем меди и затем паять.

8) **Магний и электрон** не поддаются пайке мягким припоем. Эти металлы не удается паять таким припоем даже с помощью ультразвука.

9) **Вольфрам и молибден** не поддаются пайке мягким припоем.

10) **Некоторые сплавы** (для специальных целей), которые сами по себе совсем или почти совсем не поддаются пайке, все же возможно покрывать легко растекающимся слоем полуды, если на этих металлах предварительно отложить гальванический слой меди.

б) *Пайка твердым припоем* дает соединение двух металлических деталей с ограниченной возможностью их разъединения. Температуры плавления твердых припоев, обычно лежащие выше 600° С, должны быть всегда по крайней мере на 50° С ниже температуры плавления наиболее легкоплавкого из спаиваемых металлов. При твердой пайке, кроме твердого припоя, необходимо, как правило, применять флюс и соответствующий источник тепла; последним в основном и определяется выбор подходящего способа пайки.

В качестве флюса при пайке твердым припоем применяется в большинстве случаев капицеобразная смесь буры и воды (температура плавления 880° С). Кроме буры в продаже имеются для всех специальных случаев особые флюсы. Детали, предназначенные для пайки, следует возможно более тщательно очистить, обезжирить и плотно прижать друг к другу. Пайку сплавов благородных металлов

и в особенности изделий, плакированных благородными металлами, следует производить в атмосфере защитного газа (четырёххлористый углерод и др.), предохраняя им всю нагреваемую поверхность от образования окалины.

1) Общие технические указания. Прежде всего необходима тщательная очистка швов от жира, для того чтобы они могли быть равномерно смочены припоем. После этого наносится флюс, и соединяемые части располагаются так, чтобы их взаимное расположение сохранилось при пайке; для этого применяются шпильки, наложение тяжестей или другие крепления. Необходимо предотвратить нежелательный отвод тепла! Флюс надо наносить в холодном состоянии. Нецелесообразно паяльник сначала нагревать, а лишь затем окунать его в флюс. Но нагревание флюса до 90°C , несомненно, повышает его смачивающую способность.

Надо упомянуть, что в продаже имеются также газообразные флюсы. По патентованному методу газ, питающий горелку, пропускают через жидкость, в которой он обогащается парами флюса. Таким образом, в ряде случаев смачивание швов флюсом становится лишним; кроме того, не надо удалять остатки флюса после пайки.

Затем следует нагреть большую площадь около места спая горелкой, но не конусной частью пламени, а его передней широкой частью. (Al является исключением.) Нагреть место спая следует до той температуры, при которой положенные на него кусочки припоя начинают легко плавиться и могут заполнить весь шов. Припой кладут с некоторым избытком, так, чтобы новые полости, образующиеся при остывании, также могли заполняться припоем. Шов должен быть возможно более узким, во всяком случае меньше $0,5\text{ мм}$; оптимальные значения: $0,01-0,2\text{ мм}$. Если применяется предохранительная газовая печь, то припой быстро всасывается в шов и уплотняет его, что обеспечивает большую прочность, чем при обычной пайке с флюсом.

После охлаждения остатки флюса удаляют осторожным постукиванием или травлением 10% азотной кислотой, а затем промывают горячей водой. Если необходимо абсолютно полное удаление остатков флюса, то можно воспользоваться имеющимися в продаже растворами, изменение цвета которых указывает на наличие остатков флюса. Флюс из буры выделяет в вакууме большое количество газа!

2) Твердые припои. Известны три группы таких припоев: латунный припой с температурой плавления от 800 до 900°C , серебряный и серебряно-кадмиевый припой с температурами плавления от 600 до 850°C [6]; кроме того, в особых случаях применяют чистые металлы, такие, как серебро (961°C), медь (1083°C) и 24-каратное золото (1060°C). Табл. I, 10—12 взяты из соответствующих стандартов. Они дают исчерпывающий обзор всех имеющихся припоев и случаев их применения.

Если на одной и той же детали необходимо провести последовательно несколько паек твердым припоем, то, применяя один и тот же припой, можно было бы повредить прежние пайки. Поэтому в таких случаях следует применять два или три припоя, температуры плавления которых различаются примерно на 30°C : «первый припой», «второй припой», «третий припой».

Новую группу припоев составляют так называемые припои с низкой температурой плавления и присадки, понижающие точку

Серебряные припои для тяжелых металлов и железных материалов

Наименование	Обозначение	Состав в %	Миним. рабочая темпер., °C	Материал соединяемых деталей	Примеры применения
Серебряный припой 12Cd	LAg 12Cd	Ag 11—13 Cd 5—9 Cu 52 Zn ост.	800	Медь и медные сплавы	Небольшие пайки массивных деталей из меди и медных сплавов. Пайка меди и медных сплавов со сталью
Серебряный припой 15	LAg 15	Ag 14—16 Cd 8—12 Cu 49 Zn ост.	770	Железо и сталь, медь и медные сплавы	Небольшие пайки плакированных стальных листов. Детали средней массивности
Серебряный припой 15P	LAg 15P	Ag 14—16 Cu 82 P ост.	710	Медь и медные сплавы	Небольшие пайки средних и тонких деталей в том случае, если не имеет значения хрупкость паяльного шва
Серебряный припой 20	LAg 20	Ag 19—21 Cd 13—17 Cu 43 Zn ост.	750	Железо и сталь, медь и медные сплавы	Небольшие пайки плакированных листов друг с другом или со сталью
Серебряный припой 25	LAg 25	Ag 24—26 Cu 43 Zn ост.	780	Железо и сталь, медь и медные сплавы	Тонкие листы, проволоки и трубки, например, для оптики, точной механики. Большие пайки массивных и средних деталей в том случае, когда требуется высокая тепловая прочность при пайке и в эксплуатации
Серебряный припой 30Cd5	LAg 30Cd 5	Ag 29—31 Cd 3—7 Cu 44 Zn ост.	770	Медь и медные сплавы	Большие и малые пайки, подвергающиеся последующей деформации. Припой для высоких давлений

Наименование	Обозначение	Состав в %	Миним. рабочий температур., °C	Материал соединяемых деталей	Примеры применения
Серебряный припой 38	LAg 38	Ag 37—39 Cu 42 Sn 4 Zn ост.	800	Конструкционные стали и бронзы	Небольшие пайки в турбинах, насосах и др. машинах в том случае, когда требуется стойкость в отношении морской воды
Серебряный припой 44	LAg 44	Ag 43—45 Cu 32 Zn ост.	730	Медь и медные сплавы	Большие пайки на тонких деталях в том случае, когда требуется высокая теплопрочность при пайке или в эксплуатации. Или «второй припой» после LAg25. Пайка ленточных шил
Серебряный припой 45	LAg 45	Ag 44—46 Cd 18—32 Cu 19 Zn ост.	620	Химически устойчивые стали, медь и медные сплавы	Небольшие пайки в том случае, когда деталь чувствительна к нагреву или напряжению; «третий припой»
Серебряный припой 49	LAg 49	Ag 48—50 Cu 18 Mn 8 Ni 5 Zn ост.	690	Диффундированные хромом стали	Большие и малые пайки, а также небольшие исправления на диффундированном хромовом слое
Серебряный припой 50	LAg 50	Ag 49—51 Cd 3—7 Cu 32 Zn ост.	700	Медь и медные сплавы	Небольшие пайки, «второй припой» после LAg30Cd5 (припой для высоких давлений) и при особых требованиях в отношении стойкости к коррозии

плавления. С помощью этих припоев становится возможным производить очень прочную и изящную спайку материалов при температурах значительно ниже их температуры плавления. Так, имеются паяльные палочки для алюминия, которые обеспечивают прочное соединение уже при 420° С, т. е. на 250° С ниже температуры плавления алюминия.

Таким приемом, применяя особый припой, можно паять оцинкованные детали без разрушения слоя цинка. При этом достигается прочность до 50 кг/см². Медь, латунь, бронзу, нержавеющей сталь,

Серебряные припои для благородных металлов

Наименование	Обозначение	Состав в %	Мин. рабоч. темп., °C	Материалы соединений-емых деталей	Примеры применения
Серебряный припой 45	LAg 45	Ag 44—46 Cd 18—22 Cu 19 Zn ост.	620	Серебро, платина	Напайка контактов из благородных металлов, паяние золота
Серебряный припой 50Cd	LAg 50Cd	Ag 49—51 Cd 18 Cu 22 Zn ост.	650	Преимущественно серебро	Пайка тонких листов и проволок из серебра и серебряных сплавов, например контактов в цепях
Серебряный припой 67	LAg 67	Ag 66—68 Cu 26 Zn ост.	730		«Первый припой» для изделий из серебряно-медных сплавов. Черенки ножей
Серебряный припой 67Cd	LAg 67Cd	Ag 66—68 Cd 11 Cu 13 Zn ост.	710		«Второй припой» для изделий из серебряно-медных сплавов
Серебряный припой 75	LAg 75	Ag 74—76 Cu 25 Zn ост.	770	Пайка изделий из серебряно-медных сплавов, которые затем должны будут покрываться эмалью	
Серебряный припой 83	LAg83	Ag 82—84 Cu 17 Zn ост.	830	Пайка тонкой серебряной аппаратуры и серебряного слоя плакированных серебром металлов	

никель, серебро и золото можно паять этим способом при 496° C, применяя специальный сплав. Имеются различные типы специальных припоев, которые служат для получения больших прочностей при повышенных температурах или устойчивости против коррозии в морской воде и горячих парах, для пайки в защитном газе и для применения в высоковакуумных приборах с прогреваемыми местами спая.

Специальным припоем является также «сильфос», состоящий из Ag-Cu-P. Он позволяет производить пайку сплавов медь — олово и медь — серебро без применения флюса. Выделяющийся при нагревании фосфор растворяет оксидный слой и образует предохранительную глазурь.

3) В зависимости от источника тепла методы пайки различаются следующим образом:

Латунные припой для железа и других металлов

Наименование	Обозначение	Состав в %	Рабочая температура, °С		Материал соединяемых деталей	Примеры применения
			Уд. вес, $\frac{\%T}{\text{см}^3}$			
Латунный припой 54	LMs 54	Cu 33—55 Zn не менее 44 Si 0,2—0,4	890	8,3	Медь, сталь и чугун	Приборы
Латунный припой 48	LMs 48	Cu 47—49 Zn не менее 50	870	8,2		
Латунный припой 42	LMs 42	Cu 41—43 Zn не менее 56	845	8,1	Материалы, содержащие Ni, материалы, содержащие Cu	Рукоятки и захваты
Серебряно-латунный припой	LMs Ag	Cu не менее 50 Zn не менее 40 Ag 4—6 P + Si 0,5	810	8,4	Сталь, ковкий чугун	Стальные детали с толщиной стенки только до 1 мм

а) С паяльной горелкой; для этой цели пригодно любое мягко горящее пламя, как, например, светильный газ — воздух, ацетилен — сжатый воздух; однако водородно-кислородное пламя здесь непригодно.

б) Пайка джоулевым теплом и токами высокой частоты. Эти методы пайки дают возможность обеспечить ограниченный местный нагрев и применяются в основном для сложных деталей. Поскольку в таких случаях почти никогда не удается обходиться без специального приспособления, целесообразно применять этот вид пайки лишь в случае большого количества однородных деталей.

в) Пайка в атмосфере защитного газа [7]. Этот метод сильно развился в последние годы. Он допускает изящные пайки, выполнение которых другими путями почти невозможно. При этом следует иметь в виду, что прочность спайки стальных деталей в защитном газе почти равна прочности самой стали. В качестве защитного газа [8] применяют H_2 , а также смеси $H_2 + N_2$, $H_2 + CO_2$ и др.

д) При пайке окунанием детали погружаются в жидкую металлическую ванну. Этот метод применяется в большинстве случаев для очень маленьких деталей. Он дает очень хорошо наполненные плотно запаивные швы. Кроме того, на деталь, подвергаемую пайке, можно одновременно нанести поверхностный слой цветного металла (горячее лужение, цинкование, омеднение).

4) Латунные припои непригодны, если паяные твердым сплавом металлические детали должны нагреваться в вакууме, так как цинк испаряется из них и осаждается на более

холодных стеклянных стенках. В таких случаях рекомендуется применять серебряные припой, не содержащие цинка.

а) Алюминий допускает без особых трудностей пайку специальными твердыми припоями, имеющимися в продаже [9]. При этом необходимо применять специальный флюс, который в большинстве случаев содержит хлористый литий. Пайка производится таким же образом, как и пайка стальных деталей. Необходимо только обеспечить небольшой перепад температур между расплавленным припоем и плавящимся алюминием, чтобы последний не был поврежден [10]. Железо может быть припаяно к алюминию, если оно в месте спая будет предварительно омеднено. С алюминием также можно спаивать медь, латунь и другие металлы [10].

б) Молибден и вольфрам можно спаивать с другими деталями латунным припоем при большом количестве буры.

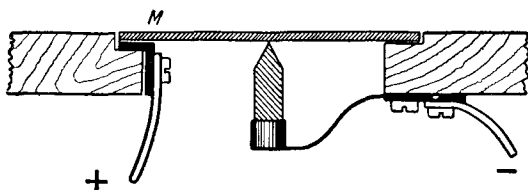


Рис. 1,11. Пайка тонких проволок.

γ) Проволоки диаметром меньше 0,1 мм, например для термопар, могут сгореть при внесении их в пламя. Поэтому рекомендуется применять простое приспособление, изображенное на рис. 1, 11.

К узловой микрофонной мембране *M*, закрепленной на пластине, снизу прижат уголь дуговой лампы с остро заточенным кончиком. В электрическую цепь (110 в, от 3 до 4 а) включают предохранительное сопротивление и выключатель. Ток идет от мембраны (+) к углю (-); при замыкании тока место касания уголька и мембраны сильно нагревается, и на мембране появляется накалившееся резко ограниченное пятно, которое после охлаждения можно узнать по темному цвету. Спаиваемые проволоки выравниваются на мембране так, чтобы место спая приходилось как раз на пятно, после чего, пользуясь флюсом и серебром или оловом с паяльной жидкостью, производят пайку, замыкая в цепи ток.

В продаже имеются серебряные припой для пайки тонких проволок.

δ) Титан можно паять с чистым алюминием и с алюминиевым припоем при помощи твердого никелевого или медного припоя [11]. Но все операции при этом необходимо производить в газозащитной атмосфере (атомно-водородная сварка, аркатом).

ε) Твердые металлы хорошо обрабатываются флюсом, состоящим из борной кислоты или силикатной смеси. Применяемый припой должен легко менять форму, чтобы выравнивать различие в уменьшении размеров при остывании стали и твердых металлов.

Та прочность, которая достигается при соединении деталей твердым припоем, для многих целей является недостаточной. Поэтому детали из одинаковых или подобных материалов сваривают вместе, добавляя вспомогательный материал или без него [12]. Полученное таким приемом соединение является неразъемным.

а) *Газовая сварка.* Для нее применяется сварочная горелка, работающая в большинстве случаев на ацетилене и кислороде. Не так давно для лабораторий выпущен небольшой генератор ацетилена с емкостью около 1 кг карбида, кроме того, в продаже имеются небольшие стальные баллоны с ацетиленом, обеспечивающие еще более чистое выполнение работ. Установка пригодна, между прочим, и для многих жестяных работ. Она не требует наличия каких-либо особых знаний или приготовлений, дешева в изготовлении и в эксплуатации.

При сварке поступают следующим образом: после выбора соответствующей горелки (таблица для выбора прилагается к ящику с горелками) прежде всего закрывают краны горелки. Вслед за этим открывают ацетиленовый кран на генераторе или на стальном баллоне (давление при сварке около 0,5 атм), а затем — кислородный кран (2 атм). После этого несколько приоткрывают ацетиленовый кран на горелке, зажигают вытекающий из него газ и поворачивают кислородный кран на горелке, открывая его до тех пор, пока у выхода горелки не возникает маленький острый конус пламени. Теперь горелка готова к работе. Свариваемую деталь сначала обрабатывают на некотором расстоянии вокруг места сварки, после чего легким прикосновением конуса пламени начинают расплавлять шов и, добавляя материал в виде сварочной проволоки, постепенно заполняют весь шов целиком. Чтобы приобрести некоторую уверенность в этих работах, начинающим следует попросить опытного сварщика показать им все операции сварки.

Этим способом могут быть сварены почти все железосодержащие материалы [13]. Алюминий также можно хорошо сваривать, применяя имеющиеся в продаже флюсы и соответствующую сварочную проволоку; при этом следует, однако, соблюдать осторожность вследствие низкой температуры плавления алюминия.

Если имеется в наличии газосварочный аппарат, то без особых затрат его можно пополнить горелкой для резки. Автогенная резка при обработке стержневого материала и массивных деталей позволяет значительно экономить время. Так, например, в стали можно быстро сделать отверстие любого размера, удалить мешающие части при сборке отдельных деталей конструкции, а также обрабатывать закаленные детали [14].

Сваривать очень небольшие детали можно при помощи обычной горелки с дутьем, например, можно сваривать маленькие платиновые части (фольгу с проволокой); при этом раскаленные части должны соединяться непременно под давлением (ударом молотка). Так как в лаборатории приходится сваривать платиновые части весьма незначительной массы, то оказывается нелегким делом избежать их охлаждения в промежутке между прекращением нагревания в пламени и первым соединяющим их ударом молотка. В тех случаях, когда это возможно, оба кусочка платины предварительно временно соединяют друг с другом; так, например, две проволоки

скручивают вместе, а кусочек фольги соединяют с проволокой, пропуская ее через два продельных в фольге отверстия. Два кусочка платиновой фольги устанавливают с помощью нескольких прокладок (из неглазурованного фарфора) в соответствующем направлении на незначительном расстоянии над поверхностью наковальни; затем их нагревают небольшим, острым пламенем горелки, направленным касательно к их поверхности, и, когда место сварки накалится добела, не сильно ударяют по нему легким молотком. Если кусочки соединились друг с другом, то уже можно один из них захватить пинцетом и более тщательно обработать место сварки.

б) *Электродуговая сварка* (в лаборатории применяется в особенности для соединения толстых проволок). Оба свариваемых кусочка образуют (+) — полюс электрической дуги (постоянный ток 110 в); (—) — полюсом служит тонкий уголь дуговой лампы. Сила тока при коротком замыкании около 6 а. Касаются углем обоих кусочков в месте их сварки и сжимают их концы, раскаленные добела. Продолжительность сварки — несколько секунд.

Если таким образом желают сварить вольфрам с хромистой сталью или с медью, то вольфрам следует нагреть значительно сильнее, чем второй металл. После этой операции вольфрам неизбежно становится хрупким.

Фирма Сименс-Шуккерт выпускает простое устройство, с помощью которого особенно прочно свариваются проволочные соединения.

Если к сварному шву предъявляются особые требования в отношении отсутствия окислов и плотности, то рекомендуется применить атомно-водородную сварку.

В потоке водорода, протекающего между вольфрамовыми электродами горячей электрической дуги, молекулы H_2 диссоциируют. При встрече со свариваемым металлом они рекомбинируют с большим выделением тепла (Лэнгмюр). Преимущество метода, носящего в технике название атомно-водородной или «аркатомной» сварки, состоит в энергичном восстанавливающем действии атомарного водорода. Недостатком этого метода является высокое воспламеняющее напряжение (около 400 в). Дуга (переменного тока) горит при 20—60 а и 60—100 в. Соответствующие установки имеются в продаже.

Быстро развивается аргоно-дуговая сварка, при которой дуга горит в атмосфере аргона или гелия. В последнее время в качестве защитного газа пользуются также CO_2 . Электрод состоит из вольфрама, который сгорает лишь в незначительной степени (аргоно-дуговой метод); в этом методе электродом может служить также присадочный материал, который плавится и стекает в паз (сигма-метод).

Таким способом особенно часто получают очень плотные швы на нержавеющей стали; сварка идет при малом выделении тепла и дает прекрасные результаты.

в) *Контактная электросварка*. Эта сварка производится с помощью сварочных аппаратов (точечная, роликовая, стыковая и искровая сварка), имеющихся в продаже. Они настолько разработаны, что не имеют никакого смысла дополнительно разрабатывать какие-либо устройства в лабораториях, в особенности также потому, что существуют весьма малогабаритные конструкции, стоимость которых определяется в основном количеством пошедшей на кон-

струкцию меди. Следовательно, в случае собственного конструирования и изготовления аппарата вряд ли получится большая экономия в его стоимости. Точечную сварку применяют, например, в случае крепления электродов в вакуумных лампах. Тонкие пластинки или проволоки из вольфрама, молибдена, меди, никеля или платины в течение сотых долей секунды можно соединять друг с другом; такие соединения оказываются достаточно прочными, жароустойчивыми, при этом не требуется никаких флюсов, которые ухудшают вакуум, выделяя газы.

В простых аппаратах давление, необходимое для сварки, достигается действием рычага с ножным приводом; необходимо следить за тем, чтобы это давление не было очень сильным и чрезмерно продолжительным. Качество сварки не всегда одинаково. Лучшим оно получается для таких металлов, которые имеют близкие температуры плавления, удельные сопротивления и теплопроводности, например, для никеля и железа. Металлы с более высокими температурами плавления обнаруживают меньшую способность к сварке.

1) Т а н т а л сваривают при наличии защитной жидкости, например четыреххлористого углерода. Можно применять также атмосферу защитного газа. Без какой-либо из этих защитных мер тантал сварке не поддается.

2) М о л и б д е н — в о л ь ф р а м сваривается в атмосфере защитного газа.

3) М о л и б д е н — т а н т а л исключительно трудно поддается сварке. Время сварки должно быть в общем случае ограничено электронным прибором.

4) С в а р к а с т и т а н о м также возможна. Но и здесь время сварки должно быть весьма непродолжительным (примерно $\frac{3}{5}$ секунды), в противном случае титан окисляется, и в результате получаются малопрочные соединения [14].

§ 2. Обработка поверхностей (защитные слои и пленки)

Известны многочисленные методы обработки поверхностей, столь же разнообразны цели и возможности такой обработки. В этом разделе будет рассматриваться обработка самой поверхности, а не нанесение металлических слоев и пленок на подложки (см. стр. 112). Прежде всего следует достаточно полно перечислить методы обработки поверхностей в рамках изложения технических лабораторных приемов. При этом приходится говорить главным образом об очистке поверхностей, защите их от нежелательных воздействий, а также о некоторых других технических приемах облагораживания поверхностей [1]. Поллак описывает методы обезжиривания (с помощью пульверизатора или выщелачивания), устранения окислов (путем травления), удаления остатков краски (посредством травления или смазывания щелоком).

А) О ч и с т к а поверхностей производится с различными целями. В ряде случаев стремятся получить чистую и блестящую поверхность или сохранить ее в таком виде (защита). В других случаях очистка производится для того, чтобы сделать возможным нанесение пленок, которые должны прочно приставать к поверхности, или для того, чтобы сделать поверхность активной (каталитической, адсорбционной).

Особенно чистые поверхности кристаллов получают в результате обработки в высоком вакууме (10^{-3} мм рт. ст.); для этого необходимы следующие операции [2]: нагревание в вакуумной прогревающей печи, бомбардировка положительными ионами [3]; обработка атомарным водородом, расщепление кристалла.

При очистке металлических поверхностей эффективно действует обработка пливовальными порошками [4].

Дальнейшими средствами очистки металлических поверхностей служат органические растворители, главным образом углеводороды, а также растворяющие и смачивающие средства и вещества, замедляющие коррозию [5]. Например, смешивают: 3% продукта конденсации спирта жирного ряда, молекула которого содержит не менее 10 атомов С, и 15—20 молекул окиси этилена, 4% соли Na сульфоамидоуксусной кислоты, 4% неомыленного масла, которое получается при изготовлении Na-алкасульфоната и содержит цепочку из 15 атомов С, 0,6% диацетоналкоголя, 52% керосина плотностью 0,8 г/см³, остальное — вода. Эта жидкость в смеси (2%) с водой образует эмульсию. В полученную эмульсию добавляют 2% H₂SO₄ (плотность 1,8 г/см³) и при 60—70° С распыляют на поверхности металла [6].

Для удаления нежелательных слоев с поверхности имеются новые средства. При этом существенно иметь в виду, что в большинстве случаев замена веществ в рецептах невозможна. Качество рецепта определяется хорошим взаимодействием компонентов в смеси. Ниже даются краткие указания по устранению определенных загрязнений.

а) *Жир* [7]: пароксаль 2, нанесенный на подложку из H₃PO₄; прежде всего для поверхностей Al [8]; общая обработка пескоструйным аппаратом, а также трихлорэтиленом [9]. Особую осторожность рекомендуется соблюдать при очистке стеклянных поверхностей разбавленной плавиковой кислотой, так как при этом легко возникает изменение в составе поверхностного слоя стекла [10]. Для стеклянных, фарфоровых, эмалированных и фаянсовых предметов (также автокузовов) применима смесь 100 г марлопона 70/60, 200 г марлона FR, 6 г парфюмерной смеси, 15 г 33% водного раствора гексаметафосфата, 320 мл мягкой воды и 20 мг растворимой в воде анилиновой зелени.

б) *Окалина*: рекомендуются электролитические и химические методы. При особенно твердых слоях окалина обрабатываемый кусок помещается в электролитическую ванну (в качестве анода или катода) при 100—145° С с раствором щелочи; применяются токи плотностью от 50 до 300 а/дм² [12]. Медь и ее сплавы, как, например, Cu, латунь, бронза, нейзильбер, очищаются от окалина при помощи Fe₂(SO₄)₃·9H₂O с добавлением CrO₃; необходимо иметь в виду, что это вещество служит недолго и его часто приходится обновлять [13]. Поверхности титана обрабатываются расплавленными полисульфидами щелочных металлов до размягчения окалина, когда появляется возможность удалить ее вместе с полисульфидом; если предметы предварительно были обработаны щелочным обезжиривающим раствором и 20% раствором HCl, то можно применять также 60% раствор HF [14]. Слой окалина легко удаляется после действия на нее в течение 8 суток следующей пасты: 200 г каолина, 150 г бентонита, 500 г воды, 60 г NaHSO₃, 90 г NaHSO₄.

в) *Пленки олова*: для удаления с поверхностей, содержащих главным образом Cu , рекомендуется применять разбавленный раствор H_2SO_4 , содержащий от 28 до 56 г/л ионов Cu [16].

г) *Оксиды* с поверхности Al удаляются посредством флюсов, содержащих фтористые и хлористые соединения [17].

д) *Ржавчина*: удаляется ионами хрома (III) в спиртовом растворе [18]; исследования Палаццолю [19] показали, что пескоструйная обработка действует более эффективно, чем химическое травление в 10—15% растворе H_2SO_4 [20].

Имеется множество предложений по предотвращению коррозии [21] и сохранению поверхностей в гладком виде [22]. Некоторые из них приведены в табл. 1,13.

Таблица 1,13

Другие средства очистки и защиты поверхностей

Назначение средства	Состав	Описание, руководство
Обезжиривание и очистка	Побочный продукт при изготовлении солей сульфокислот	Рогнер и Кеттенбахер, D.R.P. 752252/51
Обезжиривание металлов	От 3 до 8 объемных долей мазута на 2 или 5 объемных долей трихлорэтилена или четыреххлористого углерода. Добавляется фенол	И. Корнен, F.P. 966233/50 Schw. P. 1947
Очистка загрязненных электрических изоляторов	6 кг кварцевой муки, 3,3 кг бентонита, 300 см ³ (19° Боме) HCl , 160 г ингибитора травления, 1,9 кг щавелевой кислоты, 0,5 кг некаля в качестве смачивающего агента, 24 г метилоранжа с водой, размешанные до тестообразного состояния. Наносится на поверхность тряпкой и через некоторое время стирается	Е. Ренквиз, D.R.P. 802941/5

е) *Обрезки холоднотянутой стальной проволоки* пригодны для чистки и уплотнения поверхностей [23]. Эти обрезки, диаметром 0,75, 1,0, 1,3 и 1,5 мм и такой же длины, можно применять в машинах для чистки вместо стальной дробы.

ж) *Оксидные слои*, нанесенные анодированием на алюминии и алюминиевых сплавах, разрушаются при помещении обрабатываемых предметов в 0,1—5% водный раствор, нагретый до 70—100° С и содержащий органические соединения с кислотным и лопофиленовым радикалом; например, растворяется в мягкой воде 0,1 вес.% стеаринокислого полиэтиленгликоля или сульфурованный вторичный спирт с двойной цепочкой из по меньшей мере 6 атомов С. Предметы опускаются в эту жидкость при температуре 90—95° С [24].

В пористых материалах, главным образом в графите или углеобразных телах, поры заполняются пропитыванием затвердеваю-

щими жидкими искусственными веществами (например, смесями фенолформальдегидных смол с фурфуролом). Для удаления воздуха из пор предметы помещаются в сосуд, который эвакуируется [25].

Б) Ш л и ф о в к а и п о л и р о в к а повышают микротвердость поверхности, но одновременно делает её более хрупкой по сравнению с поверхностью травленной и деформированной давлением [26].

Во многих случаях применяется электролитическая полировка [27] (Э. Бейтель, 1907). При этом рекомендуется полируемую поверхность, особенно поверхности листовых материалов, держать на некотором расстоянии над поверхностью электролита; последний помешивают так, чтобы поверхность омывалась только гребнями возникающих при этом волн. На поверхностях, имеющих спаи, гальванические покрытия держатся довольно прочно в том случае, если перед гальваническим осаждением Ni места пайки анодируются в концентрированном растворе H_2SO_4/H_3PO_4 (60 частей H_2SO_4 , 20 частей H_3PO_4 и 20 частей воды; 3 минуты, 7,5 в; затем 3 минуты при 3 в).

Действие электролитической полировки Брюнер и Ланге объясняют повышенной скоростью диффузии с остриев микроперехватостей. Для получения полуматовых поверхностей, например серебра, применяется раствор 35 г/л цианистого серебра, 37 г/л цианистого калия, 38 г/л поташа ($0,9 \text{ а/дм}^2$ и 25°C); вредное образование газов у катода можно практически прекратить, добавляя соль полируемого металла, растворимую в воде [28].

Совмещение электролитического шлифования с электроэрозийным методом обработки возможно для труднообрабатываемых веществ, например для твердых металлов [29].

В) М е т а л л и ч е с к у ю п о в е р х н о с т ь можно сделать шероховатой, нагревая ее переменным током высокой частоты в атмосфере защитного газа или применяя испарение в вакууме [30]. При этом поверхность одновременно очищается. Метод применяется в основном при изготовлении фольги для электрических конденсаторов.

Гладкие поверхности на неровных пористых материалах получают с помощью вязкого раствора, например, из нитроцеллюлозы в этилацетате; можно также воспользоваться каким-либо веществом, плавящимся при нагревании, например стеклом; из этого вещества приготавливают тонкостенный пузырь, который придавливается к поверхности, предварительно смазанной связывающим веществом или нагретой. Верхнюю часть пузыря удаляют, а полученную гладкую поверхность металлизуют [31].

Г) Ф о с ф а т и р о в а н и е [32] является методом получения шероховатых поверхностей; последние одновременно становятся более устойчивыми против коррозии и значительно крепче держат масла, лаки и окраску. Поверхность закрепляется, в результате чего облегчается бесстружечная холодная формовка и существенно уменьшается трение скольжения деталей машин. Метод называют также бондеризацией. В большинстве случаев в этом методе в ванны добавляется ускоритель. Под действием водяного пара при 82°C после обработки раствором процесс ускоряется [33]. Фосфатированию поддаются железо, сталь, цинк, алюминий и магний. Х р о м а т и р о в а н и е [34], дающее примерно такие же результаты, применимо только к цинку, алюминию и магнию.

Д) Новый метод обработки поверхностей [35] — обработка серой — оказался пригодным как средство против ржавчины и заедания; пример применения: поверхность при 570° С обрабатывается в течение времени от нескольких минут до двух часов в цианистой ванне, содержащей серу.

Е) Проводящие покрытия для медных коллекторов и контактных колец изготавлиются из водного раствора 0,125—0,50 (единиц) $\text{NaC}_2\text{H}_3\text{O}_2$, 0,125—0,50 NH_4Cl , 0,250—1,00 $(\text{CNH}_2)_2\text{S}_2\text{O}_8$, 0,065—0,39 $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, 0,650—2,50 H_2O и 95,11—98,785 H_2O [36].

Поверхностям непроводников перед гальванизацией сообщают проводимость, обрабатывая их, например, спиртовым раствором: на 1 л спирта 100 г шеллака, 30 г венецианского терпентина и 1 кг медной пыли [37]. На стекле следует наносить проводящие слои, не уменьшающие его прозрачности. Этим приемом можно (пропуская по слою ток) избежать запотевания и замерзания стекол [38]. На свинцовом стекле можно получить полупроводящий слой, восстанавливая стекло в теплом H_2 , а затем частично окисляя в парах воды или в горячем воздухе; перед восстановлением стекло можно подвергнуть травлению в разбавленной кислоте, например в 1% растворе HCl , нагретом до 25—60° С [39]. Полупроводящие слои из окиси индия на стекле получают, распыляя индиевый катод в воздухе при 0,1 мм рт. ст. при незначительном добавлении O_2 (слой прозрачен и непроводящ); нагревание до 380° С увеличивает проводимость на два порядка [40].

Ж) Органические покрытия [41]. Эти покрытия в большинстве случаев служат для защиты обработанных поверхностей и сохранения их свойств (чистые поверхности) после плакирования [42]; кремниевые покрытия [43], пигментированные порошкообразным Zn и ZnO , показывают хорошую теплостойкость [44]; хлоркаучуковые покрытия применимы без каких-либо дополнительных защитных слоев до температуры 52° С [45]. Особую роль играют лаковые покрытия [46]. Их можно наносить посредством окрашивания [47], вжигания [48] или пульверизации [49], а также машинным способом [50]. Во всех случаях рекомендуется предварительная обработка покрываемой поверхности [51], для того чтобы наносимый слой хорошо к ней прилизал и сохранял хороший внешний вид [52].

Лакировка иногда служит для особых целей: прежде всего, она может служить защитой против коррозии [53], в этом отношении имеется наибольшее число предложений. Здесь предварительная обработка поверхности также повышает эффективность защиты [54] (обработка пескоструйным аппаратом, травление, фосфатирование, грунтовка); грунт составляется из двух компонентов: пленкообразующей смолы (поливинилбутирал) в спиртовых растворителях с добавлением противокоррозийного пигмента (хромат цинка) и фосфорной кислоты. Высыхает в воздухе при температуре 120° С.

а) Краски (также и неорганические) для покрытия металлических частей холодильников и стиральных машин [55].

б) Лаки: для проводников электричества [56], Al и алюминиевой фольги [57], электрической изоляции [58], для защиты от теплового излучения [59], для задержания видимых и инфракрасных лучей (нагреватели и др.) [60], огнеупорные [61], для наружной окраски [62], для пластмасс [63], для матирования [64], для скрипичных и щипковых инструментов [65], для кожи [66].

Протрава под окрашивание кистью см. [67], главным образом для силиконовых покрытий алюминиевых поверхностей [68].

3) Потускнение блестящих поверхностей металла или стекла предотвращается с помощью нейтрализованного раствора высокомолекулярных сульфурованных жирных кислот или сульфурованных спиртов или же с помощью их смесей с каким-либо летучим растворителем, например смеси из 10 (объемов) нейтрализованной триэтаноламином кислоты жирного ряда, 60—95% денатурированного спирта, 30% воды и иногда некоторого количества красящего вещества [69]. Серебро и другие чувствительные металлы протираются нанесенным на влажную тряпочку порошком из 60% CaCO_3 , 38% калькотара (английская красная) и 2% мыльного порошка [70] и вытираются затем сухой тряпкой. Это является не только средством очистки, но и предохраняет металлическую поверхность от потускнения. Серебряный слой на зеркалах можно снимать, погружая зеркало при постоянном помешивании в раствор следующего состава, подогретый до температуры от 65 до 95° С: 78 частей 75% раствора H_3PO_4 , 2 части смачивающего вещества, около 20 частей какого-либо пластификатора и такого же количества дистиллированной воды [71].

Наряду с защитой от загрязнения и потускнения, важное значение имеет защита от оледенения, главным образом появления изморози. Так, дьюаровский сосуд может быть закрыт алюминиевой крышкой [71а].

И) Жидкоплавкие покрытия сравнительно легко получить из неорганических и органических веществ.

Для стеклянных покрытий пригодны Al- или Na-боросиликатные стекла [72] (возможна пульверизация) или стекло следующего состава: от 15 до 30% SiO_2 , от 6 до 20% B_2O_3 , от 15 до 40% BaO , от 17 до 35% CaF_2 , от 3 до 10% Zn , от 0,1 до 8% Al_2O_3 и от 0,5 до 3% CaO [73].

На кремнистую сталь стеклообразное покрытие можно наносить, вспенивая водную взвесь MgO или $\text{Mg}(\text{OH})_2$ и прокаливая затем ее во влажной атмосфере при 1140—1205° С [74].

Чистый Al (99,98%) покрывают кремнийорганическими смолами. Его моют в концентрированном растворе SiCl_3 , сушат, протирают бумажным тампоном и погружают в 60% толуоловый раствор метилированной кремнийорганической смолы, содержащей 20% TiO_2 . Отношение количества групп CH_3 к числу атомов Si должно составлять 1,5. После этого Al в течение 15 минут сушат при 400° С [75].

Нечувствительные к холоду и жаре защитные покрытия, особенно пригодные для оптических приборов, получают, применяя следующую гомогенную смесь (составляется при 65—70° С [76]): 32% минерального воска, 5% натурального или синтетического каучука, 40% гидрированной смолы, 18% воска с высокой температурой плавления; кроме того, в горячем состоянии добавляются: 1,8 части сажи, 2,5 дибутилсебаката и 1,0 пентахлорфенола.

§ 3. Обработка стекла

Развитие физики в последнее время (техники высокого вакуума, счетчиков и т. д.) требует от физиков знания основных свойств стекла как материала и способов его обработки.

А) Стеклодувные работы

Мастера, изготавливающие стеклянные приборы и термометры, изучают в профессиональной школе все необходимые и наиболее важные приемы стеклодувного искусства. Некоторое дополнение к этому дает курс для юстировщиков аппаратов и термометров. В учебных планах предусмотрены разделы юстировки приборов для измерения емкостей и температуры, а также указано на необходимость знания систем единиц измерения. Специальные познания в таких областях, как, например, металлические вياйки, техника высокого вакуума, можно приобрести только опытом и практикой. Не считаясь с очевидными трудностями, молодые физики и химики сами должны овладеть стеклодувным искусством, наблюдая за работой стеклодувов и практически упражняясь. Отсылая читателя к целому ряду пособий [1], в которых подробно изложена стеклодувная техника, следует упомянуть о некоторых наиболее важных стеклодувных приемах, которые встречаются в лабораторной практике.

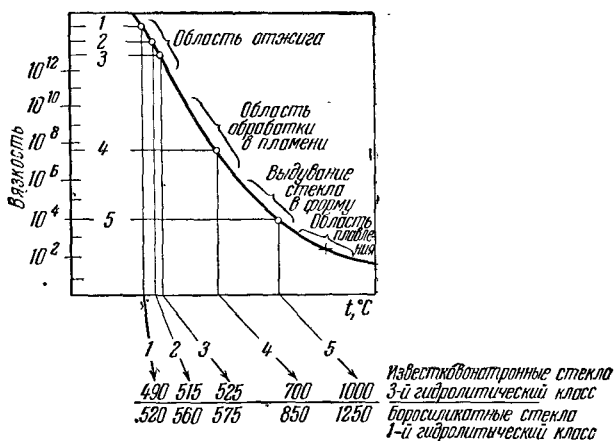


Рис. 1,12. Вязкость стекла.

На рис. 1, 12 показана кривая изменения вязкости обыкновенного стекла в процессе его нагревания при обработке. На графике отмечены в единицах вязкости (пуазах) основные области этого процесса. Нижняя температура снятия напряжений 1 соответствует температуре, при которой следы внутренних напряжений в стекле по истечении 15 часов становятся исчезающе малыми. При этой температуре вязкость стекла равна $10^{4,6}$ пуазов. За верхнюю температуру снятия напряжения 2 (температура отжига) принимается температура, при которой напряжения в стекле почти полностью исчезают за 15 минут. По Лилле этой температуре соответствует вязкость $10^{13,4}$ пуазов. Точке превращения 3 соответствует вязкость 10^{13} пуазов. При температуре, соответствующей точке превращения, происходит большее или меньшее изменение электропроводности, теплового расширения и других физических свойств стекла.

Область обработки стекла лежит в пределах от 10^6 до 10^{10} пуазов. Температура δ — рабочая при выдувании стекла.

При температуре, соответствующей точке размягчения стекла δ , его вязкость равна $4,46 \cdot 10^7$ пуазов (температура размягчения).

В качестве полусырого продукта в большинстве случаев применяются стеклянные трубки, стеклянные палочки, а также изготовленные в стеклодувных мастерских полые детали (в большинстве своем полые цилиндры).

В продаже имеются следующие типы трубок (табл. I,14):

Т а б л и ц а I,14

Диаметр, мм	Толщина стенки		
	трубки для сгибания, мм	цилиндри- ческие трубки, мм	пробирные трубки, мм
4—15	0,75—1,25	0,40—0,75	0,40—0,60
14—25	1,00—1,50	0,70—1,0	0,50—0,75
24—35	1,40—2,20	1,00—1,50	0,75—1,00
34—50	2,00—3,00	1,50—2,00	—
50—100	—	2,00—3,00	—

Капиллярные трубки: наружный диаметр от 0,5 до 8 мм, для большей прочности делаются с толстыми стенками. Их толщина должна быть по крайней мере вдвое больше диаметра отверстия капилляра.

Водомерные трубки: диаметр от 10 до 30 мм, толщина стенок составляет $\frac{1}{8}$ диаметра; часто покрыты с одной стороны белой эмалью. В большинстве случаев из очень тугоплавких стекол.

Тонкостенные трубки: наружный диаметр < 10 мм, толщина стенок $< 0,4$ мм.

Трубки первого и второго типа, а также стеклянные палочки можно изготовлять машинным способом (горизонтальная машина Даннера, вертикальная машина Шуллера). Обычные допуски на равномерность поперечного сечения и толщину стенок у машинотянутых труб меньше, чем при ручном вытягивании. Для диаметров труб, превышающих 60 мм, пользуются исключительно ручным методом вытягивания.

Основные сорта стекол, применяемые при машинном изготовлении стеклянных трубок:

- 1) не содержащие свинца, легкоплавкие стекла: LR- и AR-стекло Рур, нормальное стекло осярам, GW-стекло;
- 2) содержащие свинец стекла: М-стекло, Филипс-стекло, P56;
- 3) тугоплавкие стекла: дурап-стекло, приборное стекло 20, разотерм 20, приборное стекло специального назначения, пирекс, пирекс специального типа, феникс, R-стекло.

Начинающим рекомендуется применять тугоплавкое стекло, в котором возникающие натяжения не так легко вызывают излом благодаря малому коэффициенту линейного расширения.

Набор основных и вспомогательных инструментов при стеклодувных работах очень невелик: для работ на стеклодувном столе

пользуются пламенем настольной газовой горелки с дутьем, «лампь», а для работ на стационарных стеклянных установках служит переносная ручная горелка с регулируемым пламенем и дутьем.

В большинстве случаев можно довольствоваться настольной горелкой с регулируемым дутьем, какие обычно применяются в лабораториях для прокаливания или нагревания тиглей и т. п. Для того чтобы иметь возможность менять длину и объем пламени, целесообразно применять насадки (сопла) с отверстием различного диаметра.

В том случае, если нет газа, для дутья стекла можно пользоваться пропаном, получающимся как побочный продукт при синтезе бензина. Ранее встречавшиеся трудности, связанные со слишком малой скоростью сгорания, в настоящее время устранены благодаря целесообразной конструкции смесительной камеры с газовоздушной регулировкой. Пропан только при определенном соотношении с воздухом дает необходимую скорость горения, которая, во-первых, устраняет срыв пламени и, во-вторых, обеспечивает достаточно резкое острое пламя. Нововведенная смесительная камера обеспечивает наиболее благоприятные соотношения газа и воздуха для различной величины пламен.

Помимо ножа для резки стекла и точильного камня при нем, необходимы шаблоны — различной величины треугольники из латунной пластины на деревянных рукоятках; при работе, во избежание прилипания к вязкому стеклу, их следует время от времени покрывать воском. С помощью этих шаблонов производится отделка кромок, их отбортовка и придавливание, расширение концов труб. Кроме того, необходимо иметь стеклодувные пинцеты с надежными железными (изогнутыми) концами и термоизолированной ножкой; в крайнем случае можно ограничиться медицинским пинцетом длиной 20—30 см с округленными концами. С помощью пинцета можно удалять излишнее количество еще не затвердевшего стекла или зажимать отверстия; эти пинцеты служат также для сдавливания стеклянных палочек при запаивании небольших отверстий или для «спивания» трещин. Для работ на стационарных стеклодувных аппаратах пинцет, наряду с ручной горелкой, является наиболее важным инструментом.

Стеклодувный стол и стул должны находиться в месте, свободном от сквозняков, и не на солнечном свете. Высота стола и стула должна быть такой, чтобы при работе можно было свободно опереть локти на стол. В том случае, если отсутствует обычный воздуходувный насос, можно использовать водоструйный насос. Хорошо зарекомендовал себя насос Фридрикса — Алтингера, в котором водоструйный насос, имеющий на конце спиральную стеклянную трубку, вставлен внутрь стеклянного сосуда (разделителя) с трубками сверху для выхода воздуха и внизу для отвода воды; благодаря центробежному ускорению, которое приобретает засасываемый воздух, этот насос имеет высокую производительность (рис. 1,13).

В простейших случаях можно довольствоваться водоструйным насосом, соединенным со склянкой Вульфа, как показано на рис. 1, 14. Вода здесь собирается на дне сосуда и выгоняет засасываемый насосом воздух через второй тубус вверх. Путем дросселирования стока воды и ограничения отбора воздуха давление внутри сосуда может быть поднято до желаемой величины. Надо иметь, однако, в виду, что при чрезмерном дросселировании и при большом расходе

воздуха уровень воды поднимается слишком высоко, так что вода может попасть в трубку, отводящую воздух.

Если при обработке какой-либо детали необходимо предохранить ее от влаги, например от дыхания, то воздух можно осушить, пропуская его через осушитель с хлористым кальцием. Также можно подвесить к закрытой трубке резиновый мешок, который при надувании повышает давление в обрабатываемой детали.

Начинающему важно знать, что стеклянную трубку необходимо непрерывно вращать в пламени. При изменении режима дутья об этом вращении часто забывают, что может нанести вред уже начатой работе. Стеклянную трубку охватывают сверху пальцами левой руки так, чтобы она лежала на согнутом среднем и безымянном пальце; вращают ее с помощью большого и указательного пальцев.

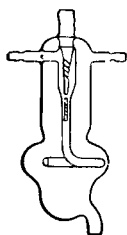


Рис. 1.13. Водоструйный насос для дутья.

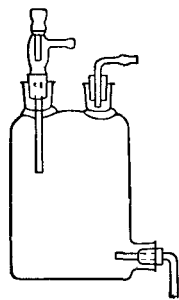


Рис. 1.14. Простой водоструйный прибор для дутья.

Важно обеспечить по возможности равномерное вращение. Основы стеклодувного искусства лучше всего изучить, оттягивая кончики трубок. Если начинающему удастся у 10-мм трубы оттянуть симметричный по форме, не очень резко суживающийся конусообразный конец, то начальные основы стеклодувного искусства можно считать освоенными. Далее, важно знать, что стеклянную трубку сначала надо прогреть на холодном, копящем пламени, прежде чем подвергать ее дей-

ствию полного пламени газовой горелки. Наиболее горячей частью пламени, как известно, является конец голубого конуса. Трескаются трубки в большинстве случаев вследствие слишком внезапного их нагревания. Вообще, можно сказать, что опасность растрескивания трубки уже миновала, если пламя окрасилось в желтоватый цвет испаряющимися щелочными ионами. Равномерное вращение весьма затруднено в том случае, если стеклянное тело имеет стенки неравномерной толщины или если оно отклоняется от прямолинейной формы. Но здесь может помочь только практика.

Особого обращения требует свинцовое стекло, которое нетрудно узнать по быстрому почернению краев при легком плавлении. Для обработки свинцового стекла необходимо сильно окисляющее пламя, т. е. пламя с избытком воздуха или добавлением кислорода. Свинцовые стекла легко соединяются с металлами и стеклами других сортов и поэтому часто применяются в качестве «переходных стекол».

Если в изделии имеются утолщения, они должны быть раздуты, так как неравномерные места на стенках приводят к возникновению напряжений, которые в результате являются причинами появления трещин и разломов. Для того чтобы возникающие напряжения по возможности сгладить еще в процессе дутья, в особенности у толстостенных приборов, их необходимо после изготовления в течение нескольких минут охлаждать в копящем пламени. Если дело каса-

ется внутренних спаев или очень сложных стеклянных конструкций, то для их охлаждения необходимо иметь в своем распоряжении особую печь или соответствующий футляр. Сравнительно просто здесь можно помочь себе таким приемом: из листового материала делают широкую гильзу, диаметром 60—80 мм, к дну которой в качестве ручки прикрепляют отрезок полосового железа; внутри гильзу обкладывают толстым асбестовым картоном и перед употреблением держат ее отверстием вниз над пламенем горелки до тех пор, пока ее внутренняя полость не раскалится докрасна. Вслед за этим горячую стеклянную деталь вносят в гильзу, закрывают горячим асбестом и держат там до полного остывания.

Температуры снятия напряжений для различных сортов стекла зависят в основном от критической точки стекла. Толстостенные стеклянные приборы требуют вообще значительно более длительного отжига, чем тонкостенные. Для обычного приборного стекла 3-го гидrolитического класса при толщине стенок до 2 мм и температуре снятия напряжений 550° С можно получить полностью свободное от напряжений стекло уже после двух часов охлаждения; подобные же приборы при толщине стенок примерно от 6 до 8 мм должны охлаждаться по меньшей мере 4,5 часа. Остаются ли напряжения в стекле после отжига, проверяют в поляризованном свете, например, рассматривая стекло в различных положениях между пластинками поляроида.

При стеклодувной обработке стационарной аппаратуры и длинных трубок целесообразно пользоваться ручной горелкой. При этом горелка перемещается, а стеклянный прибор или стационарный трубопровод закрепляются на штативах. Простая ручная горелка состоит из двух латунных трубок длиной примерно 20 см и внутренним диаметром около 4—5 мм, которые на большей части своей длины принаены друг к другу и только на концах, где должны быть насажены планги для газа и воздуха, несколько отходят друг от друга (рис. 1,15).

Недалеко от верхнего края трубки *G* (газ) имеется боковое отверстие диаметром 4 мм, направленное в сторону трубки *L* (воздух), в обеих стенках которой против середины отверстия в *G* также делается сквозное отверстие диаметром $1\frac{1}{2}$ —1 мм. Такая горелка имеет то преимущество, что ее удобно держать в руке и с ней легко работать благодаря ее малому весу; она дает хорошо заостренное пламя. Для того чтобы продуть отверстие в отрезке стеклянной трубки, на его открытый конец надевают тонкий резиновый планг, другой конец которого берут в рот, вслед за чем нагревают до размягчения часть стеклянной трубки, где требуется сделать отверстие, и дуют в планг. Тонкие отверстия можно прокалывать, пользуясь раскаленным металлическим острием. Кроме того, Мюнсон [2] для той же цели предложил пользоваться общеизвестным свойством сильных высокочастотных полей пробивать маленькие отверстия. Таким путем могут быть просверлены отверстия диаметром от 1 до 20 мк. В качестве электродов служит жесткая платиновая или золотая проволока диаметром 0,1 мм, вплавленная в кварцевый капилляр. Чтобы избежать трещин в стекле, опыт следует проводить при

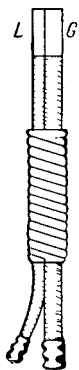


Рис. 1,15.
Ручная паяльная горелка.

температуре (приблизительно) 300° С. Если необходимо снова закрыть отверстие, то это достигается соответствующим сплющиванием целого куска трубки, а также стягиванием отверстия тонким стеклянным стержнем соответствующего диаметра. Часто необходимо обрабатывать на горелке капиллярную трубку, причем иногда требуется определить диаметр капилляра в ней. Для этого целесообразно применять следующие методы.

а) *Непосредственное измерение* игольчатым щупом или с помощью микроскопа. Этим путем можно только определить размер на концах капиллярной трубки. Во многих случаях этого недостаточно вследствие того, что при ручном вытягивании трубок нельзя достичь абсолютной неизменности сечения их капилляра.

б) *Косвенные измерения*. 1) По высоте подъема жидкостей, например 96% спирта, для которого имеет место формула

$$d = \frac{11,4}{h},$$

где d — диаметр капилляра, h — высота подъема спирта; всё в мм. При измерении вводят капиллярную трубку одним концом в плоский стеклянный сосуд, содержащий слой 96% спирта толщиной 1—2 см. Время установления уровня в некоторых капиллярах достигает 2 часов.

2) По сопротивлению потоку движущегося газа. В этом случае пропускают воздух или какой-либо другой газ под постоянным давлением через два последовательно включенных капилляра и измеряют перепад давлений, который пропорционален сопротивлению потока. Это измерение дает квадрат средней площади поперечного сечения.

3) По весу ртутного столбика, определив предварительно его длину в капилляре.

4) По электрическому сопротивлению наполненных ртутью капилляров. Это измерение дает среднюю площадь поперечного сечения.

Наименьший диаметр d , который можно получить при изготовлении капилляра на стекольном заводе, составляет 0,02—0,03 мм. В настоящее время изготавливают также капилляры четырехугольного сечения, однако с большими отверстиями. Отверстия менее 0,02 мм диаметром в небольших отрезках можно получить путем равномерного нагревания трубки стеклодувной горелкой, а затем очень быстрого растягивания нагретого места. При этом надо обращать внимание на то, чтобы отверстие капилляра не заплывало полностью.

Б) Обработка поверхности стекол

а) Во многих случаях необходимо очищать поверхность стекла от загрязнений, всегда имеющих место. Жиры и углеводы лучше всего смывать бензин-спирт-эфирными растворителями. Перед употреблением обезжиривающего средства рекомендуется проводить легкое травление поверхности разбавленной плавиковой кислотой. Разбавленная до нескольких процентов плавиковая кислота разъедает незначительный слой стекла и устраняет загрязнения и другие примеси. Споласкивание в спирте — эфире удаляет частички жира.

Для повышения химической и электрической прочностей стекла применяется обработка его силиконами. Более легкоплавкие стекла при длительном хранении обнаруживают склонность к гидролизу вследствие всегда имеющейся на поверхности влаги. Это уменьшает поверхностное сопротивление. Изолирующие свойства стекла определяются не столько его внутренним, сколько поверхностным сопротивлением. Само по себе стекло является превосходным изолятором, однако обладает неприятным свойством конденсировать на поверхности воду, вследствие чего образуется электролитическая пленка. Снижение поверхностного сопротивления является причиной появления уже при низких температурах поверхностных токов или даже пробоя. При действии высоких напряжений целесообразно покрывать стекло силиконами. Это существенно увеличивает поверхностное сопротивление. Поверхностное сопротивление силиконизированного стекла остается постоянным даже при повышенной относительной влажности (рис. I,16).

Этот неожиданный эффект находит ряд технических применений, например для поддержания постоянным напряжения зажигания трубок или ртутных контактов. К сожалению, силиконизация еще недостаточно устойчива. При действии высоких напряжений тихий разряд или тлеющий разряд разрушает слой силикона; кроме того, силиконы нестойки против атмосферных влияний.

Оправдал себя следующий метод силиконизации: стекло очищается плавиковой кислотой, продолжительное время высушивается при 180°C и покрывается слоем жидкого силикона. Полностью смоченные силиконом детали выдерживаются затем в сушильном шкафу в течение трех часов при 250°C или в течение четырех-шести часов при 200°C . Силиконизированные стеклянные изделия не обнаруживают поверхностного натяжения. Поэтому в силиконизированных измерительных приборах не наблюдается остаточных явлений.

б) *Полупроводниковые слои на стекле.* Часто бывает необходимым сделать поверхность стекла электропроводящей. В свинцовых или висмутовых стеклах это нетрудно получить, если их подвергать при высоких температурах многочасовому восстановлению в потоке водорода. Появляющийся при этом на их поверхности черно-серый слой является проводящим.

Полупроводящие слои с хорошей проводимостью можно также получить, вводя в поверхность стекла некоторые материалы, не

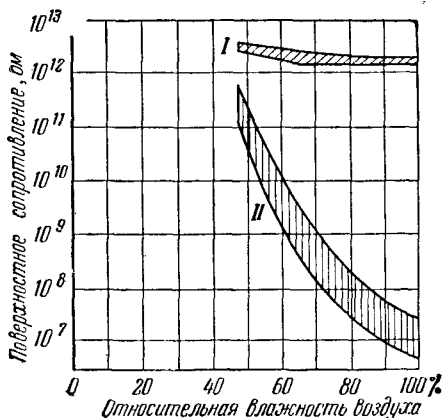


Рис. I,16. Поверхностное сопротивление силиконизированных и несиликонизированных стекол в зависимости от влажности воздуха: I — силиконизированные; II — несиликонизированные.

содержащиеся в нем. Для этого можно пользоваться методом, примененным еще в середине века при изготовлении ирризирующих покрытий. Для этого применяются хлористые соединения олова и треххлористый индий. Известно три технических способа:

1. Стекланную деталь (лучше всего из твердого стекла) нагревают до 500°C или выше и опускают затем в спиртовой уксуснокислый раствор четыреххлористого олова.

2. При температуре примерно 700°C распыляют двуххлористое олово (оловянную соль) и направляют образовавшиеся пары в воздушной струе на горячий стеклянный предмет. Метод особенно пригоден при обработке полых стеклянных предметов.

3. На разогретый стеклянный предмет с помощью пульверизатора наносят водный солянокислый раствор четыреххлористого олова. Толщина слоя может быть определена путем наблюдений в белом свете интерференционных цветов различных порядков [3]. Проводящие слои см. стр. 87.

В) Резка стеклянных трубок и их соединение посредством шлифов

Стекланные трубки диаметром до 2 см при толщине стенок до 2 мм проще всего резать следующим приемом: на трубке наносят в месте разреза поперечную риску (царапину) с помощью стекольного ножа; затем, осторожно сгибая трубку в месте надреза, одновременно сильно растягивают ее в противоположные стороны — трубка обычно разрывается точно по надрезу. Если же этим приемом не достигается желаемый результат, то к месту надреза следует приложить раскаленную капельку стекла. Если затем подуть на это место, то возникает поперечная трещина, которая, однако, не всегда охватывает всю трубку. В этом случае можно или прикладывать раскаленные капельки стекла к концу трещины, которая при этом удлиняется, или попытаться разорвать трубку, растягивая обе ее части в противоположные стороны. Для того чтобы разрезать трубку диаметром свыше 2 см, на ней также делают риску; после этого берут железную проволоку диаметром около 3 мм, на концах которой сделан полукруглый изгиб (так называемый крючок), и, разогрев ее крючок до яркого каления, быстро прикладывают к нему трубку, местом надреза и вращают ее вокруг оси. Для обеспечения успеха крючок должен плотно охватывать трубку. Обычно трубка раскалывается по надрезу, когда крючок уже потемнеет.

Часто бывает необходимо разрезать трубку на маленькие куски; для этого пригоден приспособление, состоящее из контактного зажима и петлеобразно установленной проволоки, раскаливаемой током. В этом случае проволоку можно по всей ее длине уложить вокруг стеклянной трубки. Ток можно включать и выключать с помощью контактного зажима. Трубки с большой толщиной стенок разрезают с помощью шлифовального круга или алмазной пилы.

Во многих случаях необходимо отпаивать отдельные детали от вакуумной установки при помощи горелки. Так, например, если необходимо расплавить и оттянуть находящуюся под вакуумом соединительную капиллярную трубку, то в месте оттягивания трубку размягчают пламенем на протяжении по меньшей мере 1—2 см. Однако еще раньше, чем капилляр начинает заплывать в этом месте, нагревание следует прекратить для того, чтобы с помощью насоса

удалить газ, выделяемый стеклянными стенками при нагревании. Затем снова нагревают капилляр и, начиная со стороны отделяемой части, постепенно заправляют его. Важно начинать с места, ближайшего к отделяемой части, и идти в направлении к насосу, так как в противном случае газы, выделяющиеся при заправлении капилляра, ухудшают вакуум в отпаяваемой части. Для того чтобы обеспечить надежное заглавление капилляра, рекомендуется на его оттянутом кончике наплавить маленькую стеклянную канельку. В литературе описан способ заглавливать стеклянные капилляры в вакууме нагреванием катодными лучами, которые фокусируются вогнутым электродом на заглавливаемом месте капилляра [3а].

Хотя припайание и отпайка отдельных частей аппаратуры рассматривается как самый надежный и безупречный способ соединения стеклянных трубок, все же соединение трубок резиновыми плангами вследствие простоты находят наиболее широкое применение. Там, где возможно, стекло должно касаться стекла так, чтобы газы или жидкости лишь на небольших участках касались резины. В настоящее время все большее применение находит способ соединения шлифами благодаря их химической индифферентности. Известны шлифы плоские, цилиндрические, сферические и конические. Конические шлифы находят в лабораториях наиболее широкое распространение. Раньше на протяжении десятилетий применялись различные невзаимозаменяемые конические шлифы, но в настоящее время все шире входят в употребление взаимозаменяемые стандартные шлифы.

В табл. 1,15—17 приведены некоторые из стандартных шлифов.

Таблица 1,15

Стандартные шлифы NS 1 : 10

Больший Ø, мм	5	7,5	10	12,5	14,5	19	24	29	34,5	45	60	70	85
Высота, мм	12	12	17	20	23	26	28	32	34	40	50	55	60
Обозн. по DIN 12248	NS 5	NS 7,5	NS 10	NS 12,5	NS 14,5	NS 19	NS 24	NS 29	NS 34,5	NS 45	NS 60	NS 70	NS 86

Таблица 1,16

Стандартные шлифы для высокого вакуума

	NS 1 : 10				NS 1 : 5			
Больший Ø, мм	12,5	14,5	19	29	45	60	75	90
Высота, мм	32,5	35	38	42	50	50	65	75
Меньший Ø, мм	9,2	11	15,2	24,8	40	50	62	75

Иногда в приборах вследствие тепловых или каких-либо других действий необходима некоторая подвижность отдельных частей; в этих случаях оправдывают себя шарообразные шлифы. Употребительны следующие типы:

Шарообразные шлифы

Обозначение	12/5	18/7	18/9	28/12	28/15	35/20	35/25	40/25	50/30	65/45
Диаметр пара. мм	12	18	18	28	28	35	35	40	50	65
Внутр. диаметр трубки, мм	5	7	9	12	15	20	25	25	30	45

В немецких стандартах установлено такое правило: несмазанная пара шлифов считается вакуумно-плотной в том случае, если ртуть, находящаяся под давлением 1 атм и при температуре 20° С, не затягивается внутрь шлифов. Эфирно-плотной парой шлифов считается такая несмазанная пара шлифов, которая, закрывая сосуд с эфиром в продолжение 10 суток при температуре 20° С, обеспечивает столь незначительное уменьшение количества эфира, что при измерении какими-либо простыми приборами установить это не удается.

Очень часто не смазанные жиром шлифы через некоторое время теряют подвижность. Это обусловлено гидролитическим разложением стекол, они «прочно въелись». Для восстановления их подвижности следует, осторожно нагревая муфту шлифа, одновременно постукивать ее куском дерева. В особенно тяжелых случаях рекомендуется применять некоторые специальные приспособления.

Г) С п а й к а с т е к л а и м е т а л л а [4]

В связи с быстрым развитием техники высокого вакуума все большее значение приобретает пайка стекла и металла. Для вакуумно-плотных металлических впаек применяют только такие стекла и металлы, которые отвечают следующим требованиям:

а) Металл должен быть предварительно обработан так, чтобы при сплавлении он не выделял никаких газов.

б) Коэффициент расширения металла должен приблизительно соответствовать коэффициенту расширения стекла в пределах до точки размягчения стекла.

в) Если зависимость расширения от температуры металла наруживает точку излома, то эта точка должна лежать не ниже критической точки стекла.

г) При обработке пламенем металл должен образовывать пленку окисла, которая растворяется в стекле.

Необходимо следить за тем, чтобы возникающие при нагревании напряжения не превосходили максимально допустимых. Вследствие малого предела прочности стекла на разрыв (примерно 5 кг/мм^2) места соединения стекла с металлом особенно подвержены разрушению. К нормальному давлению стекло относительно мало чувствительно (предел прочности на сжатие примерно 50 кг/мм^2). Имеются три возможности надежного сплавления металлов в стекле:

1. Металлическая деталь выбирается очень тонкой, так что критические напряжения выравниваются пластичной податливостью металла. Примеры: сплавление медных пластин с заострен-

ными краями или тонких проволок в различные сорта стекол или сплавление молибденовой фольги в кварцевое стекло.

2. Сплавление и соединение стекла с металлом посредством сплавления под давлением, например железо снаружи, стекло внутри, или горячая посадка стеклянного кольца на металлическую болванку, а на стеклянное кольцо — металлического кольца.

3. Соединение стекла с металлом при помощи металлов и сплавов, тепловое расширение которых такое же, как у стекла. Этот способ применяется чаще всего, его можно рекомендовать начинающим.

Важное значение имеют еще следующие указания.

Тонкие платиновые проволоки можно впаивать в стекло вполне надежно в отношении вакуума, пользуясь двумя способами: один, при котором сначала проволоку впаивают в специальное стекло, которое затем уже после этой операции спаивается со вторым стеклом, и другой, при котором проволоку непосредственно впаивают в стеклянную трубку, имеющую тот же коэффициент расширения, что и платина. Для вайки платины первым способом пользуются в качестве мягкого стекла преимущественно свинцовым стеклом. Для этого берут сплошную палочку из свинцового стекла с оттянутым кончиком, хорошо размягчают ее в сильно окисляющем (большой избыток воздуха) пламени и осторожно обвивают проволоку расплавленным стеклом. Намотанное стекло сплавляется затем в небольшой цилиндр или шарик на наружном, также окисляющем кончике небольшого пламени. Если при этом, вследствие восстановления, на стекле появляется почернение, то его можно легко устранить соответствующей регулировкой окисляющего пламени.

Если проволоку необходимо впаивать непосредственно в трубку, то в последней делают небольшое отверстие, вставляют туда проволоку с наплавленным свинцовым стеклом и сплавляют это место, добавляя в случае необходимости еще некоторое количество стекла. Кроме платины, которая для начинающих является наиболее удобной для вайки, в последние годы для сплавления стали применять ряд других металлов и сплавов.

При сплавлении в мягкие стекла применяются металлы с коэффициентом линейного расширения $\alpha > 60 \cdot 10^{-7} \text{ град}^{-1}$. Тугоплавкие стекла (твердые стекла) требуют, вследствие их относительно высокой точки размягчения, значений коэффициента линейного расширения металлов $< 50 \cdot 10^{-7} \text{ град}^{-1}$. Из чистых металлов для твердых стекол применимы

вольфрам от 20 до 300° С $\alpha = 44 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,

молибден от 20 до 300° С $\alpha = 53 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$.

Так как вольфрам и молибден плохо обрабатываются и из них трудно получить колпачки и кольца, в последнее время для сплавления в твердые стекла было разработано большое количество легко обрабатываемых сплавов. Сплавы из железа, никеля и кобальта, известные под торговыми названиями «ковар», «фернико» и «вакон», стали важными материалами вакуумной техники. Они, прежде всего, отличаются тем, что при сплавлении образуется хорошо растворимая в стекле окись металла, поэтому одновременно создается промежу-

точное стекло, обеспечивающее устойчивый переход от металла к стеклу. Этот оксидный слой, возникающий при обработке в пламени, имеет особенно большое значение. Если, например, черная окись меди не образует раствора в стекле, то рубиново-красная закись меди растворяется в нем, поэтому при сплавлении меди со стеклом надо следить за образованием рубиново-красной окраски.

Часто при сплавлении стекла с металлом образуются бусинкообразные пузырьки газа. Опыт показывает, что их появление в большинстве случаев вызывается металлом. Если явление газообразования при сплавлении повторяется, то надо еще раз обработать металл в вакууме. Необходимо также тщательно осматривать стекло. Перед сплавлением стекло следует подвергать основательной очистке. Долго хранившиеся стекла часто загрязнены и покрыты пленкой воды. Это может существенно нарушать вакуум. После очистки стекла в разбавленном (3%) растворе плавиковой кислоты трубка или стержень хорошо высушиваются в пламени. Только после этого можно производить сплавление. При сильной токовой нагрузке и в особенности в высокочастотных полях существенное значение имеет поверхностное сопротивление стекла. О его величине можно судить по значению точки T_{k-100} . Это значение соответствует температуре, при которой удельное электрическое сопротивление стекла достигает значения $100 \text{ Мом} = 10^8 \text{ ом}$. Чем больше T_{k-100} , тем выше омическое сопротивление при температурных нагрузках.

Обычно температура T_{k-100} свинцовых стекол выше, чем стекол, не содержащих свинца. T_{k-100} легкоплавких стекол меньше, чем тугоплавких. Мягкие стекла, пригодные для сплавления с металлом, даны в табл. 1,18.

Границы применимости стекол ваковит 501 и 511 перекрываются и являются нерезкими. Прежде всего, перекрываются области применения тонких проволок. Во многих случаях для получения безукоризненного сплавления необходимо перед соединением со стеклом проводить в течение $\frac{1}{2}$ —1 час. термическую обработку металла при 800 — 1000°C во влажном водороде с последующим медленным охлаждением. Сплавы никель — железо и никель — железо — кобальт нельзя подвергать слишком сильному окислению. Правильным цветом сплавления является серый, а не черный. Если слой окиси имеет густую черную окраску, то он может легко отделяться. При этом нарушится герметичность. Если граница раздела между застывшими стеклом и металлом имеет серый цвет, то прочность максимальна.

Иногда оказывается необходимым удалить с металла слой окислы, возникающий при сплавлении. Это можно выполнить двумя путями:

1. При помощи восстановления. Металлическая деталь нагревается в атмосфере водорода до красного каления и в течение длительного времени обдувается увлажненным воздухом. При этом восстановление слоя окиси происходит тем быстрее, чем выше была взята температура.

2. При помощи травления. Для разрыхления слоя окислы обрабатываемая деталь кладется на 5—10 минут в ванну, содержащую примерно 20 вес. % серной кислоты, около 1% протравы, применяющейся для серной кислоты, остальное — вода; температура 80 — 90°C ; затем металл споласкивается водой и дополнительно

Таблица I, 18

Металл	Диаметр, мм	Коэффициент линейного расширения $\alpha, 10^7$ (20—400°C)	Стекло, фирма-поставщик	Коэффициент линейного расширения $\alpha, 10^7$ (20—400°C)	Точка превращения $T, ^\circ C$	T_{k-100}^1 , °C	$tg \delta \cdot 10^{-2}$ на 1 Мггц
Чистое железо (вакуумная плавка)	0, 2—2	135	4210/Шотт EIW-стекло Вертхейм	128 126	446 505	177 230	20
Ваковит 504 (вакуумная плавка)	0, 2—3	89	1611/Шотт NW-нормальное стекло стеклозавода Вертхейм	90 89	542 540	168 165	59, 5 60
Платина		95	LW-стекло стеклозавода Вертхейм	97	520	250	83
Ваковит 511 (вакуумная плавка)	0, 2—3	101	AR-Рур-стекло 2962П/Шотт GW-стекло Вертхейм	95 94 95	520 507 525	200 185 205	— — —
Ваковит 540 (0,25) (вакуумная плавка)	0, 2—3	107	MGR-стеклозавод Рур М-стекло Осрам MV-стекло Вертхейм	98 100 99	484 425 420	— 300 280	— — —
Провод, медное покрытие (Осрам)	1—3	95	NW-стекло Вертхейм MW-стекло Вертхейм 1611I стекло Шотт	89 99	540 420	165 280	60
Харкорт GW	1—3	108	GW-стекло стеклозавода AR-стекло стеклозаводов Рур MGR-стекло стеклозаводов Рур	95 98	520 484	200 —	— —

1) T_{k-100} — температура, при которой удельное сопротивление стекла равно 100 Ом·см.

2) $tg \delta$ — тангенс угла диэлектрических потерь при частоте 1 Мггц и при комнатной температуре.

протравляется в разбавленной азотной кислоте (1 часть азотной кислоты, 2 части воды, температура около 70° С).

Обработка в ванне не должна быть продолжительной, чтобы не вызвать слишком сильного разрушения металла. Далее, деталь снова споласкивается водой и на короткое время опускается в разбавленную соляную кислоту (1 часть соляной кислоты и 1 часть воды, комнатная температура). После основательного обмывания водой следует тщательная сушка.

Этот метод травления применим к ваковитам 501, 511, 540 и вакону.

При сплавлении твердого стекла; в особенности с молибденом и вольфрамом, надо следовать еще таким указаниям.

Прежде всего из подходящего сорта стекла (см. табл. I, 19) изготовляют тонкостенную стеклянную трубочку, так что проволока как раз в нее проходит. Эта проволока предварительно осторожно

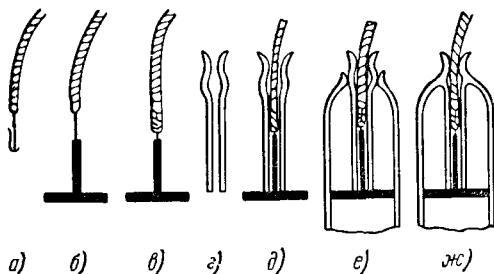


Рис. 1,17. Выплавление электродов.

нагревается в окисляющем пламени до появления темно-синего налета. Затем проволоку продвигают в трубочку и быстро сплавляют с ней на кислородной стеклодувной горелке. Стекла, предназначенные для сплавления с молибденом и вольфрамом, можно сплавлять и с другими сортами стекол, например с дураном или супермаксом. После сплавления вольфрамовая проволока должна быть оранжево-красной, а молибденовая — шоколадно-коричневой. На самой проволоке должны образоваться пузырьки. Для выбора материалов при сплавлении металлов с твердым стеклом служит табл. I, 19.

Очень часто приходится впаять маленькие электроды в рядные трубки. Поэтому следует сделать некоторые указания о наиболее целесообразном методе такой впайки; он иллюстрируется рис. 1,17. На рис. а изображен отрезок тросика, который припаян к выплавляемой платиновой проволоке. Впайка электрода (рис. б) лучше всего осуществляется следующим образом: алюминиевый штифт нагревают в пламени горелки до температуры, близкой к температуре плавления (около 550°), и доведенную таким же образом до светлого каления платиновую проволоку вдавливают на несколько миллиметров в размягченный алюминий. После этого проволоку и кусок тросика обволакивает расплавленным стеклом для впаивания (в), из которого заранее изготовили трубку с расширением на верхнем конце (з). Затем трубку (з) надевают на проволоку (д). Ту часть трубки, которая окружает наплавленное на проволоке стекло, осторожно нагревают в окисляющей части пламени

Сплавление твердых стекол с металлом

Металл	Диаметр, мм	$\alpha \cdot 10^7$ (20—400 °C)	Фирма- поставщик	Стекло	$\alpha \cdot 10^7$ (20— 400° C)	T g	T h-100	$\lg \delta \cdot 10$ на 1 мм ² г	Фирма-поставщик
Молибден	0,5—8	55	Планзее Рейттен/Г1	1447 1639 637h EW	51 50 51 51	516 525 550 500	197 232 245 320	67 — — —	Шотт, Майнц Шотт, Майнц Осрам, Берлин Стеклозавод Вертгейм
Вакоп 10 27% Ni 19% Co Остальное Fe	0,5—2	50	«Вакуумная плавка», Ханану	8243 1447	51 51	478 516	340 197	18 67	Шотт, Майнц Шотт, Майнц
Вакоп 12 28% Ni 18% Co Остальное Fe	0,5—2	47	«Вакуумная плавка», Ханану	756f 1447 Верс L C40	50 51 50 51	463 516 503 —	368 197 320 —	50 67 16	Осрам, Берлин Шотт, Майнц Баньо, Франция В.Т.Н., Честерфилд (Англия)
Вакоп 20 ¹⁾ 28% Ni 21% Co Остальное Fe	0,5—2	63	«Вакуумная плавка», Ханану	2954 III R-стекло	64 56	584 560	139 200	— —	Шотт, Майнц Стеклозавод Вертгейм
Вольфрам	0,5—2	42	немецкие за- воды каче- ственных сталией Кульмбаха	1646 8212 712	44 41 42	515 505 565	250 397 343	— 20 —	Шотт, Майнц Шотт, Майнц Осрам, Берлин

1) Применены также к стеклам, которые допущают соединение с фарфором.

и сплавляют без образования пузырьков со стеклом, наплавленным на проволоке. Затем электрод вводится в приготовленную стеклянную трубку (е), имеющую сверху соответствующее отверстие.

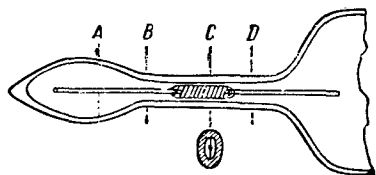


Рис. 1,18. Вплавление электродов в кварцевое стекло при помощи молибденовой фольги.

Вслед за этим сплавляют край отверстия с трубкой на электроде (жс).

Кроме вплавления, в настоящее время широко применяется наплавление. Применяемые материалы требуют при этом соответствующей предварительной обработки. Наплавляемое медное кольцо должно быть соответственно изготовлено и подготовлено к процессу наплавки. Важным здесь явля-

ется то обстоятельство, что эластичность меди при термообработке так велика, что растрескивание стекла можно устранить. Такие поверхностные наплавки можно производить также на кварце, применяя молибденовую фольгу.

Этот прием изображен на рис. 1,18: сначала к отрезку молибденовой или вольфрамовой проволоки приплавляются молибденовые фольги толщиной 15 мк и шириной 4 мм с небольшой прокладкой из платиновой фольги. Сплавливаемое место подготавливается таким образом, что между В и D кварцевая трубка сплюсчивается, как показано в разрезе, затем в нее вводится армированная фольга, и трубка откачивается. Последнее необходимо для предохранения фольги от окисления. Затем кварцевую трубку, между В и D нагревают пламенем гремучего газа настолько, чтобы обеспечить прилипание кварцевого стекла к фольге. Затем колпачок А можно отрезать, а кварцевую деталь подвергнуть дальнейшей обработке.

Несмотря на то, что коэффициент теплового расширения молибдена почти в девять раз превосходит коэффициент расширения плавленного кварца, подобные спайки весьма надежны и нечувствительны к температуре. Они выдерживают ток силой во много ампер.

Зависимость допустимой токовой нагрузки от диаметра вплавленной проволоки из вольфрама, молибдена, меди и константана изображена на рис. 1,19.

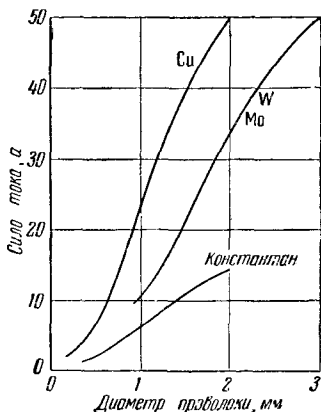


Рис. 1,19. Токовая нагрузка однопроводных вводов.

Д) Вплавление вводов в стекло

В последнее время в радио- и высокочастотной технике применяются стеклянные проходные изоляторы, для которых имеются соответствующие стандарты. Этот метод ввода легко осуществляется

при помощи вспомогательных приспособлений и применяется поэтому при изготовлении конденсаторов, трансформаторов, сопротивлений и других деталей электротехнических устройств. Такой стеклянный ввод состоит из пригодного для впайки плотного в отношении вакуума стеклянного изолятора, в который введено два или большее количество коаксиальных металлических частей. Это дает возможность получать надежно изолирующий ввод электрических проводников и заключать последние в металлический футляр, предохраняющий чувствительные части прибора от внешних воздействий. Для ввода применяются специальные температуростойкие сорта стекол с высокими изолирующими качествами. Недавно для одиночных и многопроводных вводов стали применять спекающееся стекло. Этим достигается высокая по сравнению с прозрачным стеклом механическая и термическая прочность.

В зависимости от формы и сорта стекла можно отметить следующие электрофизические свойства стеклянного ввода:

1. Удельное сопротивление стекла от $0,6 \cdot 10^{12}$ до 10^{13} ом·см.
2. Допустимая температура при длительной работе:
 - а) легкоплавкие соединения от -70 до $+150^\circ$ С;
 - б) тугоплавкие соединения от -70 до $+300^\circ$ С.
3. Максимальная пробивная прочность при 760 мм рт. ст. и при пути скользящего разряда 20 мм около 1 кв/мм.
4. Средняя пробивная прочность около 40 кв/мм.
5. Зависимость рабочего напряжения от пути поверхностного разряда по стандарту (табл. I,20).

Таблица I,20

Путь поверхностного разряда, мм	Рабочее напряжение (50 гц), в	Постоянное рабочее напряжение, в
1	125	110
2	380	440
3	500	600
4	750	800
6	1000	1200
10	1500	1500
14	2000	2200
20	3000	3000
36	6000	6000

Е) Соединение стекло — металл — фарфор

Повышение электрических нагрузок вызвало введение керамических материалов в вакуумную технику. Кроме обычных фарфоров и допускающих высокие нагрузки металлических окислов, таких, как окись циркония ($t_{пл} \sim 2700^\circ$), окись магния ($t_{пл} \sim 2810^\circ$), окись тория ($t_{пл} \sim 3000^\circ$), окись титана ($t_{пл} \sim 1775^\circ$, конденса), в последнее время признанием получили магниевые силикаты. Это произошло главным образом потому, что последние могут быть легко сплавлены со

стеклянными трубками, обеспечивая надежные в отношении вакуума переходы от металла к керамике. Для впайки необходимо выбрать такой сорт стекла, коэффициент расширения которого был бы меньше, чем коэффициент расширения применяющейся при этом керамики [5].

Возможные соединения керамических материалов с соответствующими сортами стекла можно определять из табл. 1,21.

Таблица 1,21

Керамическое вещество	Изготовитель	Коэффициент линейного расширения $\alpha \cdot 10^7 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Сплавливается со стеклом сорта	Завод
Фреквента DIN 40685	Стеатит-магнезия АГ	79	R-стекло 2954 III	Стеклозавод Вертхайм Шотт, Майнц
Стеатит G19	Стеатит-магнезия АГ	94	GW NW 16 III	Стеклозавод Вертхайм Шотт, Майнц
Икан	Стеатит-магнезия АГ	52	EW 3891 1546	Стеклозавод Вертхайм Шотт, Майнц

В отличие от стекла, из этих материалов можно изготавливать детали сложной формы с относительно малым разбросом параметров. Они находят важное применение при постройке реакторов.

В калит 610 с коэффициентом расширения $68 \cdot 10^{-7} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$ можно вплавлять вагон 20, а в калит 123 может быть расплавлен молибден при добавлении молибденового стекла для впаивания. Непосредственное сплавление металлических проволок с керамикой целесообразнее всего производить в электрической печи. Прежде всего на вплавляемую проволоку, например вагон, следует наплавить с помощью газовой горелки капельку из молибденового стекла. Кроме того, в керамической пластинке необходимо приготовить соответствующее отверстие, которое следует предварительно отглазуровать. Для глазуковки служат или мелко истолченное порошкообразное молибденовое стекло, или соответствующее стекло для впаивания, замешенное с небольшим количеством скипидара; тонкой волосяной кисточкой их наносят на глазуруемую поверхность. Процесс глазуковки заканчивается прогреванием керамической детали до температуры $900\text{--}1000^\circ\text{C}$, лучше всего в небольшой печи. Вслед за этим в электрическую печь вносят керамическую пластину со вставленными в нее проволоками, располагая ее горизонтально, так, чтобы проволоки при размягчении наплавленного на них стекла впились в соответствующие отверстия.

Помимо сплавления проволок с керамическими пластинами в лабораторной практике часто встречается сплавление керамических пластин со стеклянными трубками (рис. 1,20).

Непосредственное приплавление пластинок к стеклянным трубкам затруднительно, так как при этом не удается избежать растрескивания пластинок вследствие слишком большой разности температур между краями пластины и ее серединой. Поэтому трубку следует предварительно подготовить, как это показано на рисунке. В кольцевую канавку заливают легкоплавкий металлический сплав, который расплавляется затем на соответствующем пламени до состояния настолько жидкого, что становится возможным прилипание пластины.

Если обнаруживается какая-либо незначительная неплотность, то ее устраняют или добавляя сплав, или при помощи пидцеина. Ничтожное количество паров, выделяющихся при этом, не оказывает сколько-нибудь заметного влияния.

Кроме этого приема, можно соединять стекло и фарфор еще при помощи металлического припоя. Для этого стекло и фарфор покрывают слоем серебра или платины. Металлизацию можно производить или химически, или, проще, выжигая металлы из соответствующих растворов. Металлические слои при этом получаются очень тонкими, поэтому их затем гальванически омедняют; после этого стекло можно спаивать обычным оловянным припоем с фарфоровыми трубками, обработанными предварительно таким же образом, или с металлическими деталями. Моррис [6] описывает соединение между коническим отверстием в плавяном кварце, с нанесенным на нем путем выжигания платиновым слоем, и металлическим конусом из инвара; это соединение в отношении высокого вакуума было вполне надежным в интервале температур от -196 до $+215^{\circ}\text{C}$.

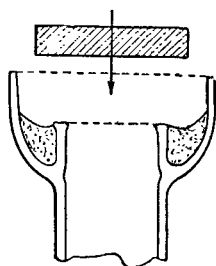


Рис. 1,20. Сплавление керамических пластинок со стеклянными трубками.

Вакуумно-плотное вмазывание окон из плавикового шпата [7] можно получать также при помощи хлористого серебра. В электрической печи при температуре около 470°C плавят хлористое серебро в канавке, сделанной в детали, до тех пор, пока оно не наполнит ее до краев. Затем после охлаждения накладывают на деталь пластинку из плавикового шпата и снова осторожно нагревают ее до расплавления хлористого серебра. Так как кристаллы плавикового шпата очень легко трескаются, то необходимо весь процесс нагревания вести крайне осторожно. Вмазывание окон из смеси магнезии и метасиликатов в железную трубу описано у Стронга и Бриса [8]. За последнее время стали получать прочные сплавления, применяя соответствующие стеклянные припои. В приведенной ниже табл. 1, 22 указаны припои, пригодные для большей части стекол, применяющихся в технике высокого вакуума.

В случае, если таких стеклянных припоев не окажется в наличии, то можно составить соответствующие эмалевые расплавы; так, например, 5 г промытой кремниевой кислоты, 16 г сурика и 4 г кальцинированной буры смешивают вместе в тигле и сплавляют на паяльной лампе. Этот стеклянный сплав начинает размягчаться при 350° , так что уже на бунзеновской горелке становится капельно-жидким. Он хорошо пристаёт к обычному стеклу с

Таблица 1.22

Обозначение	Коэффициент расширения $\alpha \cdot 10^7 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$	Точна вращения, $^\circ\text{C}$	Температура размягчения, $^\circ\text{C}$
F14	105	340	350
F309	90,0	388	397
W15	76,5	411	455
1579	55,7	453	495
1411	52	518	544
1403	45	551	577

коэффициентом расширения, превышающим $90 \cdot 10^{-7} \text{ град}^{-1}$, а также к таким металлам, как железо, медь и латунь.

Мак-Келви [9] дает следующий рецепт: равные весовые части окиси цинка, кальцинированной буры и порошка натрового стекла перемешивают и сплавляют вместе. Различные встречающиеся в литературе советы замазывать трещины в стеклянной аппаратуре густыми растворами жидкого стекла и затем нагревать их в пламени не приводят к удовлетворительному результату в применении к обычным стеклам. Этот метод можно успешно применять только для исключительно тугоплавких сортов стекла, как, например, пирекс и дуран.

Ж) Холодная обработка стекла

Если не имеется шлифовальных кругов, т. е. кругов из чугуна или из искусственного камня, вращающихся горизонтально или вертикально, то можно пользоваться массивной матовой пластиной зеркального стекла; так можно, например, выправлять не совсем ровные края стеклянных трубок, которые предстоит закрыть окошечком. На эту пластину зеркального стекла наносят небольшое количество наждака или карбида кремния с водой и трубку, захваченную возможно более низко, водят с легким нажимом по пластине, описывая небольшие круги. Вода добавляется в количестве, необходимом для равномерного распределения шлифующего порошка только по поверхности, на которой происходит шлифование. Подобным же образом получают матовую поверхность на стеклянных пластинках небольшой величины. В том случае, если нет искусственных полировочных материалов, можно удовлетвориться обычным мелким песком. Для устранения острых кромок пластины необходим вращающийся шлифовальный камень.

З) Сверление и резание стекла

На возможность получения в стекле при помощи электрического пробоя тончайших отверстий 10—20 μm было указано в разделе о стеклодувных работах [10].

Если в стеклянной пластине необходимо просверлить отверстие большого размера, то это делается посредством заостренной медной трубки и искусственных шлифовальных порошков. Для этого в токарный или сверлильный станок устанавливают трубку соответствующего диаметра и сверлят отверстие, подавая на нее кашеобразную массу из воды и наждака. Рекомендуется не сверлить отверстие

насквозь, а начинать сверление тем же приемом с обратной стороны, точно центрировав на ней инструмент. Маленькие отверстия можно сверлить небольшим твердым трехгранным напильником, остро заточенным на шлифовальном круге. Но этот процесс требует весьма много времени; в качестве смазывающего средства здесь следует применять скипидар или керосин. Значительно ускоряет процесс сверления применение сталей вида и сверл с алмазными кромками. С помощью видиа и титановых сталей можно не только сверлить отверстия в стекле, но и нарезать на нем резьбу.

В настоящее время все шире применяется сверление стекла ультразвуком, так как оно позволяет получать фасонные, следовательно, и квадратные отверстия. Ультразвуковой генератор мощностью 50 *вт*, работающий на частоте 20 000 *гц*, дает возможность получать квадратные отверстия с длиной стороны 6 *мм* (продолжительность сверления около 90 *сек*) и вырезать пластины $12,7 \times 0,5$ *мм*², продолжительность работы около 45 *сек*.

Если необходимо отполировать шлифовальный диск, сначала на нем следует получить тонкую шлифовку, выбрав соответствующий шлифующий материал. Только затем можно получить гладкую стеклянную поверхность с безупречным блеском, обрабатывая ее вращающимся фетровым диском, на который в качестве полирующего средства [11] наносится красная окись железа (крокус). Плоские стекла до толщины 4—5 *мм* можно

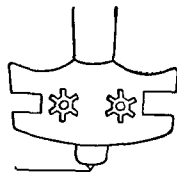


Рис. 1,21. Рабочее положение режущего алмаза.

проще всего резать алмазом или стальным колесиком. Такое «резание» основано на том, что алмаз или стальное колесико наносит на поверхности стекла надрез, который служит началом глубокой трещины. Рабочее положение режущего алмаза указано на рис. 1,21.

Хороший надрез (риска), нанесенный или алмазом, или ножом для стекла, почти невидим. Плохой надрез, процарапанный, кажется несколько белым вследствие отколовшихся по бокам мелких частичек стекла. При плохом надрезе стекло может разделиться не всегда по направлению, намеченному надрезом. Отделяя части стекла по надрезу, можно пользоваться тремя правилами: а) наложить пластину вдоль линии надреза на острый край (стола) и переломить ее легким нажимом книзу, б) приподнимая стекло с одной стороны за надрез, вызвать здесь образование сквозной трещины, которая затем побегит вдоль всего надреза, и в) вызвать образование сквозной трещины легким постукиванием стекла со стороны, противоположной надрезу, сначала на одном конце его, а затем тем же постукиванием прогнать эту трещину вдоль всей его длины [12].

Правильная установка алмаза зависит от вида его режущей кромки. Наиболее удачное положение алмаза и подходящее давление следует определить на практике. Для непривычной к алмазу руки легче пользоваться набором стальных колесиков. В нем имеются сменные стальные колесики, вращающиеся, как револьверный барабан. Кроме того, стальные колесики легче точить на шлифовальном камне [13].

От режущего алмаза следует отличать чертежный алмаз для стекла. Такой алмаз обычно имеет вид карандаша, на конце которого укреплен маленький осколок алмаза с острым углом. Чертежный алмаз служит исключительно для письма по стеклу или кварцу, а также

для нанесения делений. Для последней операции необходимо тщательно подобрать наиболее благоприятное положение острия. Нанесение тонких делений Кольрауш советует производить под слоем воды. Без особых трудностей можно с помощью правильно взятого в руку алмаза нанести деления с шириной линии в 0,1 мм. С помощью прибора К. Цейса можно довести толщину штрихов до 0,001 мм.

И) Травление стекла и плавленного кварца

Под травлением стекла понимают обработку его поверхности химическим путем. Наиболее известным является применение плавиковой кислоты. Фтористый водород, растворяя кремниевую кислоту и образуя фтористый кремний, разъедает поверхность стекла и кварца. Соответствующим выбором концентрации можно получить поверхности с различной степенью шероховатости.

Газообразный фтористый водород получают, смешивая в плоской свинцовой чашке порошок плавикового шпата с концентрированной серной кислотой; без нагревания реакция идет сравнительно медленно. Можно пользоваться и одной плавиковой кислотой, которая также выделяет фтористый водород. Для хранения плавиковой кислоты применяются каучуковые, свинцовые или сделанные из искусственных материалов бутылки, а также стеклянные сосуды, на стенке которых наносится толстый слой парафина.

Для предохранения частей стекла, которые не должны подвергаться травлению, на них наносят соответствующий защитный слой — «основу». Сравнительно просто составить такой защитный слой из равных частей пчелиного воска и парафина. Рецепт, предложенный Фриком: 4 части белого воска, 2 части мастики, 1 часть асфальта и 1 часть скипидара; эта смесь в течение ½ часа поддерживается в расплавленном состоянии. Затем сливают верхнюю часть расплавленного вещества в холодную воду и придают застывшей массе форму шарика величиной с куриное яйцо. Шарик кладут в шелковую тряпочку и смазывают ею предварительно нагретую стеклянную пластинку. Получаемый при этом на стекле чрезвычайно тонкий защитный слой вполне пригоден при простых травлениях.

Еще более простой защитный слой применяется при изготовлении термометров, это чистый воск, который в расплавленном виде наносится простой кисточкой на стеклянную пластину. Без особых трудностей можно, пользуясь тонкой иглой, нанести деления с интервалом 0,2 мм. Подготовленные таким образом стеклянные пластины или подвергают непосредственному действию плавиковой кислоты, или кладут их на некоторое время на края свинцовой чашки с плавиковой кислотой так, чтобы ее пары могли действовать на пластины по крайней мере в течение ½—1 часа. При непосредственном действии плавиковой кислоты для травления достаточно всего нескольких минут. Путем предварительных проб определяют зависимость между глубиной травления и временем.

Освобождать деталь от защитного слоя после травления можно двумя способами: 1) осторожно прополоскать ее в горячей воде, при этом слой воска расплавляется, и его можно потом снова собрать с поверхности воды, и 2) оставить пластину на некоторое время в холодной воде, в которую добавляют немного соды; вода, проникая под действием капиллярных сил между стеклом и защитным слоем, несколько приподнимает его, в результате слой легко снимается. По-

сле этого травленные места, а также и всю пластину следует осторожно протереть мягкой бумагой или тряпочкой. Если вытравленные штрихи желают только сделать более четкими, то в полученные углубления можно втереть черную или красную масляную краску, избыток которой удаляют при помощи жесткой бумаги.

Для того чтобы приготовить достаточно хорошее зеркальце для гальванометра, можно использовать так называемые покровные стекла для микроскопических препаратов. Такое стеклышко сплошь покрывают защитным слоем воска, накладывают на него в качестве шаблона кусочек круглой латуни (\varnothing от 5 до 10 мм) и, пользуясь разметочной иглой, проводят на стекле окружность. Затем следует довольно долго протравливать стекло в плавиковой кислоте. После промывания можно без труда выдавить обрисовавшийся на стекле диск. Несколько (5—10) таких дисков следует одновременно посеребрить и затем испытать их на плоскопараллельность. Для последней операции можно или отбрасывать на весьма удаленный экран пучок солнечных лучей, отраженный от зеркальца, — зайчик не должен быть искаженным, — или наблюдать в оптическую трубу изображение шкалы, — оно должно быть также свободным от искажений. В большинстве случаев получаются вполне удовлетворительные зеркальца.

Если не имеется в наличии так называемых дублированных молочных стеклянных шайб с тонким промежуточным слоем, то можно взамен их изготовить, также посредством травления, светопроницаемые матовые шайбы. Предназначенную для травления пластинку покрывают с одной стороны защитным слоем — для этого случая пригоден асфальтовый лак, — а другую сторону тщательно очищают слабой азотной кислотой или очень разбавленной плавиковой кислотой и промывают дистиллированной водой. Затем пластинку кладут этой очищенной стороной на свинцовую чашечку, которая служит для получения фтористого водорода (реакция между плавиковым шпатом и серной кислотой (см. выше)). Процесс идет медленно, и только по прошествии одного или двух дней травление можно считать законченным. Вообще же надо иметь в виду, что, пользуясь газообразным фтористым водородом, получают матовую поверхность, а при травлении в жидкой плавиковой кислоте поверхность остается прозрачной. Тонкие линии получают лучше всего травлением в разбавленной плавиковой кислоте [14].

В настоящее время тонкую гравировку на стекло можно нанести также, применяя песчаную струю и резиновые шаблоны. Простые пескоструйные пистолеты позволяют для матирования стекла все более широко пользоваться этим методом; их целесообразно заполнять карбидом кремния, так как при этом образование пыли отсительно мало.

При массовом производстве для гравировки стекла в настоящее время описан метод давления сеткой [15].

В заключение следует еще упомянуть об особых трубках, известных под названием трубок КРГ. Они изготовляются преимущественно из иенского приборного стекла 20, а также из мягких стекол III гидrolитического класса, например стекла AR или UW. Точность выполнения внутреннего диаметра составляет для этих диаметров $\pm 0,01$ мм. Для больших диаметров, которые, увеличиваясь, доходят до 80 мм, точность изготовления составляет $\pm 0,05$ мм.

Кроме круглого внутреннего канала можно изготовить также трубки с квадратным, шестигранным или коническим каналом с совершенно равномерным сужением. Трубки с квадратным поперечным сечением особенно пригодны для проекций.

Четырехгранные трубки КРГ изготавливаются преимущественно размерами между $4,5 \times 4,5$ и 30×30 мм² (внутренние стенки) и длиной между 70 и 250 мм. В настоящее время в продаже имеются также овальные трубки КРГ с отношением поперечных размеров 2 : 1.

К) Плоские стеклянные фильтры

В технической физике часто применяются плоские стеклянные фильтры. Чаще всего они изготавливаются посредством спекания из порошкообразного твердого стекла. Плоские фильтры выпускаются с различной величиной пор, от 1,5 до 500 мк. Появившиеся в продаже фильтры из спеченной стеклоткани выпускаются в виде плоских или искривленных круглых пластин 240 мм \varnothing или четырехугольных пластин с длиной стороны 240 мм. Имеются также фильтры в виде трубок и фильтровальных втулок до 70 мм \varnothing с величиной пор от 10 до 125 мк. Как плоские фильтры, изготовленные из порошка, так и фильтры из стеклоткани можно легко выплавлять в стеклянные трубки. В качестве последних, пригодных главным образом для фильтрации газа, можно применять трубки под марками AR и GW.

§ 4. Металлические покрытия

Металлические слои можно получать на очень большом числе самых разнообразных материалов, таких, как стекло, кварц, фарфор, слюда, целлулоид, а также текстиль. Насколько многочисленны применения таких слоев, настолько же многочисленны и методы их получения.

Различают:

А) Химическое осаждение; применяется главным образом для Ag, Au и Cu.

Б) Осаждение из газообразного металлического соединения.

В) Электролитическое осаждение (гальванизация).

Г) Опускание в расплавленный металл, прежде всего в легкоплавкие металлы.

Д) Вжигание; благородные металлы.

Е) Испарение в высоком вакууме; большинство металлов, а также соли.

Ж) Катодное распыление; большинство металлов.

З) Диэлектрические слои для повышения отражательной способности.

И) «Взрывающаяся» проволока.

А) Химическое осаждение

В физике, технике и астрономии чаще всего применяется химическое серебрение стекла. Оно достигается восстановлением серебра из щелочных, преимущественно аммиачных растворов азотнокислого серебра S действием восстанавливающего раствора R (виноградный сахар, инвертированный тростниковый сахар, сегнетова соль); при этом серебро в общем случае выпадает в виде черного порошка, и

главная задача здесь состоит в том, чтобы путем соответствующего выбора условий реакции получить плотный блестящий слой металлического серебра¹⁾.

Легче всего получается серебряный слой на обратной стороне зеркала (т. е. лучи света должны проходить через стекло); сложнее получить серебряный слой на передней стороне, которая затем должна будет полироваться. Наиболее сложным является получение полупрозрачного слоя; для этого применяются теперь почти исключительно методы, указанные в Д) и Е).

Лучшим рецептом получения серебряных слоев с наружной стороны зеркала, по крайней мере для больших зеркал, является рецепт, предложенный Брэшером [1]. Но этот рецепт очень сложен и требует большой опытности. Рецепт Боттгера — Боте [2] дает также хорошую зеркальную поверхность [3], он пригоден в физических лабораториях, где часто встречается необходимость в серебрении стеклянных полосок, зеркалец для гальванометров или отражательных зеркал большего размера. Раствор S может сохраняться (в защищенном от света месте) почти произвольно долго, раствор R — по крайней мере несколько месяцев; для серебрения растворы S и R смешиваются в отношении 1 : 1. Можно еще указать, что при этом методе, в противоположность всем остальным, температура не оказывает почти никакого влияния.

Разрабатываются все новые методы, позволяющие более полно использовать содержащееся в растворе серебро и сделать его слой более прочным и блестящим. С другой стороны, стремятся ускорить процесс.

Добавление йода существенно повышает коэффициент использования серебра [5]. Жидкости для серебрения стеклянных предметов, как-то: термосов и елочных украшений — приготавливают так. Раствор S: на 1 литр раствора 2 г AgNO_3 , 2 г NaOH , от 7,5 до 10 см^3 25% водного раствора аммиака и 0,048 см^3 5% спиртового раствора йода; R: 10% раствор инвертированного сахара; этот раствор в соотношении 1 : 150 добавляется к раствору S. Длительность серебрения при 35—40°C составляет 2—3 минуты. При изготовлении зеркал следует применять менее разбавленные растворы. Улучшения зеркального слоя можно добиться, применяя раствор [6] из смеси цианистой ртути с цианистым калием, к которому добавляются соли Ni, Cu, Pb, Cr и Zn и, кроме того, соль металла платиновой группы, предпочтительно Pd.

Для быстрого серебрения рекомендуется применять два раствора [7], которые до употребления не должны смешиваться. При одновременном нанесении на поверхность они мгновенно вызывают выделение на ней серебряного слоя:

Раствор S: 18 г AgNO_3 , 8 г NaOH , 60 см^3 NH_4OH , в 1 л H_2O .
Раствор R: 30 г $\text{C}_6\text{H}_{10}\text{O}_5$, 1,5 г H_2SO_4 , 17 см^3 $\text{C}_2\text{H}_4\text{OH}$, в 1 л H_2O .

Полезно привести еще некоторые указания на специальные случаи.

Серебрение искусственных материалов при помощи специального распыляющего устройства см. у Лоу [8], изготовление зеркал с

¹⁾ Серебряный слой пристает прочнее, если перед промыванием в дистиллированной воде протереть поверхность зеркала раствором: двухлористое олово (SnCl_2) + лимонная кислота.

высокой отражающей способностью в инфракрасной части спектра см. у Хасса и др. [9] (многослойные или фильтрующие зеркала с Al).

Для повторного серебрения зеркал в фотоаппаратах рекомендуется [10], протирая зеркало шерстяной тряпкой, смоченной в ацетоне или спирте, полностью освободить его поверхность от пыли. Затем его опускают на несколько минут в чашку с теплым аммиаком и ополаскивают в проточной воде. После этого поверхность снова протирается шерстяной тряпкой, смоченной в концентрированной азотной кислоте, и споласкивается дистиллированной водой.

В заключение стекло обтирается насыщенным раствором двухлористого олова. После того как стекло основательно промыто горячей дистиллированной водой, оно готово для серебрения.

Для этого применяются следующие жидкости:

Жидкость 1 : 2 г азотнокислого серебра в 4 см³ дистиллированной воды, в которую предварительно был добавлен 1 г едкого кали.

Жидкость 2 : 2 г азотнокислого серебра в 30 см³ дистиллированной воды.

Жидкость 3 : 45 г сахара в 500 см³ дистиллированной воды с добавлением 2 см³ концентрированной азотной кислоты. Жидкость кипятится в течение 5 минут, охлаждается, и к ней прибавляют 85 см³ этилового или изопропилового спирта.

Затем к жидкости 1 при постоянном помешивании добавляют 5 см³ аммиака и несколько капель жидкости 2 до постоянного слабого помутнения. 4 объемных части получившейся жидкости смешивают с 1 объемной частью жидкости 3. В эту смесь помещают объект серебрения. Чашку следует слегка покачивать, чтобы предотвратить действие коагуляции.

После этого следует хорошо прополоскать зеркало в проточной воде. Вследствие образования азидов серебра аммиачный раствор серебра не может долго сохраняться. Азид серебра уничтожается добавлением нескольких кристаллов каменной соли. Жидкости 2 и 3 в темноте могут сохраняться неограниченное время.

Черные пятна от серебра на пальцах можно удалять по Эдеру, насыщенным раствором йодистого калия.

Далее приводится описание нескольких методов химического осаждения других металлов.

Осаждение золота на стекле (линзы) [11] производится при помощи: 1) раствора, содержащего одноатомный спирт, гидрат окиси щелочного металла (1 моль на 1 грамм-атом Au), или 2) раствора: алкоголята, окись щелочного металла и 3) раствора, содержащего соединение Au с формулой $R'_2 AuX$ (R'_2 — одновалентный углеводородный остаток, X — галоген; можно пользоваться соединением $R''AuX$, где R'' — двухвалентный углеводородный остаток; продукты осаждения этих соединений содержат соли Au). Толщина слоя (0,05—0,15 мк) легко поддается регулировке. Для защиты мягкого слоя золота применяются тетрагалогениды. В заключение производится нагревание до 500°C. Другие рецепты с несколькими растворами можно найти у Эрмеса и Стукея [12].

Рецепт омеднения, которое получается значительно труднее, дает Френч [13]. Можно также нагревать металлическое тело при атмосферном давлении примерно до 260—345°C и обдувать его потоком газа, химически нейтрального к данному металлу, напри-

мер углекислого газа, аргона, гелия; этот газ смешивается с парами медной соли ацетоуксусной кислоты (температура около 150—230° С) [14]. Химическое осаждение слоев никеля [15], олова [16] и платины [17] не нашло еще широкого применения в лабораторной практике.

Б) Осаждение из газообразного металлического соединения

Для полноты изложения следует упомянуть о возможности получать металлические слои, как тонкие, так и толстые, при разложении карбонильных или галлоидных соединений соответствующих металлов [18]; этим процессом чаще пользуются в технике, чем в лабораториях. Таким приемом можно получать слои никеля, железа, а также платины и металлов платиновой группы. Карбонил в виде пара вводится в камеру, где установлены пластинки для осаждения слоя. Если нагревать эти пластинки приблизительно до 200° С, то карбонил распадается на окись углерода и металл, который выделяется на поверхности пластинок в виде зеркального слоя с очень сильным блеском. Этот слой может быть сравнительно толстым, т. е. может влиять на оптические свойства поверхностей пластинок.

В) Электролитическое осаждение (гальванизация)

Метод электролитического осаждения [19] находит мало применения в лабораторной практике. Часто необходимо некоторое время выдерживать электролитические ванны и производить предварительную обработку деталей; поэтому лучше в таких случаях пользоваться освоенными методами, которые широко применяются в соответствующей промышленности на больших установках. В этой области все сильнее распространяется автоматизация.

Существенными факторами являются состав ванны, температура, сила тока; часто надо определять, как следует включать обрабатываемую деталь,— она может являться анодом, катодом или попеременно то тем, то другим.

Рецепты и указания для отдельных электролитических ванн можно найти в литературе [20].

Отметим еще некоторые возможные применения электролитических процессов, например уже упомянутую ранее (стр. 86) электролитическую полировку [21], нанесение антикоррозийных металлических покрытий (стр. 87), глянцеование [22] металлических поверхностей, в особенности алюминиевых, а также анодное оксидирование [23] (алюминия [24]), электролитическое матирование алюминия [25].

В связи с этим надо упомянуть также возможность узорчатой металлизации [26]. Она достигается при закрывании тех мест, на которые металл не должен осаждаться. Для этого пригодны воски-вещества, жиры и т. п. Созданные путем специальной обработки, например электролитическим методом, пористые оксидные слои хорошо покрываются красящими веществами.

Снятие гальванических покрытий, см. табл. I, 23 [27].

Методы снятия гальванических покрытий

снимаемый слой	Покрытие		Основной металл	Метод	Растворитель	Температура, °С	Плотность анодного тока, а/дм ²
	промежуточный слой						
Ст	—	—	сталь латунь латунь сталь Zn Zn	Э	NaOH 90 г/л	20	2
	Ni	—		Х	HCl 10 объемн. %	50	
	Ni	—		Э	Na ₂ S·9H ₂ O 30 г/л+NaOH 20 г/л	20	2
	Ni	—		Э	Na ₂ CO ₃ 100 г/л	20	2
Ni	—	—	сталь сталь сталь сталь Cu, латунь латунь	Х	HNO ₃ дымящаяся	20	
	—	—		Э	H ₂ SO ₄ 66 вес. %	20	2
	—	—		Э	NaNO ₂ 360 г/л	90	10
	—	—		Э	CrO ₃ 240 г/л+H ₂ BO ₃ 30 г/л	85	1
	—	—		Э	HCl 10 объемн. %	20	2
	—	—		Э	NaSCN 100 г/л	20	2
	—	—		Э	CrO ₃ 500 г/л+H ₂ SO ₄ 50 г/л	20	5
Cu	—	—	сталь сталь	Э	CrO ₃ 250 г/л	20	2
	—	—		Э	NaNO ₂ 180 г/л	20	2
Cu, Ms	—	—	сталь Zn Zn	Э	Na ₂ S·9H ₂ O 120 г/л	20	2
	—	—		Э	NaCN 30 г/л	20	от 1 до 2
Ag	—	—	альпака латунь Cu, Fe	Х	Na ₂ SO ₄ конц. + HNO ₃ конц. 5 вес. %	80	
	—	—		Х	HCl конц. + SbCl ₅ 1,6 г/л	20	
Zn, Cd	—	—	сталь	Х	HCl конц. + SbCl ₅ 1,6 г/л	20	
	—	—		Х	NH ₄ NO ₃ 120 г/л	40	2
Sn	—	—	сталь Cu	Э	NaOH 100 г/л	20	2
	—	—		Э	NaOH 100 г/л	20	2
PbSn	—	—	латунь латунь	Э	NaOH 100 г/л	20	2
	—	—		Х	HCl 75 вес. %	80	2

Э — электролитический, Х — химический; металлы могут гальванически окрашиваться [27а].

Г) Окунание в жидкость, например в расплавленный металл или растворы солей

Металлические слои можно наносить, окуная деталь в расплавленный металл, слой которого наносится [28], или в соответствующие другие жидкости (например, водные растворы [29], расплавленные NaCl или KCl в присутствии кислорода [30]).

Д) Метод вжигания (благородные металлы)

Слой, весьма прочно держащийся на стекле, получают способом вжигания, при котором раствор соли соответствующего металла разлагается при нагревании и выделяющийся металл вжигается в стекло [31]. Такие слои применяют, например, для того, чтобы стеклу (а также плавленому кварцу) сообщить электрическую проводимость (химически устойчивые электроды для электролиза), или для того, чтобы припаять к нему металл. Кундт рекомендует следующий рецепт.

Растворить 1 г хлористой платины (хлороплатиновая кислота H_2PtCl_6) в 3 см³ абсолютного спирта и добавить 10 см³ концентрированного раствора борной кислоты, затем добавить 20 см³ смеси венецианского скипидара и лавандового масла, взяв их в таком соотношении, чтобы получился густой раствор. Полученная жидкость остается неограниченно стойкой (но она действует на обыкновенную пробку). На поверхность стекла наносят маленькой кисточкой некоторое количество этого раствора и затем медленно нагревают стекло. Вначале раствор становится более жидким (и легко стекает каплями). Но при дальнейшем нагревании он становится коричневым, испаряется, и на поверхности стекла появляется зеркало металлической платины. В этом состоянии платину еще можно легко стереть с поверхности стекла. Но при дальнейшем нагревании (1/4 часа при температуре 600—700° C) она очень прочно вжигается в стеклянную поверхность [32]. Если слой оказался слишком тонким, то процесс повторяется еще раз.

Рейнберг [33] получил равномерную зеркальную поверхность платины, отказавшись от лавандового масла и заменив его раствором хлористого висмута следующего состава: 1 г хлористого висмута растворяют в 20 см³ спирта, добавляют 1 см³ соляной кислоты и непосредственно перед употреблением весь этот раствор разбавляют спиртом до 120 см³. Раствор для платинирования можно составить также, смешивая: 3 см³ 6% раствора пироксиллина в чистом метиловом спирте, 3 см³ 6% раствора «хлористой платины» в спирте, 3 см³ спирта, 1 см³ раствора хлористого висмута приведенного выше состава.

Жидкости для нанесения платиновых, золотых, серебряных, иридиевых слоев имеются в продаже под названиями «платиновый блеск», «золотой блеск» и т. д. Состав этих жидкостей значительно более сложен, чем платиновых растворов, указанных выше, поэтому не рекомендуется составлять их в небольших количествах самостоятельно. Кроме благородного металла [34] они содержат висмут, хром и родий. Родий, по-видимому, весьма способствует хорошим качествам слоя, хотя его количество в растворе составляет только 1% по отношению к количеству благородного металла.

а) Очистка поверхности. Исключительно хорошая очистка поверхности (например, стекла, кварца); служащей для осаждения металлического слоя, является залогом высокого качества слоя и его прочного прилипания. И тому и другому вредят главным образом жирные загрязнения.

Поверхность стекла или кварца, очищенную обычными химическими приемами и промытую в воде, затем протирают очень чистой ватой, смоченной в перекиси водорода, после чего продолжают протирать поверхность сухой ватой до тех пор, пока появившийся на ней налет конденсирующихся водяных паров не будет тут же испаряться.

Еще более эффективной очистки можно достичь при помощи тлеющего разряда, пользуясь прибором для испарения металлов (см. дальше), но при соответствующем разрежении. Для этого в приборе следует установить вспомогательный катод на расстоянии нескольких сантиметров от очищаемой поверхности так, чтобы катодные лучи при разряде падали на нее. Сила разрядного тока около 15 ма, в прибор следует вводить какой-либо благородный газ. Очищающее действие на поверхность, подготовляемую для осаждения, производит также ее нагревание до 200°C в том же приборе (перед началом испарения); очищаемая поверхность при этом должна иметь более высокую температуру по сравнению со всем, что находится внутри прибора.

б) Вакуум. Хороший вакуум является основным предварительным условием для успешного получения металлических слоев методом испарения. Давление в приборе должно быть настолько малым, чтобы испаряющиеся атомы металла на пути к поверхности, где они осаждаются, по возможности не испытывали столкновений с частицами оставшегося газа. (Длина свободного пробега испаряющихся молекул больше размеров сосуда.) Давление ни в коем случае не должно превышать 10^{-4} мм рт. ст. В противном случае получают плохо держащиеся на поверхности слои невысокого качества.

Следовательно, при конструировании вакуумной установки необходимо обратить внимание на то, чтобы работа насосов и поперечные сечения трубопроводов были достаточными для быстрого откачивания (без нарушения вакуума) всех газов, освобождающихся при нагревании и испарении металлов. Эти газовые потоки не должны перекрывать участка, где происходит испарение и осаждение металла. Ртутные пары необходимо вымораживать; при осаждении алюминиевых слоев необходимо охлаждение по крайней мере жидким азотом, при осаждении серебряных слоев достаточно охлаждение до -80°C .

В качестве вакуумных сосудов могут служить стеклянный колокол, цилиндрический стеклянный сосуд или резервуар, подобный изображаемому на рис. 1, 22.

В качестве уплотняющего вещества для плоскошлифованных поверхностей может служить аьезоновый воск, можно применять также пластичные материалы с малым давлением паров (резина). Места токоподводов при больших силах тока (тигель) следует обеспечить водяным охлаждением.

в) Испарение. Перед началом испарения необходимо провести предварительную очистку металла; для этого можно: 1) прокалить

металл в течение 5 минут, при этом поверхность, покрываемую металлом, необходимо защитить экраном (например, пластинкой слюды), 2) применить тлеющий разряд в водороде, для этого требуется наложить 2000 в между испарителем и нижней плитой прибора.

Испарение в высоком вакууме можно применять для всех металлов, а также для многих металлоидов и соединений.

Испарение происходит с накаливаемых проволок и полосок фольги или из накаливаемых тиглей. Для накала можно применять электрический ток и электронную бомбардировку или пользоваться индукционными печами.

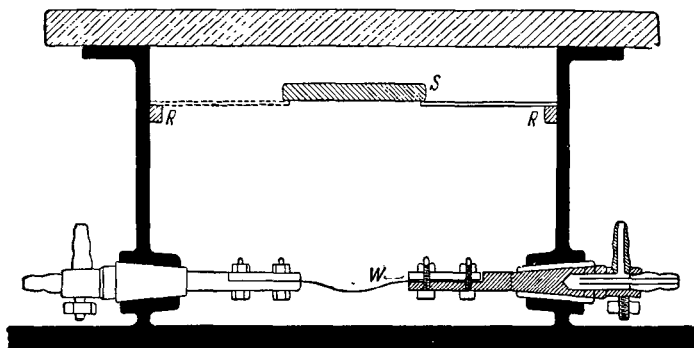


Рис. 1,22. Установка для осаждения тонких слоев в вакууме. *R* — кольцо для крепления, *S* — подложка для осаждения слоя, *W* — вольфрамовая фольга.

Большинство веществ, нагреваемых в вакууме, выделяют плотные пары еще при плавлении; иногда достаточное давление паров получается при температурах даже ниже точки плавления. Для получения слоев металла нормальной толщины необходимо в течение соответствующего времени поддерживать давление около 10^{-2} мм рт.ст. Для этого необходимы, например, такие температуры: Ag : 1047°, Al : 996°, Au : 1465°, B : 1355°, Ba : 629°, C : 2681°, Ca : 605°, Co : 1649°, Cr : 1205°, Cs : 153°, Cu : 1273°, Fe : 1447°, Hg : 48°, Ir : 2556°, Mn : 980°, Mo : 2533°, Na : 291°, Ni : 1510°, Pb : 718°, Pt : 2090°, Rh : 2149°, Ru : 2431°, Si : 1343°, Sn : 1189°, Y : 1888°, W : 3309°. Более высокие давления резко снижают качество слоя. Если в качестве испарителя применяются проволоки, то они должны иметь толщину от 0,1 до 1 мм. Им придают одну из форм, изображенных на рис. 1,23.

Форма *a* пригодна для металлов, хорошо смачивающих испаритель. Расплавленный металл образует каплю, которая может свободно испускать атомы во все стороны. В случае, если необходимо испарять Ag с W, то вокруг вольфрамовой проволоки делают несколько витков очень тонкой платиновой проволоки, а затем толстой серебряной проволоки; последняя сплавляется в каплю и хорошо удерживается.

При формах *b* и *в* следует следить за тем, чтобы расплавленный металл замыкал накоротко большую часть пути тока. Нагревание

происходит тогда главным образом на прямых подводящих участках. Если несущая проволока слишком тонка, то эти участки могут перегреваться, что приводит к заметному испарению металла несущей проволоки. Металлы, плавящиеся при температуре свыше 2300°C , наносят на проволоку электролитическим путем.

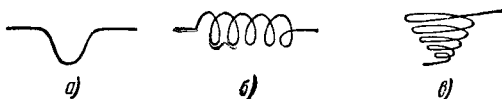


Рис. 1,23. Формы проволочных испарителей.

Тигли и фольга требуют подвода большой энергии, следствием чего является большое выделение газа. Требуются токи от 400 до 800 *a*. Тигли можно нагревать бомбардировкой электронами с энергией 4000 *ев* при силе тока 100 *ма*; источником электронов служит спираль, раскаленная до 3500°C (графит).

В табл. 1,24 приведены некоторые материалы и указаны соответствующие носители для их испарения.

Т а б л и ц а 1,24

Испаряемый материал	Испаритель	Испаряемый материал	Испаритель
Ag	W+Pt, Ta, Mo, Nb, Fe	Mo	Графитовый тигель
Au	W, Mo	Ni	W, графитовый тигель
Al	W, Ta, Mo, Nb	Pb	Fe, Ni, хромель
В	Графитовый тигель	Pt	W, графитовый тигель
BC	Графитовый тигель	Кварц	W, графитовый тигель
Ba	W, Ta, Mo, Nb, Ni, Fe, хромель	Si	Ta-тигель
Be	W, Ta, Mo	SiC	W-тигель, графитовый тигель
C	Графитовый тигель	Sn	Хромель
Co	W, Nb, графитовый тигель	Th	W, Mo
Cr	W, графитовый тигель	Ti	W, Ta
Cu	W, Mo, Ta, Nb	Tl	Ni, Fe, Nb, Ta
Fe	W	V	W, Mo, графитовый тигель
Mg	W, Mo, Ta, Nb, Ni, Fe, хромель	W	Графитовый тигель
Mn	W, Mo, Ta, Nb, графитовый тигель	Zn	W, Mo, Ta, Nb
		Zr	Ni, Fe, хромель

Al и W образуют сплав, который делает W хрупким. Предотвратить это можно посредством кашицеобразной массы из ThO_2 и 0,1% раствора ThCl_4 или с помощью порошка Al_2O_3 , смешанного с нитроцеллюлозным связующим; их наносят на W и нагревают в вакууме или в атмосфере H_2 до температуры 1700°C . Вольфрамовые проволоки диаметром 1 мм могут все же выдержать несколько испарений алюминия. Мо менее подвержен воздействию Al. Расплавленный Al сначала обычно бывает покрыт пленкой окисла, которая мешает испарению. Только при достаточно значительном повышении температуры пленка окисла разрывается, после чего начинается испарение.

Сплавы, вследствие различного давления паров составляющих их частей, не удается испарять так просто, как чистые металлы. Для того чтобы получить слой сплава желаемой толщины и состава, необходимо точно дозированное количество сплава мгновенно довести до очень высокой температуры. Другие краткие указания см. [36].

г) *Прочность прилипания* металлического слоя к поверхности, на которой он осажден испарением, зависит от вещества, вакуума, температуры испарения и чистоты поверхности. Имеются указания на то, что если во время испарения между испарителем и корпусом прибора наложить высокое напряжение, так что возникает люминесценция паров, то достигается более прочное прилипание к поверхности.

Особенно прочно прилипает Sr к стеклу и кварцу. Поэтому можно сначала нанести испарением слой Sr , толщиной не менее 300 Å, затем на него отложить слой желаемого металла; таким путем достигается особенно прочное прилипание.

д) *Предохранение слоев, полученных испарением.* Слои, полученные испарением, в особенности когда они еще свежие, весьма чувствительны к механическим и химическим воздействиям. Серебряные слои упрочняются при старении; этот процесс можно ускорить и усилить воздействием паров H_2O_2 . Al покрывается на воздухе очень тонкой пленкой окиси, которая является прекрасным защитным слоем, не снижающим заметно оптических свойств Al .

Весьма эффективным средством для сохранения отражательных свойств металлических слоев служат слои Si , SiO , плавленного кварца, плавикового шпата, галогенидов щелочных металлов и AgCl (толщина слоя около 1000 Å); эти слои наносятся на металлический слой также испарением в вакууме.

Если нанести несколько таких прозрачных слоев, то при соответствующем выборе коэффициентов преломления слоев можно повысить отражательную способность металлической поверхности.

е) *Еще несколько полезных указаний.* Слои очень равномерной толщины или слои с заранее установленным распределением толщин можно получать: 1) если пользоваться несколькими испарителями, 2) если поверхность, на которой осаждается слой, перемещать в вакууме (например, при помощи магнита) и 3) если между испарителем и поверхностью осаждения поместить вращающийся диск с вырезанным сектором.

На плоской поверхности будет осаждаться равномерный слой паров, если испаритель очень малых размеров (точечный испаритель), помещенный против ее центра, охватывает на поверхности угол 41° (с нормалью к ней) и если при этом поверхность равномерно вращается в своей плоскости.

Важна возможность дозировки количества осаждающегося при испарении вещества. Для слоев, еще остающихся прозрачными, лучшим способом являются фотометрические измерения во время процесса испарения; пропуская свет от источника постоянной яркости через слой осаждающегося металла, измеряют постепенное уменьшение светового потока. Если необходимо получить несколько различных слоев за одно откачивание прибора, то в нем следует монтировать несколько соответствующих испарителей; для каждого из них делают отдельный подвод тока, отвод тока — общий (необходим соответствующий сосуд!).

Ж) Катодное распыление

Этот старый метод, особенно пригодный для получения полупрозрачных слоев, может и в настоящее время иногда весьма успешно конкурировать с методами, описанными выше. Так, например, платина распыляется очень легко, в то время как испарение этого металла далеко не просто. Выбор металлов здесь также весьма разнообразен. Гельберт [37], например, описывает процесс катодного распыления для: Sb, Bi, Cd, Au, Pb, Pt, Ag, Sn, Zn; Co, Cu, Ir, Fe, Ni, Se, Te; Mo, Ta, W, Al, Be, C, Cr, Mg и Si.

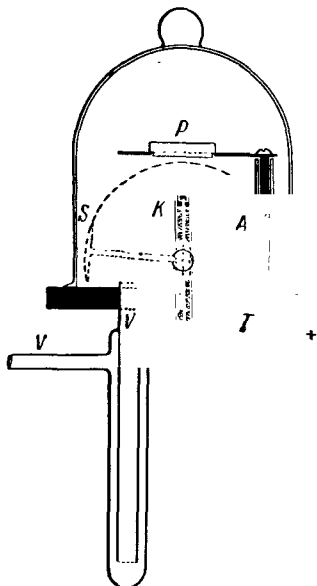


Рис. 1,24. Установка для катодного распыления.

Первая группа металлов поддается распылению более легко; вторая и третья группы — труднее.

На рис. 1,24 изображена соответствующая аппаратура. Основание прибора *T* сделано из металла (латуни) и служит анодом. На нем укрепляется на соответствующей стойке *A*, изолированной с помощью стеклянной трубки, металлическое кольцо из листовой латуни, которое также служит анодом и на которое кладется опыляемая пластина *P* опыляемой поверхностью вниз. Катодом *K* служит металлический диск диаметром около 50 мм, защищенный с нижней стороны слюдой и изолированный от основания прибора стеклянной трубкой. *S* — экран, который может проходить мимо пластинки *P*, вращаясь при помощи стеклянного шлифа, укрепленного внизу колпака. В вакуум-провод *VV* включена «ловушка» (ср. стр. 191).

Наиболее благоприятные условия распыления, рекомендуемые в ряде новых работ [38], значительно различаются между собой. Во всяком случае поверхность зеркала должна быть хорошо очищена и перед опылением нагрета до температуры от 150 до 200°C (целесообразно нагревание производить в вакууме, пользуясь интенсивным пучком катодных лучей). В качестве газа-наполнителя аргон (проточный) зарекомендовал себя значительно лучше, чем ранее применявшийся водород. Для распыления серебра на диск диаметром 60 мм рекомендуют применять катоды диаметром от 90 мм и с расстоянием между катодом и диском 43 мм. Темное пространство вначале должно равняться 33 мм, а к концу опыления оно должно уменьшаться. Постоянный ток 1350 в, 7 ма, 12 минут для полупрозрачного серебряного слоя. Другие авторы рекомендуют: постоянный или переменный ток от 1000 до 3000 в, не более 50 вт, темное пространство вплоть до поверхности зеркала. Для катодного распыления так же, как и при испарении, рекомендуется вначале между пластиной и источником вводить экран (*S* на рис. 1,24).

Слои, получаемые катодным распылением, обладают кристаллической структурой, как нашел Галер [39], исследуя их методом Дебая—Шерера.

Регулировка фазы в пластинах Фабри и Перро может со временем изменяться вследствие постепенной кристаллизации металла.

3) Диэлектрические слои для повышения отражательной способности

Пользуясь разностью хода интерферирующих световых лучей, отраженных от передней и задней поверхности прозрачных слоев, можно снижать отражательную способность стекла и других прозрачных веществ (ср. стр. 324). Если же наносить многослойные покрытия с чередующимися значениями коэффициента преломления, то отражательную способность можно сильно повысить. При этом, в отличие от металлических покрытий, в слое имеет место лишь едва заметное поглощение света. Эти многослойные покрытия, весьма пригодные для изготовления зеркал в интерферометрах Фабри — Перро, находят в настоящее время все большее применение. Техника напыления [41] таких покрытий мало отличается от техники нанесения металлических слоев; при этом должны соблюдаться те же требования относительно чистоты поверхности и степени вакуума. Для получения наибольшей отражательной способности в видимой области спектра применяют чередующиеся слои криолита [42] и сульфида цинка. Оптические свойства таких слоев, естественно, зависят от длины световых волн, каждый слой всегда применим только в ограниченном интервале длин волн (около 1000 Å). На практике или вычисляют оптимальную толщину слоев, или, что проще, определяют ее эмпирически: измеряют, как и при осаждении металлических слоев, одновременно с процессом напыления полученную отражательную способность, лучше всего фотоэлектрическим способом. Сначала напыляют слой криолита, пока не получится минимальное отражение. Для прекращения процесса в точке минимума необходим некоторый навык. Затем напыляют сульфид цинка до получения максимального отражения. Далее напыление криолита и сульфида цинка чередуется. При 7, 9 и 11 двойных слоях можно достичь коэффициента отражения 99%. Для ультрафиолетовых лучей в качестве материала для отражательных слоев применяют фтористый магний и окись свинца. Нанесением диэлектрических слоев можно также увеличить коэффициент отражения металлической поверхности, например алюминия, с 70 до 90%. Для увеличения отражения инфракрасных лучей алюминий покрывают слоями Ge и SiO [43]. Вместо измерения одного коэффициента отражения во время процесса напыления можно определять также прозрачность и отражение. По окончании процесса для получения высокой прочности слой следует выдержать несколько часов в вакууме, а затем несколько дней в эксикаторе. Для напыления с успехом применяют лодочки из листового вольфрама.

И) «Взрывающаяся» проволока

Тонкая пятапутая проволока в разреженном пространстве, при давлении 25—50 мм рт. ст., и при очень сильной электрической нагрузке испаряется со взрывом. При этом металл осаждается в виде

тонкого слоя на более холодную подложку, помещенную вблизи [44]. Короткая вспышка света высокой интенсивности, сопровождающая это явление, позволяет пользоваться им как источником мгновенного освещения при фотографировании быстрых процессов.

§ 5. Тонкие пленки

Тонкие пленки широко применяются при изготовлении окошек для электронных пучков, мембран, световых фильтров, а в последнее время — особенно часто в электронной микроскопии и в качестве объектов при исследовании дифракции электронов. Для крепления тонких пленок служат более или менее толстые металлические диафрагмы или сетки, на которые пленки наклеиваются или накладываются.

А) Металлические пленки

Металлические слои толщиной менее 300 мкм прозрачны. Из графика, приведенного в книге Эспе и Кнолля [1], мы взяли следующие значения (в %) пропускания алюминиевой фольги (окошко Ленарда) для катодных лучей различной энергии.

Т а б л и ц а 1,25

Толщина фольги, мк	2	4	6
80 кэв	90	77	67
40 кэв	65	40	20

а) *Металлические фольги.* Из некоторых ковких металлов можно приготовить весьма тонкие листочки, если ковать их между листами пергамента или бодрюша (см. стр. 128). Этот метод был известен уже древним египтянам и грекам. Из сведений, приведенных Плинием, следует, что римское листовое золото было толщиной около 1 мк [2]. Такие листочки изготавливаются преимущественно из золота и алюминия, а также из меди, томпака и серебра. Листочки из первых двух металлов имеются в продаже. Толщина медных и алюминиевых листочков обычно бывает довольно равномерной, около 0,5 мк; толщина золотых листочков колеблется от 0,64 до 0,09 мк. Золотые листочки можно сделать еще тоньше травлением в растворе KCN. Тонкие металлические листочки, как нетрудно увидеть на просвет, имеют большое количество отверстий.

Например, алюминиевая фольга для окошек Ленарда в катодных трубках, не вполне гарантированная от дырок, имеет толщину 5 мк. Тончайшая прокатная алюминиевая фольга фирмы Гереус (Ханан), которая при сотрясении дребезжит, как тонкий листовой материал, также имеет толщину 5 мк.

Платину, по-видимому, нельзя проковкой обработать до тонкой фольги (как золото), по крайней мере такая фольга не производится фабричным способом. Фирма Гереус поставляет прокатные фольги из Pt и Pt — Ir (90 : 10) толщиной 2,5 мк, еще достаточно

прочные и почти не имеющие отверстий; из Au, Ag и Rh толщиной 5 мк, из Ta и Ti толщиной 6 мк и Ir толщиной 50 мк. Кроме того, изготавливаются ленты для подвесов из сплавов Pt—Ni и неупругие различных размеров токоподводы для гальванометров и подобных приборов. Платиновую фольгу толщиной от 1 до 2 мк рекомендуется получать прокаткой по методу Волластона (ср. стр. 131).

б) *Получение пленок испарением в вакууме и катодным распылением* Однородные металлические пленки определенной толщины можно получать испарением металлов в высоком вакууме (ср. стр. 118). В качестве поверхности, на которую осаждается металл, берут обычно плоскость спайности на полированной пластинке или на кристалле каменной соли; можно также пользоваться стеклянной пластинкой, на которую предварительно в высоком вакууме нанесен слой NaCl [3]. При погружении в воду слой NaCl растворится, и металлическая пленка отделается от поверхности. Можно также осаждать металл на пленку коллодия, которая затем растворяется в ацетоне или амилацетате [4]. Таким путем удается получать металлические пленки толщиной около 10 мкм. Согласно данным, приведенным Шульце, золотую фольгу толщиной 100 мкм, установленную в вакууме, можно «уточнить» катодным распылением до 2 мкм.

Согласно Хасту [5] исключительно тонкие фольги, толщиной от 1 до 2 мкм, из Be и Al можно получить испарением в высоком вакууме на поверхность глицерина (или ртути). Для этой цели следует стеклянную пластинку покрыть тонким слоем обезвоженного глицерина и отложить на нее слой металла в вакууме. При погружении в воду глицерин растворяется, и пленка отделяется. При изготовлении металлических фольг катодным распылением Лаух и Рушерт [6] рекомендуют отлагать на краях полированной пластинки каменной соли слой большей толщины. Этого достигают, закрывая вначале середину пластинки металлическим кружком; затем его удаляют (магнитом) и продолжают распыление металла на всю поверхность каменной соли, пока не получится слой желаемой толщины. После этого пластинку каменной соли вынимают из вакуумной установки, наклеивают металлическую пайбу на более толстый край металлической пленки и, погрузив все это в поток медленно текущей (без завихрений) воды, дают каменной соли раствориться. Некоторыми особыми приемами эти пленки удается хорошо натянуть. Таким методом Лаух и Рушерт получают золотые, серебряные, никелевые и медные пленки. Серебряные пленки толщиной 30 мкм обладали определенной прочностью, были весьма эластичными, свободными от отверстий и очень блестящими. Их структура значительно более мелкозернистая, чем структура слоев, получаемых гальваническим осаждением.

в) *Электролитические и другие методы.* Электролитический метод получения пленок основан на том соображении, что если химически стойкий металл (платина, золото) электролитически отложить тонким слоем на листике другого металла, химически малостойкого (например, меди), то, растворив второй металл (подложку) в кислоте, можно получить в результате тонкую пленку осажденного металла. Если полученный таким приемом тонкий листочек Ni или Fe подвергнуть действию окиси углерода по Мюллеру [7], то образование газообразных карбониллов Ni или Fe позволяет уменьшать толщину листочка до любой величины. Подобным

же образом можно позолоченные никелевые листочки освобождать от никеля. Аналогично никелевые листочки изготовил Босворт [8]: металл электролитически осаждался на стальной полированной пластинке, от этой подложки листочки затем механически освобождались. Они имели толщину от 40 до 640 мкм.

Наконец, укажем на метод Крага [9], который получал для исследования эффекта Холла тонкие висмутовые пленки на слюде, для чего окунал тонкие пластинки слюды в расплавленный висмут. В том случае, если температура тщательно отрегулирована, получаются «удивительно тонкие и равномерные пленки», которые уже в магнитном поле напряженностью 10^{-3} вб/м² (1 гаусс) дают легко измеряемый эффект Холла.

Б) Неметаллические пленки

а) Слюда, стекло, плавленый кварц. Расщепляя слюду, можно получать настолько тонкие листочки, что в них не удается заметить следов интерференции. Для освобождения поверхностей раздела от электрических зарядов, которые очень прочно притягивают друг к другу свежеразделенные листочки, Стронг [10] предложил вводить между расщепляемыми листочками капельки воды (см. также [11]). Бенедикс [12] описал метод разделения слюды на тонкие листочки под водой при помощи ланцетообразно заточенной иглы. Автор настоящей главы находит более целесообразным вести расщепление сначала обычным образом (с помощью ножа), а листочки слюды толщиной, равной примерно толщине писчей бумаги, разрывать далее подобно тому, как разрывают игральную карту. При этом часто получают листочки с поверхностью в несколько см², которые дают интерференционные цвета; среди них попадаются пленочки площадью в несколько мм², слишком тонкие для того, чтобы давать интерференционные полосы. Такие пленки весьма пригодны для наблюдения электронной дифракции по Кикучи. Слюдяные листочки выдерживают температуры до 450° С.

Способ изготовления стеклянных пленок толщиной 50 мк и их сплавление описаны Книппом [13]. Мёлленштедт [14] и Аккерман [15] получали стеклянные пленки толщиной менее 100 мк; для этого следует заплвленную стеклянную трубку очень осторожно раздувать в калильной печи, точно регулируя при этом подачу сжатого воздуха. Такие же результаты получил Батов [15а]. Стеклянные пленки могут служить как химически устойчивые предметные пленки (подложки) в электронной микроскопии до температур примерно 600° С. Если пленки оказываются слишком толстыми, их толщину можно уменьшить травлением в разбавленной плавиковой кислоте.

Шмидт-Отт [16] применял окошки из плавленого кварца толщиной от 5 до 10 мк при максимальном диаметре 15 мм. Они представляли собой шаровые сегменты радиусом около 10 мм. Такие окошки были проницаемыми до длин волн $\sim 1490\text{Å}$ и выдерживали атмосферное давление, если были расположены выпуклостью в сторону откачанного объема.

б) Окисные пленки. В качестве температуроустойчивых подложек и как материал для реплик при электронно-микроскопических исследованиях в последнее время большое признание получили окисные пленки, в особенности весьма устойчивые пленки окиси Al,

полученные анодным окислением. Хасс и Келер [17] сначала получают на стекле слой Al необходимой толщины, пользуясь методом испарения, затем этот слой алюминия полностью переводят в окись, применяя анодное окисление. Арденне и Фридрих-Фрекса [18] применяют алюминиевую фольгу и отделяют пленку окиси Al при помощи хлористой ртути по методу Эванса [19]. Согласно Валкенхорсту [20] при применении лимоннокислого аммония (3%) в качестве электролита толщина слоя имеет почти линейную зависимость от напряжения. Пленки окиси толщиной в 20 мк получают при напряжении окисления 14—15 в. Весьма подходящим электролитом является раствор борноаммонийной соли, с помощью которого согласно Землеру [21] при значении $pH=8,8$ получают полностью свободные от пор пленки окиси. Пленки окиси Al при нагревании до 600° С не изменяют своей аморфной структуры. При дальнейшем нагревании аморфная окись Al переходит в кристаллическую $\delta-Al_2O_3$. Ботхер [22] получает кристаллические пленки окиси Al, осаждая Al испарением на свежей плоскости спайности каменной соли, нагретой до температуры около 450°С; при последующем нагревании до 600°С в воздухе получается слой кристаллической окиси Al, которая имеет ту же ориентировку кристаллов, как и Al, осажденный на подогретой поверхности каменной соли.

Пленки (подложки для микроскопических объектов), термостойкие до 900°, получают, согласно Хассу и Келеру [23], при непосредственном испарении окиси кремния, или смеси кварцевого песка и кремния стехиометрического состава. Окись кремния SiO испаряется в вакууме при температуре около 1250—1300°. При продолжительном нагревании в воздухе пленка SiO, согласно Хассу [24], постепенно переходит вследствие реакции с кислородом в SiO₂. Аморфные пленки кварца (SiO₂) можно получать также путем непосредственного испарения кварца в вакууме [25].

в) *Графитовые и углеродные пленки.* Тиле [26] обнаружил, что угольная кислота, «приведенная в состояние коллоидального раствора», при высухании дает графитовые пленочки. Если такие пленки нагреть до температур от 100 до 200° С, то кислота восстанавливается; получают блестящие пленки (и зеркала) из графита, свободные от пор и газонепроницаемые, толщиной от нескольких сотых до нескольких десятых миллиметра. Пленки эти можно резать подобно бумаге.

Пленки, состоящие из чистого углерода, весьма температуростойкие, получают, согласно Кёнигу [27], посредством тлеющего разряда в атмосфере углеводорода. Углеводород под воздействием электронной или ионной бомбардировки образует на твердых подложках вначале тонкие желтовато-коричневые слои полимеризационных продуктов. Если такие слои, получаемые, например, с помощью тлеющего разряда в парах бензола, нагревать затем в высоком вакууме до температуры 400° С, то они превращаются в углеродные пленки.

По Брэдли [28] углерод может также непосредственно испаряться в высоком вакууме. Два соприкасающихся остриями угольных стержня дуговой лампы при пропускании тока нагреваются в месте соприкосновения столь сильно, что углерод испаряется. Для питания необходим трансформатор с выходным напряжением 12—15 в, выдерживающий токи 50—60 а. Для контроля толщины напыленного слоя применим расположенный на расстоянии 6—10 см от

стержня белый фарфоровый осколок с маленькой каплей масла для высоковакуумных насосов. При напылении капля остается белой, в то время как окружающая ее поверхность фарфора все больше окрашивается в серо-коричневый цвет. При этом слои незначительной толщины, порядка *ммк*, вызывают заметное потемнение фарфора. Слои напыленного углерода механически очень стабильны и не так хрупки, как слои SiO.

г) *Пленки из органических веществ.* Так называемый бодрюш используется довольно редко, лишь в некоторых случаях в качестве газонепроницаемых выходных окошечек, проницаемых для катодных и мягких рентгеновских лучей. Бодрюш представляет собой особым образом препарированную пленку из слепой кишки быка и служит в золотобитных мастерских в качестве прокладок между отдельными листами металла. Этот материал может поставляться фабриками, изготовляющими металлические листочки.

Значительно чаще применяются пленки из целлофана, гидрата целлюлозы; они изготовляются самой различной толщины. Целлофан, в противоположность целлулоиду и целлону, проницаем для водяного пара [29].

Целлулоидные и коллодиевые пленки часто применяются в качестве окошек для катодных и мягких рентгеновских лучей [30] и, в особенности, в качестве держателей объектов (препаратов) при исследовании дифракции электронов [31] и при электронно-микроскопических работах [32]. Их готовят следующим образом [33]. Одну или несколько капель раствора коллодия (1—3%) в амилацетате (цапонлак, нитролак) наливают на чистую поверхность воды в широком сосуде; раствор немедленно растекается по поверхности воды, образуя пленку размерами с десертную тарелку. Через несколько секунд, при испарении растворителя, на пленке появляются интерференционные цвета, которые при очень тонких пленках затем опять исчезают. Воду сливают сифоном так, чтобы пленка опустилась на каркас (кольцо или сетку), заранее приготовленный в сосуде; пленка прочно пристает к каркасу. С целью уничтожения пор и пузырей воду насыщают амилацетатом. Не представляет никаких трудностей изготовить таким образом пленки толщиной в 10 *ммк* (бесцветные) или более толстые, с очень яркими интерференционными цветами, которые могут выдерживать нагрузку от 10 до 50 г. Толщину пленки *d* можно оценить по интерференционным цветам: бесцветные пленки: $d < 100$ *ммк*; соломенно-желтые: d от 220 до 250 *ммк*; оранжевые, красные, пурпуровые, фиолетовые, индиго, синие, зеленые и т. д.: d от 300 до 1000 *ммк*; бледные персиково-красные цвета: $d = 1000$ *ммк* и, наконец, вновь бесцветные: $d > 1500$ *ммк*. Возможно наклеивание большого количества слоев друг на друга; при этом опасность присутствия пористых мест соответственно уменьшается.

Нитроцеллюлоза является более (широксиллин, 19,4% N) или менее (колосиллин, от 12 до 12,5% N) сильно нитрированной целлюлозой (от 10 до 12% N) с добавлением камфары, а именно: 15% для целлулоидных пленок и от 25 до 50% для обычного целлулоида. Она растворима в ацетоне, в метил-этил- и амилацетате, в эфире, в уксусной кислоте и во многих других растворителях.

Ацетилцеллюлозы являются уксуснокислыми эфирами целлюлозы, например, гидроацетат целлюлозы — главная составная часть целлона. Растворимы в ацетоне, метилацетате, метилформате.

Целлулоид воспламеняется уже при 170° и горит очень быстро. Ацетилцеллюлоза обугливается медленно, одновременно вспучиваясь. Относительное удлинение при разрыве у целлулоида 28%, у целлона 5%. Целлофан, как уже упоминалось, является гидратом целлюлозы.

В США в качестве держателей объектов при электронно-микроскопических работах широко применяются пленки из формвара (поливинилформол), которые являются несколько более стойкими к электронной бомбардировке, чем коллодиевые пленки. Согласно Шеферу и Харкеру [34] хорошо очищенную стеклянную пластинку (предметное стекло) покрывают пленкой от 0,1 до 0,3% раствора формвара в диоксане или в хлористом этилене, а затем ее высушивают. Пленку можно отделить от поверхности стекла, погружая его в воду. Таким же способом получают нитропленки.

В) Листочки для электрометров

Материалом для листочков раньше служило исключительно золото (чистое листовое золото, золотые листочки), позднее, как правило, для этой цели стали применять алюминиевую фольгу. В связи с тем, что удельные веса этих металлов относятся друг к другу, как 2,6 : 19, золотой листочек толщиной 0,15 *мк* при одинаковых размерах весит примерно в два раза больше, чем алюминиевый листочек толщиной 0,5 *мк*. Несмотря на это, более мягкое золото при очень тонких измерениях имеет преимущества по сравнению с более упругим алюминием. Алюминиевые листочки дают нередко так называемый «эффект кри-кри», т. е. при равномерном уменьшении электрического заряда алюминиевый листочек может внезапно перескочить на несколько делений шкалы в поле микроскопа (для устранения этого надо прокалить листочек при 350°). Для того чтобы приготовить листочек для электрометра, листик фольгу кладут на туго обтянутую кожей натертую мелом подушку (исключить всякое движение воздуха!) и острым, без зазубрин ножом с плоским прямым лезвием нарезают нужные полоски (шириной 3—4 *мм*). Более толстую фольгу кладут между двумя листами тонкой чистой (без жирных пятен) бумаги и разрезают ножницами бумагу и фольгу одновременно. Затем полоску кладут на штифт электрометра и приклеивают ее верхний конец. Клей после высыхания не должен быть изолятором, поэтому нельзя применять растворы шеллака, пиццина и т. п. Для этой цели рекомендуется применять яичный белок, безводный ланолин и слюну; особенно хорошо клеит ушная сера, которая даже при полном высыхании остается достаточно хорошим проводником. Край полученных таким образом листочков при рассмотрении в микроскоп оказываются, как правило, зазубренными, что может затруднять точные отсчеты. Кроме того, при изготовлении узких листочков трудно выдерживать их равномерную ширину. Прекрасный метод изготовления листочков рекомендует Битти [35]. Приготавливают несколько кубических сантиметров чистого, возможно более легкоплавкого парафина, который фильтруют при постоянном подогревании газовой горелкой через фильтровальную бумагу в пробирку (при хранении плотно закрывать пробкой во избежание попадания пыли). Парафин плавят, выливают несколько капель на подогретую полированную латунную пластинку (размером примерно $30 \times 60 \times 3$ *мм*³) и, продолжая ее подогревать, равномерно

распределяют парафин по ее поверхности. Кусок (алюминиевой или золотой) фольги размером около $1 \times 4 \text{ см}^2$ кладут на застывший слой парафина и приклеивают его легким нагреванием. Одновременно наливают несколько капель парафина на верхнюю поверхность фольги, которая, таким образом, оказывается покрытой парафином. После этого более сильно подогревают латунную пластинку так, чтобы парафин стал совсем жидким, и, наклоняя ее, сливают большую часть парафина. Если при этом фольга сползает, то ее можно поддерживать пальцем, прижимая к пластинке. Затем пластинку кладут горизонтально и дают парафину застыть. Приготовленную таким образом пластинку закрепляют на каретке делительной машины, в ее головке укрепляют хорошо заточенную бритву и разрезают фольгу при легком нажиме на бритву на узкие листочки от 1 до 3 мм ширины. Затем кладут пластинку в (фотографическую) кюветку с (техническим) ксилолом, который растворяет парафин в течение нескольких минут. Листочки один за другим захватывают в ксилоле пинцетом и кладут на узкие полоски жесткой бумаги, затем, вынимая листочки вместе с полосками бумаги, кладут их во вторую ксилоловую ванну; вслед за этим листочки проходят еще две спиртовые ванны, и, наконец, их сушат.

С алюминием, вследствие его большей жесткости, значительно легче обращаться, чем с золотом.

Описанный метод применяется и для многих других надобностей; в частности, полоски из алюминиевой фольги шириной 0,2—0,3 мм очень подходящи для струн в струнных гальванометрах и электрометрах, так как они, естественно, обладают значительно большим затуханием в воздухе, чем обычно применяемые проволоки Волластона [36]. Алюминиевые полоски припаиваются сплавом Буда без флюса, но поверхность, к которой они припаиваются, должна быть залуженной. Полоски шириной 0,4—0,2 мм, из оловянной фольги (станиоль) зарекомендовали себя как плавкие предохранители для небольших сил тока (от 0,1 а).

§ 6. Тонкие проволоки

А) Процесс волочения — изменение длины проволоки, в большинстве случаев прокатанной предварительно до 5 мм толщины, — производится в зависимости от вида металла при помощи стальных фильер (стальных волочил) с закаленными конусообразными каналами) или при помощи фильер из твердого металла или алмаза. Этот метод обработки имеет промышленное значение и в большинстве случаев механизирован [1]. Волоочильное оборудование нуждается в заботливом уходе; надо следить за его износом [2]. При применении соответствующих смазочных материалов процесс облегчается [3].

Б) Так называемые «волосные проволоки», т. е. проволоки диаметром от 0,20 до 0,015 мм (15 мк), изготавливаются из самых различных металлов¹⁾. Они применяются для подвешивания гальванометрических и электрометрических систем; для подвеса

¹⁾ Из серебра, меди, золота, платины, никеля, железа, алюминия, фосфористой бронзы, латуни, нейзильбера, стали, платины—иридия, платины—серебра, никелина, марганца, константана, кульмица, крупина, из висмута диаметром до 0,06 мм. Эту тонкую висмутую проволоку трудно обрабатывать, так как она легко ломается.

стрелок в электрометрах Долежалека даже самые тонкие проволоки все еще слишком толсты. Проволока из фосфористой бронзы диаметром 0,02 мм обрывается при нагрузке 19 г. При разматывании проволоки нужно быть очень осторожным, чтобы ее не запутать. Катушку кладут на большую стеклянную пластину, прикрепляют к ней восковой замазкой свободный конец проволоки, разматывают отрезок необходимой длины, удерживая проволоку в натянутом состоянии так, чтобы она не завивалась, заземляют снова проволоку в прорези катушки и также приклеивают ее вблизи катушки к стеклянной пластине. Только тогда разрезают проволоку между катушкой и вторым местом приклеивания. Прицаиваемый кусок (крючок) залудить, хорошо промыть и припаять проволоку без флюса; известен случай, когда такая проволока, припаянная тинолем без соблюдения всех этих правил предосторожности, через несколько месяцев оказалась в месте спая совершенно изъеденной. Относительно приспосабливаний для паяния см. стр. 80.

В) В гальванометрах с вращающейся катушкой для подвешивания ее, как правило, применяются металлические элементы (из фосфористой бронзы). При одинаковой грузоподъемности они обладают меньшим моментом кручения, чем круглые проволоки, т. е. обеспечивают большую чувствительность (ср. стр. 135 и 211). Проволоки Тэйлора см. стр. 337.

Г) Вольфрамовые монокристаллические проволоки, свободные от упругого последоствия, уже упоминались. К сожалению, их упругие силы кручения во многих случаях оказываются слишком большими, так как такие проволоки можно изготовлять толщиной только до 10 мк.

Д) Платиновые, золотые и алюминиевые проволоки диаметром до 0,5 мк получают по методу Волластона. Приготавливается серебряная проволока, толщиной в карандаш, с платиновым сердечником, который имеет такие же размеры, как графит карандаша. Если такую проволоку медленно протягивать через волочилюню так, чтобы диаметр ее уменьшался до 0,2 мм, то платиновый сердечник также сильно сужается. Если затем серебряную оболочку растворить в азотной кислоте, то остается тонкая платиновая нить — «волластонова проволока». Кроме платины и золота, для изготовления волластоновых проволок пригоден также алюминий, так как он не растворяется в азотной кислоте.

Проволока поступает в продажу в серебряной оболочке, и каждый раз протравливают только кусок длиной в несколько сантиметров, достаточный для данного случая. Обычный диаметр проволоки после травления — от 15 до 2 мк, в исключительных случаях — до 0,5 мк.

Для травления, как правило, применяют (см. ниже) свободную от хлора азотную кислоту. Мнения относительно того, применять ли 30%, 50% кислоту или чистую, горячую или холодную, — расходятся. Во всяком случае неплохо в кислотную ванну добавлять несколько процентов раствора азотнокислого серебра, благодаря чему травление происходит более энергично. (При этом не должно наблюдаться сильного помутнения, вызываемого AgCl !)

Из многочисленных приемов травления простейшим является прием, описанный Ростаньи [4]. Проволоку без какой-либо предварительной обработки кладут на стеклянную пластину, наливают некоторое количество кислоты (50%) и подогревают. Когда платино-

вый сердечник освободится, его захватывают с одной стороны пинцетом, вынимают из кислоты и промывают в дистиллированной воде.

Для большинства случаев можно рекомендовать другой прием: оба конца проволоки закрепляют и защищают от действия кислоты. При последующих операциях с проволокой (припаивание!) эти толстые, хорошо видимые концы оказываются очень кстати. Метод, приведенный ниже, применяется в лабораториях фирмы Гереус; он описан Брюнингем [5].

Стеклянную палочку диаметром в 2 мм сгибают, как указано на рис. 1,25. Кончик проволоки Волластона распрямляют и прогре-

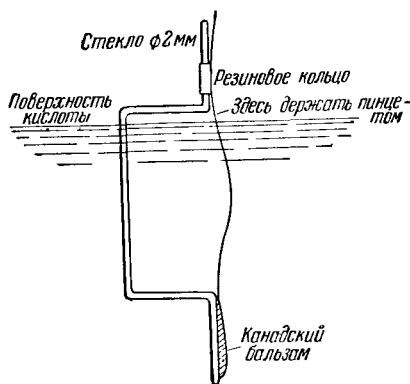


Рис. 1,25. Травление проволоки Волластона.

вают его в течение примерно 1 минуты при 400°. Затем проволоку прикрепляют к стеклянной дуге сверху, при помощи кусочка резиновой трубки (как показано), а внизу — вязким канадским бальзамом, что защищает нижний кончик проволоки от действия кислоты. При этом проволоку не следует сильно натягивать. Для травления применяется 30% азотная кислота с добавлением к ней нескольких капель раствора азотнокислого серебра. Стеклянную палочку с прикрепленной к ней проволокой погружают в ванну на такую глубину, чтобы верх-

няя горизонтальная часть дуги была на несколько миллиметров выше поверхности кислоты. При травлении наблюдается выделение газовых пузырьков и на проволоке появляются утолщения, состоящие из серебра и азотнокислого серебра; от них проволоку освобождают, несколько раз вынимая ее из жидкости и вновь погружая в нее. Платиновый сердечник, еле видимый в кислотной ванне, освобождается от серебра через 5—10 минут. Проволоку вынимают, многократно промывают в дистиллированной воде, а затем, погружая ее в эфир, освобождают от канадского бальзама. После этого проволоку захватывают пинцетом между резиновой трубкой и протравленным местом, вытягивают ее из резиновой трубки и кладут для дальнейшей обработки на черный бархат или чистое зеркало.

В последнее время Бордманн [6] предложил наливать слой азотной кислоты на сероуглерод, поверхность которого можно поднимать и опускать. Это дает возможность проволоку (укрепленную горизонтально) протравливать постепенно по частям снизу вверх.

Свойства проволоки Волластона (постоянство диаметра, состояние поверхности, температурный коэффициент сопротивления и т. п.) очень обстоятельно были исследованы Вецманом, Гнилинским и Хейзигом [7]. Они обнаружили на проволоках, протравливаемых

в азотной кислоте, шероховатый налет, нерастворимый ни в кислоте, ни в воде, и предложили значительно лучший, по их мнению, метод электролитического удаления серебра в растворе цианистого калия: 1 литр (дистиллированной) воды, от 50 до 100 г цианистого калия; проволока является анодом, в качестве катода служит железная или платиновая проволока; 2-вольтовый аккумулятор, добавочное сопротивление, ток от 5 до 6 ма, продолжительность процесса от 10 минут до 1 часа. Температурный коэффициент электрического сопротивления волластоновых проволок равен $3,0-3,4\%$ град⁻¹, следовательно, меньше, чем у чистой платины ($3,85\%$ град⁻¹); это объясняется тем, что сырая платина (природная) содержит от 0,5 до 1% иридия.

Волластоновы проволоки можно различными приемами провальцовывать вместе с их серебряной оболочкой, в результате чего получаются узкие платиновые полоски (ленты). Так, в указанной выше работе Бенедикса, а также в работе Леймбаха [8] были получены волластоновы ленты шириной 25 мк и толщиной 0,28 мк, вполне пригодные для болометров; 1 см такой платиновой ленты имеет сопротивление около 139 ом.

Изготавливаются также «волластоновы листки» (из платины) толщиной до 1 мк. Травление полоски шириной 1 мм, отрезанной от такого листка, происходит очень просто, так как получающуюся в результате платиновую ленту можно легко брать пинцетом. Полоска размером 1 мм × 1 мк выдерживала нагрузку 17 г, ее крутящий момент равнялся $7 \cdot 10^{-2}$ дин·см, следовательно, был значительно меньше, чем крутящий момент проволоки диаметром 35,6 мк, которая имеет такое же поперечное сечение. Поэтому подобные ленты можно применять в гальванометрах, электрометрах Долежалека и т. п. Одна из таких полосок с сопротивлением около 8 ом при комнатной температуре раскалялась под действием тока в 1 а и перегорела при 2 а.

Узкая полоска, отрезанная ножницами от сравнительно жесткого серебряного листа, скручивается, что может плохо сказаться на упругих свойствах платиновой сердцевины. Очевидно, более целесообразно протравить целый большой кусок листочка и затем, согласно Битти (стр. 129), отрезать от него узкие полоски.

Е) Проволоки из металлического порошка изготавливаются таким образом: порошок прессуется в нескольких вальцах с уменьшающимися желобами; прокат далее перерабатывается в проволоку; при этом менее плотные участки порошка на боковых поверхностях проката соскабливаются, и он точно профилируется [9].

Ж) Изготовление предельно тонких проволок из любого металла. Вольфрамовые проволочки наименьшего диаметра (до 3 мк) можно изготавливать после протягивания [10], уточняя их электролитически [11]. Метод требует, однако, большой прочности металла на разрыв. Кроме того, вследствие малости диаметра электрическое сопротивление проволочки в ванне очень велико. Это вызывает большое падение напряжения вдоль проволочки и неравномерное ее разложение.

Поэтому Биттель [12] для менее прочных на разрыв металлов разработал метод, основанный на электролитическом разложении в столбике жидкости, который обеспечивает для не слишком длинных проволочек уменьшение их диаметра, равномерное по всей длине. Проволока *a* (рис. 1,26) длиной, например, 10 см натянута на скобе *b*,

которая совершает движения с постоянной скоростью (например, 7 мм/сек) в продольном направлении, как лучковая пила. При этом

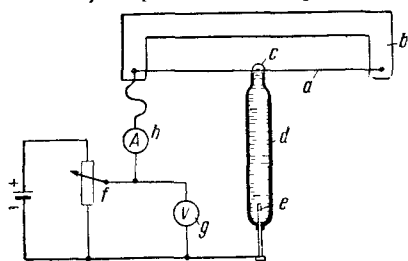


Рис. 1,26. Установка для растворения поверхностных слоев проволоки в капле жидкости (схема). *a* — проволока, *b* — держатель (изолятор), *c* — капля жидкости, *d* — стеклянная трубка с электролитом, *e* — катод, *f* — потенциометр, *g* — вольтметр, *h* — амперметр.

проволока, являющаяся анодом, проходит внутри капли *c*, которая образуется на кошке трубки *d*. На другом запаянном конце этой трубки, содержащей электролитический раствор, помещается отрицательный электрод *e*. На рис. 1,27 и 1,28 показано практическое устройство этой трубки, где стеклянная U-образная дуга *a* сделана для того, чтобы вместо капли образовался — подобно мыльному пузырю — жидкий слой с равномерной толщиной. Применение U-образной трубки

устраняет возможные помехи от пузырьков газа, которые иначе

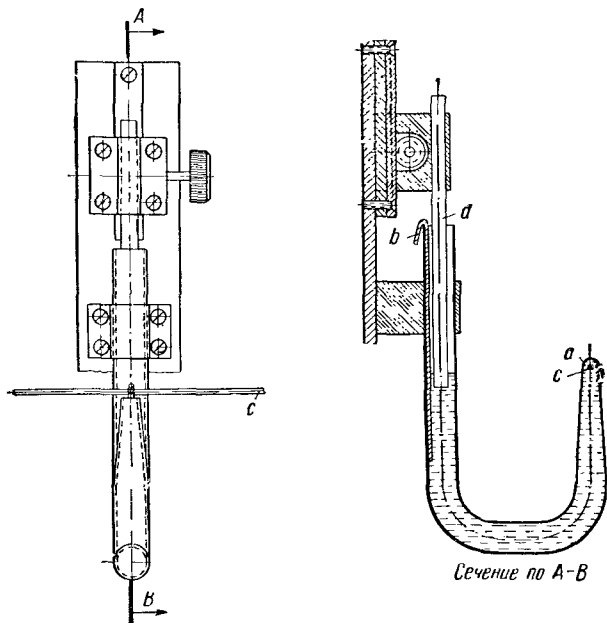


Рис. 1,27 и 1,28. Стеклянная трубка с жидкостью. *a* — стеклянный крючок, *b* — катод, *c* — проволока, *d* — подвижной пуансон.

поднимались бы кверху от катода. Если электрическое сопротивление *R* становится слишком большим и начинает сказываться

падение напряжения вдоль проволоки, то это явление можно уменьшить, присоединяя оба конца проволоки к положительному полюсу батареи. Если и это становится недостаточным, то необходимо при движении держателя b (рис. 1, 26) так подобрать положение движка потенциометра f , чтобы напряжение между анодом и катодом оставалось одинаковым при всех положениях капли c . В этом методе решающим является применение подходящих электролитов [13]. В области равномерного разложения плотность тока почти не зависит от напряжения. Можно также считать, что $1/R$ является линейной функцией числа проходов проволоки через электролит. Для предельно тонких проволочек время действия тока следует сокращать, уменьшая толщину жидкого слоя при помощи подвижного пуансона (d на рис. 1, 28).

3) Относительно дальнейшей обработки тонких проволочек надо дать следующие общие указания. Захватывать такие проволочки следует пневматическими щипцами [14]. Толщину проволочек до 25 мк следует определять также пневматически [15]. Изготовление проволочных решеток см. [16]. Защита проволочек см. [17]. Изготовление проволочных спиралей см. [18]. Удаление окалины с проволочек см. [19].

§ 7. Тонкие нити

А) Кварцевые нити

Абсолютная чувствительность системы гальванометра (или электрометра) растет с уменьшением отношения момента инерции к моменту кручения [1]. Вследствие этого применяют возможно более легкие системы и по возможности более тонкие нити для подвесов. Плавленый кварц является лучшим материалом для изготовления исключительно тонких нитей с очень высокой прочностью на разрыв и крайне незначительным упругим последствием. Для вытягивания нитей раньше пользовались методом Бойса [2], который заключается в следующем: один конец тонкого стерженька плавленого кварца укреплялся неподвижно, а другой крепился к стреле взведенного арбалета; нагрев середину стерженька до плавления, спускали стрелу, которая при своем полете вытягивала очень тонкую, равномерную и длинную кварцевую нить. Килей [3] улучшил этот метод, заменив стрелу длинной натянутой резиновой лентой. Он же рекомендует тонкую кварцевую нить с грузом на конце укрепить вертикально и окружить нагревательной спиралью; раскаливая последнюю в атмосфере водорода, можно заставить нить самопроизвольно вытягиваться. Перуччо [4] сообщает, что при очень небольшом навыке можно получать нити длиной от 2 до 3 м и толщиной от 2 до 10 мк, применяя следующий метод: кварцевая палочка растягивается в пламени гремучего газа так, чтобы длина и диаметр ее растянутой части равнялись соответственно 20 см и 1 мм; затем растянутую часть сгибают в форме буквы Z, вводят вертикальную часть в нижний конус пламени, а начало верхней горизонтальной части — в острие пламени и равномерно вытягивают нить в направлении вверх.

Очень изящный метод описал Никольс: верхний кончик кварцевой нити, толщиной в несколько десятых миллиметра, вносят в маленькое пламя гремучего газа, установленное вертикально. Тотчас же на несколько метров вверх поднимается весьма тонкая нить,

которую собирают на кусок черного бархата. Для хранения тонких нитей применяют различные приспособления, пользуются, например, двумя прямоугольными зеркалами одинакового размера, скрепленными своими обратными сторонами; вдоль узких кромок этих зеркал наклеиваются две планки с закругленными краями, несколько выступающие над поверхностью зеркал. Нить наматывают на эти планки и приклеивают к ним шеллаком. Нити, изготовленные способом Никольса и закрепленные подобным образом, а также более толстые нити, диаметром от 5 до 100 *мк*, можно приобретать в готовом виде [5].

Обращение с более толстыми нитями (диаметром более 5 *мк*) является несложным, но операции с очень тонкими нитями, которые непосредственно не видимы, требуют известной техники. Прежде всего рекомендуется армировать оба конца закрепленных на планках нитей. Для этого нарезают из бумаги или алюминиевой фольги продолговатые прямоугольные кусочки длины в несколько миллиметров и сгибают их посередине под острыми углами, в которые вводят очень небольшое количество клея (раствор шеллака); эти полоски надевают, как рейтеры, вблизи концов нитей, где они прочно приклеиваются после высыхания шеллачного раствора (этот раствор удобно высушивать, поднося к бумажным полоскам нагретый кончик стеклянной палочки).

При подвесе на кварцевую нить, например, подвижной системы гальванометра следует пользоваться зеркалом размерами примерно 20 × 20 *см*, которое прежде всего необходимо хорошо очистить ватным тампоном. Затем на зеркале наносят две метки на расстоянии, равном расстоянию между обеими деталями прибора, соединяемыми нитью. Зеркало, защищенное от пыли, оставляют лежать по крайней мере в течение четверти часа для того, чтобы оно наверняка освободилось от электростатических зарядов. После этого обе детали (например, катушку гальванометра и штифт его крутильной головки) кладут на метки зеркала. В этом положении детали закрепляют зажимами или легкими грузами. Затем выбирают — лучше всего при боковом освещении — нить необходимой толщины, захватывают тонким пинцетом (стр. 265) наклеенный на нее бумажный или алюминиевый листочек (рейтер) и обрезают нить между ее концом и этим листочком, который затем кладут на зеркало с нитями. Точно так же поступают с другим концом нити, после чего ее переносят за один из рейтеров на зеркало, где укреплены детали. Благодаря нагревке, которая создается рейтером, нить при этих операциях не взлетает на воздух, что с тонкими нитями всегда наблюдается даже при самых слабых движениях воздуха. Для приклеивания нити к детали следует приготовить сиропообразный спиртовой раствор шеллака; в большинстве случаев это не представляет затруднений. Следует добиваться того, чтобы нити лежали между деталями по возможности по прямой линии. Для этого их следует несколько натягивать (за рейтеры), пока клей еще не застыл. Места приклеивания несколько разогревают (приближая к ним нагретый кончик стеклянной палочки) до состояния легкого «кипения»; после этого обрывают выступающие «армированные» концы нити.

Особенно большая осторожность необходима при поднимании катушки, так как кварцевая нить не выносит резких перегибов. Чтобы избежать этого, под один край зеркала подкладывают мягкую тряпочку, чтобы катушка не пострадала (если нить оборвется). За-

тем одной рукой берут штифт (или зажим) и начинают медленно наклонять зеркало, слегка постукивая его пальцами, до тех пор, пока катушка не соскользнет вниз и нить окажется натянутой. Подвижные системы (катушки или стрелки), которые могут быть попорчены при падении даже с незначительной высоты, можно подвешивать иначе: сначала следует такую систему укрепить при помощи соответствующей вилки в правильном (вертикальном) положении, затем прикрепить нить к штифту крутильной головки и установить последнюю также в вертикальном положении на соответствующей высоте; после этого прикрепляют нить к системе и тогда медленно опускают вилки. Однако для того чтобы можно было увидеть нить, необходимо сильное боковое освещение.

В тех случаях, когда система нагружает нить почти до предела прочности, лучше между штифтом и нитью ввести спиральную пружину, протарированную таким образом, чтобы она несколько растягивалась под действием веса (кусоч проволоки), равного весу системы. Спиральные пружины, по-видимому, способствуют смещениям нулевой точки. Однако спиральную пружину можно заменить тонкой лентой, например нихромовой, изогнутой зигзагообразно, которая при нагрузке нити системой также должна несколько растягиваться, длину зигзагов можно брать около 7 мм, считая от их середины.

Прочность кварцевых нитей на разрыв исследовалась Рейнкобером [6] и Шурковым [7]. В табл. 1,26 даны результаты этих исследований. При чистой поверхности нити (прогревается в вакууме до 600—700°) прочность ее на разрыв, согласно Шуркову, повышается почти в два раза.

Т а б л и ц а 1,26

Диаметр, мм	Предельная нагрузка, г	Прочность на разрыв, кг/мм ²	Диаметр, мм	Предельная нагрузка, г	Прочность на разрыв, кг/мм ²
1	0,6	800	8	8,0	150
2	1,6	510	10	10	130
3	2,7	410	15	21	140
4	3,6	300	20	30	100
5	4,3	210	30	48	68
6	5,6	180	50	94	45
7	6,4	175	90	200	32

Если кварцевая нить служит для подвеса стрелок электрометра, то ее необходимо сделать электропроводной. В настоящее время повсеместно принято для этого платинировать нити, применяя катодное распыление (стр. 122); платиновую проволоку (катод) устанавливают параллельно нити. Бестельмейер описал прибор для исследования электропроводности нити во время процесса распыления непосредственно в вакууме.

Тянутые кварцевые нити можно применять как чувствительные пружины для микровесов. После вытягивания из стерженьков диаметром 1—2 мм тонких кварцевых нитей диаметром 0,1 мм их вновь нагревают до размягчения и в этом состоянии наматывают под натяжением на угольный стержень диаметром от 12 до 25 мм [8].

Б) Крест нитей

Для креста нитей в оптических трубах иногда предпочитают применять паутину, которую в виде коконов можно найти, например, в щелях пустых деревянных стросений. Собирают несколько коконов и сохраняют их для дальнейшего употребления в пробирке. На фланце, который должен нести крест нитей, наносят на токарном станке четыре риска так, чтобы соединяющие их линии были строго перпендикулярны. Далее готовят проволочную вилку, расстояние между концами которой должно быть приблизительно в два раза больше диаметра фланца. Вытягивают из кокона одну нить на 1 см, приклеивают ее к одному концу вилки и вытягивают нить дальше, очищая ее влажными пальцами, пока нить не достигнет второго конца вилки, к которому ее также приклеивают. После этого кокон срезают и вилку накладывают нитью на фланец так, чтобы нить оказалась натянутой весом вилки; с помощью лупы совмещают нить с рисками, нанесенными на фланце, и в этом положении приклеивают ее маленькими каплями нитролака. Толщина паутины около 5мк.

РАЗДЕЛ II

НЕКОТОРЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ

ГЛАВА I

АППАРАТУРА ДЛЯ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ

§ 1. Изготовление аппаратуры высокого давления

Неоднократно предлагались формулы для расчета аппаратуры высокого давления, в том числе и для цилиндров, усиленных бандажами или обмоткой снаружи [1]. Цилиндры, применяемые при высоких давлениях, усиливают также при помощи автофреттирования. Метод автофреттажа состоит в том, что в трубе в отсутствие давления внутренние слои стенок сдавлены, а наружные — растянуты. Такое состояние трубы получается в результате предварительного действия на нее высокого внутреннего давления: труба после изготовления подвергается внутреннему давлению, значительно превосходящему максимальное рабочее давление. Внутренняя полость после этого, в результате имеющей место пластической деформации, требует новой механической обработки. Отношение внутреннего диаметра резервуаров и трубопроводов, находящихся под давлением, к их наружному диаметру при давлении 10 000 атм должно равняться 1 : 10, так как при дальнейшем утолщении стенок прочность увеличивается только на незначительную величину. В манометрических спиралях применяют, однако, трубки с меньшим отношением диаметров.

Детали аппаратов высокого давления изготовляют из легированных сталей. Применяются стали, содержащие никель, хром, ванадий и молибден, они являются особо прочными. Для работы при высоких температурах надо применять жароустойчивые стали. При наличии водорода требуются водородоустойчивые стали. Спирали манометров в этих случаях также должны быть водородоустойчивыми. Для исследования магнитных свойств веществ при высоких давлениях [2] применяются некоторые сорта нержавеющей сталей на основе сталей 18Cr8Ni. Посредством автофреттажа прочность этих материалов повышается.

Соединение труб друг с другом существенно облегчается, если они имеют незначительную конусность (конус 2 : 100).

Аппаратуру высокого давления, рассчитанную на давление свыше 20 000 атм, изготавливают по Бриджмену [3], вдавливая один стальной конус в соответствующий второй конус. Этот метод имеет преимущество по сравнению с другими, так как упругие напряжения, возникающие на конических поверхностях, соответствуют внутреннему давлению в трубе, что при цилиндрических поверхностях не имеет места.

§ 2. Трубопроводы

В качестве трубопроводов для соединения отдельных частей аппаратуры при давлении до 1000 атм применяются цельнотянутые медные трубы (например, наружный диаметр 6 мм, внутренний диаметр 2—3 мм); при более высоких давлениях применяются главным образом стальные капиллярные трубки. Среди цельнотянутых стальных труб для установок, работающих под давлением, имеются трубы для номинальных давлений от 200 до 640 атм, от 1 до 100 атм и до 25 атм. Однако для еще более высоких давлений имеет смысл изготавливать трубы путем высверливания круглой заготовки. При большом числе оборотов и применении соответствующим образом заточенного сверла (а может быть, торцевого пушечного сверла) эту работу можно выполнить за относительно короткое время. При сверлении давление на сверло не должно быть сильным.

§ 3. Вентили

Вентили применяются в аппаратах высокого давления, если необходимо перекрыть часть аппаратуры. Если для получения высоких давлений пользуются жидкостью, то до давлений в несколько сотен атмосфер можно применять вентили следующих конструкций.

Конус *D* (рис. 11,1) на конце шпинделя *S* давит вниз в направлении отверстия *B*, прижимая таким образом металл к металлу. Конус *D*

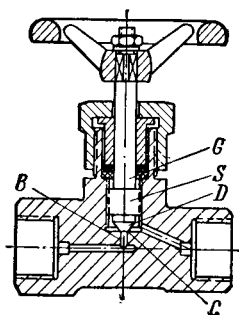


Рис. 11,1. Вентиль с уплотнением металл-металл.

во всех случаях должен быть тверже, чем материал, в котором сделано отверстие *B*. Конус *D* в большинстве случаев имеет угол 90°. Место уплотнения *C* должно представлять собой острый край и иметь маленький диаметр. Периодически рекомендуется прирабатывать место *C*, сильно завертывая шпиндель. Но при обычных работах не следует вентиль сильно затягивать, так как иначе место уплотнения слишком быстро деформируется, и вследствие этого поверхность соприкосновения возрастает. Тильная отшлифованная (цилиндрическая) часть шпинделя *G* уплотняется с помощью прокладок, например свинцовых. Во многих случаях вместо металлических прокладок прекрасно служат уплотнения из асбестового шнура, пропитанного графитовой смазкой. Известны также конструкции вентиля, у которых уплотняющие прокладки можно заменять во время действия аппаратуры. Для этой цели предусмотрен второй конус вентиля (см. рис. 11,2). При обратном вращении шпинделя этот конус перекрывает сообщение с наружным пространством, что позволяет освободить верхнюю гайку и сменить набивку.

На рис. 11,3 представлен разрез вентиля со сменным седлом клапана, рассчитанного на давление в несколько тысяч атмосфер. Уплотнение осуществляется удлиненным конусом. Внутренняя металлическая уплотняющая шайба у вращающейся части с наружной стороны скошена для лучшего прилегания обеих кожаных прокладок.

На рис. II,4 показан вентиль Бассета для давлений до 5000 атм. Конус из легированной стали, с углом заострения около 10° , для повышения прочности вставляется в стальную кожу. Две гайки (B, C) служат для придания конусу определенного положения его в коже. Оба канала (D, E) нагнетательного трубопровода имеют

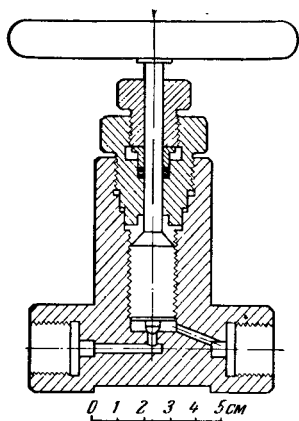


Рис. II,2. Вентиль со вторым уплотняющим конусом.

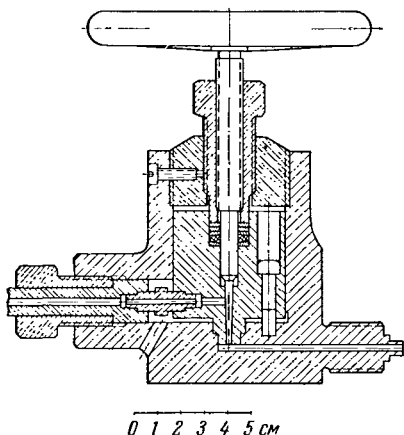


Рис. II,3. Вентиль со сменным седлом.

диаметр около 1,8 мм. Вращение головки H передается через шариковый подшипник на шпindelю S с конусом K ($\sim 30^\circ$). В качестве самоуплотнения применяется несколько модифицированное уплотнение Бриджмена. В стальную пластину L вставляется цилиндрический штифт J, который способствует уменьшению поверхности уплотнительной шайбы M (резина). Две стальные пластинки (N, O) образуют затвор уплотнения. С помощью гайки P уплотнение можно подвергнуть предварительному напряжению. Соединения нагнетательного трубопровода осуществляются так, как это показано на рис. II,5. Эти вентили с успехом применяются до давления 5000 атм.

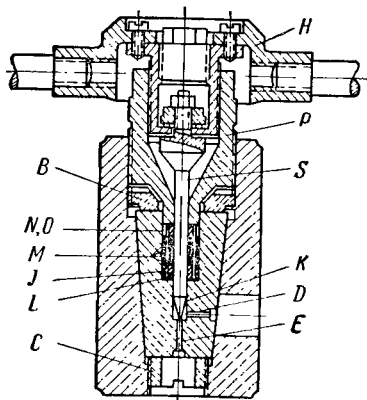


Рис. II,4. Вентиль на 5000 атм.

Если высокие давления получают в газах, то берут длинный конус (угол около 10°), причем коническое отверстие в соединяемой с ним детали делается с углом на 1° больше (рис. II,6). В этом вентиле щель между уплотняющим конусом и стенками отверстия имеет

точную регулировку, благодаря чему вентиль с успехом можно применять для регулирования газового потока. Если редукционного вентиля недостаточно или исследуемый объем имеет значительные размеры, то с помощью этих вентилях при соблюдении осторожности можно получить желаемое давление при условии, что в распоряжении экспериментатора имеется сильно сжатый газ, например азот в стальном баллоне.

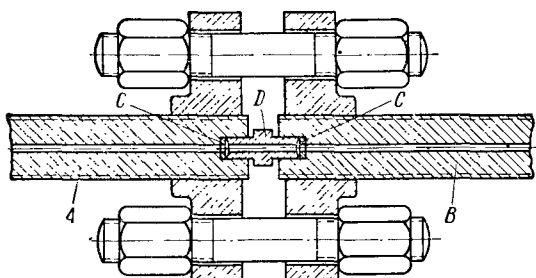


Рис. П.5. Герметическое соединение труб.

В некоторых случаях, например при наполнении, переливании и добавлении чистого газа в стальные баллоны, необходимо применять вентили для вакуума. При откачке негерметичность сальника обычного вентиля заметно нарушает этот процесс. Применяя вме-

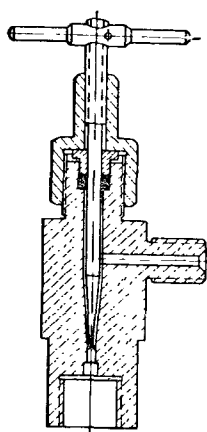


Рис. П.6. Вентиль для газа.

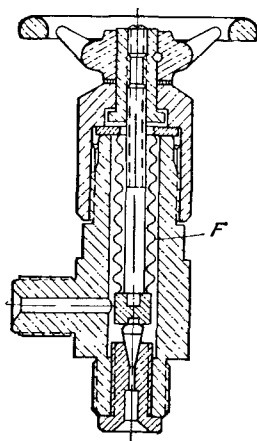


Рис. П.7. Вентиль с сальфоном.

сто сальников упругую спиральную трубку [4] или упругое пружинящее тело *F* (сальфон, рис. П.7), можно получить вентиль, который герметически сохраняет вакуум до избыточного давления 150 атм.

В насосах с жидкостями до давлений 5000 атм применяются шаровые клапаны, надежно работающие как со стороны всасывания, так и со стороны давления. Для достижения лучшего уплотнения в ряде случаев рекомендуется применять шарик со слабой спиральной пружиной, прижимающей его к седлу клапана. Образцы вентиля с такими клапанами, которые можно легко заменять и подвергать дополнительно приработке, очень хорошо себя зарекомендовали в установках, работающих под давлением до 2000 атм; эти вентили показаны на рис. 11,8 и 11,9. При конструировании

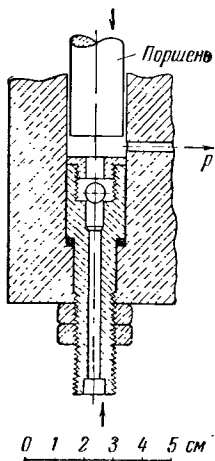


Рис. 11,8. Впускной вентиль нагнетающего насоса со сменным седлом.

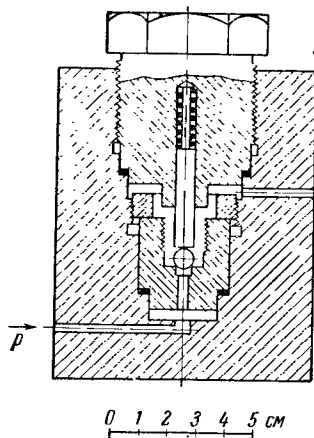


Рис. 11,9. Впускной вентиль нагнетающего насоса со сменным седлом.

установок высокого давления надо стремиться седло клапана и другие подобные части делать сменными, чтобы их можно было изготовить на небольшом токарном станке.

Для уменьшения износа были разработаны конструкции конуса, в которых при открывании и закрывании не происходит вращения конуса вентиля, а имеет место лишь его смещение в осевом направлении. Некоторые вентили описаны у Комингса [5] ¹⁾.

§ 4. Рабочие жидкости

В качестве жидкости для высоких давлений при комнатной температуре можно применять не очень густое машинное масло. Так как при более высоком давлении это масло становится очень вязким, то до 5000 атм употребляют парафиновое масло ДАВ6. Для давлений до 10 000 атм и при комнатной температуре применялись также ситойль (китовый жир) с декалином, тяжелый нефтяной эфир или смесь воды с глицерином в отношении 3 : 1. При давлениях до 12 000 атм применима смесь из двух частей керосина, одной декалина и одной парафинового масла. Для давлений до 15 000 атм

¹⁾ Каталог предохранительных вентилях см. у Тренклера [6].

можно использовать жидкость из одной части парафинового масла, одной части декалина и шести частей керосина. Для давлений свыше 20 000 *атм* пригодна смесь из изо- и н-пентана. Такая смесь может применяться в качестве жидкости, работающей под давлением при температурах ниже 0° С. Силиконовые масла применимы для тех же давлений и при более высоких температурах (до 200° С).

§ 5. Рабочие газы

Газы, вследствие их большой сжимаемости и опасности работы с ними при высоких давлениях, вряд ли будут применяться для получения высоких давлений, за исключением тех случаев, когда они сами должны быть объектом исследования. Йодер [7] описал аппарат, рассчитанный на давление газа до 10 000 *атм* и температуру до 1400° С, в котором для получения давления применяется аргон; эта температура получается в маленькой печке, помещенной внутри аппаратуры высокого давления (при этом стенки камеры имеют комнатную температуру, что достигается применением специального водяного охлаждения). В некоторых работах в качестве рабочего тела применялся азот; при давлении около 19 000 *атм* он переходит в твердое состояние.

В случае применения водорода или других «агрессивных» веществ установка должна быть изготовлена из материала, не подверженного разрушению этими веществами.

Для сжатия чистых газов используют ртутные насосы, которые приводятся в действие сжатым воздухом или, при более высоких давлениях, жидкостными насосами; см., например, установку Холборна [7b] и Шульце или Михельса [7c].

§ 6. Соединения

Для соединения отдельных частей установки высокого давления можно пользоваться следующими способами.

На концах соединяющих трубок (рис. П,10) нарезается резьба, которая входит в соответствующую резьбу в деталях *A* и *B*. Эти детали соединяются с трубками при помощи специальных уплотнителей или же пропаиваются при ввинчивании мягким припоем.

С помощью прижимной гайки *C* деталь *A* сильно придавливается к детали *B*, причем шайба *D* из мягкого материала деформируется и уплотняет соединение. В качестве материала для этих шайб употребляют свинец, кожу, фибру и медь, последняя перед употреблением прокаливается. При работе с кислородом можно в качестве уплотняющего материала применять только фибру или медь. Кроме того, необходимо следить за тем, чтобы на деталях не было масла или жира. Для соединения трубопровода с аппаратом высокого давления часто применяют конструкцию, пригодную для давлений до нескольких сотен атмосфер, которая имеет такой вид (рис. П,11). На конец трубки *A* припаивают твердым припоем цилиндр с фланцем *B*, или на конце *A* нарезается левая резьба. В последнем случае цилиндр *B*, также с левой резьбой, при навинчивании пропаивается мягким припоем. При помощи прижимной гайки *C* с правой резьбой трубка и уплотняющая шайба *E* плотно соединяются с аппаратом.

При более высоких давлениях, а также при более высоких температурах вместо уплотняющих шайб применяют стальные линзы. Для того чтобы в случае нарушения уплотнения можно было

ограничиться заменой только уплотнительной линзы, предел упругости ее материала должен быть меньше, чем у материала трубы. Однако в некоторых случаях линзу надо делать более жесткой. Для сокращения работы, необходимой для восстановления уплотнения, концы труб не следует закруглять, так как площади соприкосновения должны быть достаточно малыми.

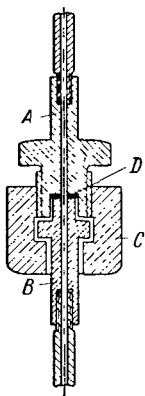


Рис. II,10. Соединение труб на резьбе.

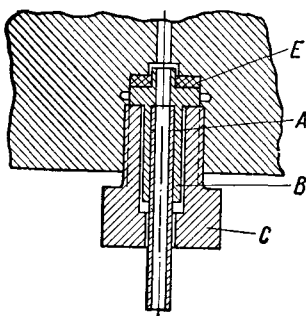


Рис. II,11. Присоединение трубопровода.

Известны конструкции, в которых уплотнение линзами происходит на острых краях. Примеры представлены на рис. II, 12 и II, 13. Уплотнение линзами применяется с большим успехом до давлений свыше 5000 атм. Вместо линз применяются также кольца с закаленными уплотняющими режущими кромками. При стягивании места уплотнения режущая кромка вдавливается в поверхность материала, чем достигается плотное соединение металла с металлом.

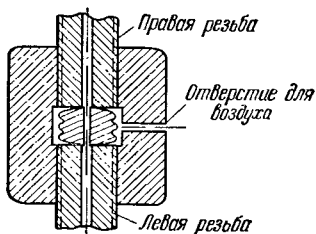


Рис. II,12. Линзовое уплотнение.

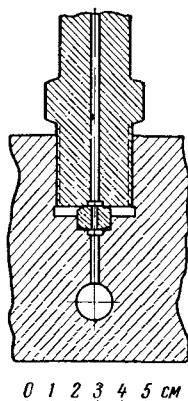


Рис. II,13. Линзовое уплотнение.

Если поверхность материала плоско отшлифована, то на нее можно наложить шайбу из армо-железа толщиной около 3 мм, в которую и будет вдавливаться режущая кромка кольца. Диаметр уплот-

няющей режущей кромки должен быть возможно малым. Манометры с уплотняющими режущими кромками изготавливаются для давлений свыше 5000 атм. Надо, однако, отметить, что изготовление таких кромок требует некоторого опыта.

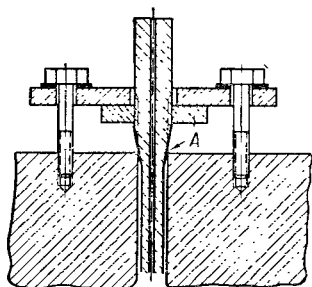


Рис. П,14. Конический ввод трубопровода.

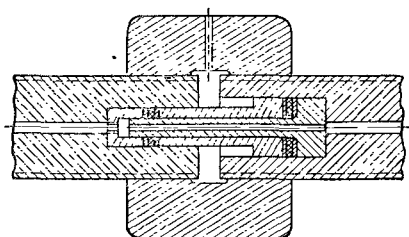
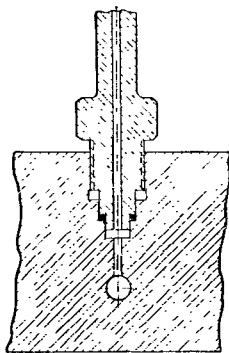


Рис. П,15. Уплотнение для давлений до 2000 атм.

Бассет при исследовании газов под давлением в несколько тысяч атмосфер применял также особый вид режущего уплотнения, которое представлено на рис. П, 5. Трубопроводы *A* и *B* с резьбой на наружной поверхности имеют на концах цилиндрические расширения канала, в которые плотно запрессовываются медные шайбы *C* со сквозным отверстием.



0 1 2 3 4 5 см

Рис. П,16. Уплотнение с медной шайбой.

Для соединения трубок служит деталь *D*, имеющая небольшое сквозное отверстие. Ее коцы имеют острые кромки, при палички медных шайб это обеспечивает надежное уплотнение даже при слабом затягивании гаск на болтах, которые проходят через отверстия в наружных фланцах, навинченных на трубы. Так как медь при таких условиях становится текучей, то обычно наблюдается расширение отверстий в этих шайбах.

Широкое применение для уплотнения трубопроводов находит также металлический конус. Здесь необходимо следить за тем, чтобы отверстие *A* (рис. П, 14) имело возможно более острую кромку: это позволяет получить хорошее уплотнение уже при незначительном затягивании прижимного устройства. Конус и металлические линзы позволяют производить их быструю замену и в силу этого обычно применяются в химической промышленности. Этот вид уплотнения можно применять также при исследованиях газов под давлением до 10 000 атм (см. Йодер [7]).

Дальнейшее развитие уплотнения Бриджмена, которое можно применять для соединения трубопровода с камерой высокого давления, показано на рис. П, 15. Это уплотнение, применявшееся авто-

ром при работах с жидкостями, было испытано при давлениях до 20 000 атм.

Автор применяет обычно при соединениях уплотнительные шайбы из меди, как это показано на рис. 11, 16. При этом надо иметь в виду, что медные кольца должны быть по возможности меньше и тоньше, а соединяемые части так обработаны, чтобы шайбы входили возможно более плотно. Такая конструкция оказалась применимой для жидкостей при давлениях до 11 000 атм [7а].

Вместо шайб в настоящее время часто применяются O-образные кольца [3]. Укажем еще на имеющиеся в продаже конические уплотнители «Эрмето» для давлений до 400 атм и малоизвестные винтовые соединения «Эрго» для давлений до 2000 атм.

§ 7. Уплотнения

Подвижный поршень жидкостных насосов и ручных прессов для давлений до нескольких тысяч атмосфер уплотняют в большинстве случаев шайбами из мягкого материала, например кожи. Шайбы плотно притягивают к прочной опоре; при этом они деформируются, что и сообщает поршню необходимое уплотнение. Шайбы могут быть плоскими или иметь другую форму, например U-или V-образную. При большом периметре уплотнения можно применять вместо кожи пропитанный в масле асбестовый шнур.

Известны также конструкции таких уплотнений с мягкими металлами (см. у Комингса). Торцевую плоскость подвижного поршня D (рис. 11, 17) можно

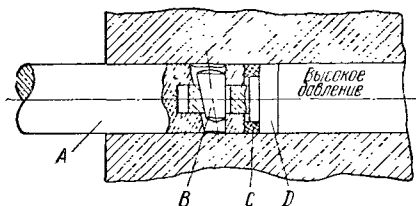


Рис. 11,17. Самоуплотняющийся поршень пресса.

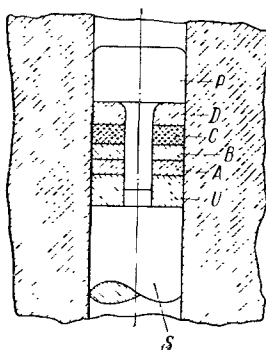


Рис. 11,18. Уплотнение Бриджмена.

сделать самоуплотняющейся — по типу уплотнения Бриджмена; в этом случае при возрастании давления уплотнение не будет нарушаться. Если для перемещения поршня служит винт A , то поршень поворачивается; в этом случае уплотнение можно обеспечить с помощью клина B , который позволяет получать равномерное напряжение в уплотняющей шайбе C . Пресс с таким устройством был опробован автором до давления в 2000 атм.

Другие конструкции уплотнителей как для насосов, так и для вращающихся поршней см. у Комингса.

В аппаратах высокого давления, для давлений до 20 000 атм и выше, лучшие результаты при уплотнении подвижного поршня получаются при способе Бриджмена. Верхняя головка поршня P (рис. 11,18) делается из нержавеющей стали, ее грибок плавно

переходит в тонкий шток, на который насаживаются: уплотняющие шайбы — из меди *B* и *D*, из резины *C*, из мягкого железа *A* — и опорное кольцо *U* из закаленной шарикоподшипниковой стали. Поршень *S*, передающий усилие, также делается из шарикоподшипниковой стали. Резиновая шайба *C* должна очень туго входить в отверстие камеры высокого давления, чтобы обеспечить уплотнение и при малых давлениях. При установке резиновой шайбы необходима осторожность. Так как при высоких давлениях уплотняющие материалы текут и при этом сила трения возрастает, то металлические уплотняющие шайбы приходится часто исправлять; резиновые шайбы требуют замены.

Ансон [8] описывает другой способ уплотнения, применимый для прессующих поршней и соединительных труб для давлений до 15 000 атм; он применяет конусы и резиновые шайбы в виде уплотнительных линз.

§ 8. Запоры

Запоры для аппаратуры высокого давления целесообразно делать по принципу уплотнений с подвижным поршнем (рис. II, 19 для давлений до 20 000 атм). Цилиндр *C*, находящийся в гайке *D*, служит для передачи давления; это предохраняет резьбу от перенапряжений. Коническая деталь *B* должна передавать усилие от нижнего опорного кольца *A* равномерно на цилиндр *C*.

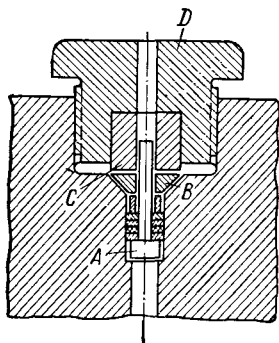


Рис. II, 19. Запор.

§ 9. Изолированные вводы

Изолированные вводы необходимы при электрических исследованиях в камере высокого давления. Эберт и Гиллсен [10] при своих исследованиях зависимости электрического сопротивления от давления пользовались следующим устройством [9], которое работало с затвором нормального типа и было испытано ими до 20 000 атм. Запирающий стержень *D* (нихромовая сталь) (рис. II, 20) имел по оси канал с диамет-

ром около 1,0 мм. В его верхнем конце имеется коническое расширение с углом 30°. В это расширение вставлен колпачок *C* из искусственного материала с льняной прокладкой толщиной около 0,8 мм. Внутри колпачка находится электрод в форме стального конуса *B*, в вершину которого вставлена медная проволока толщиной 0,2 мм в шелковой обмотке; она припаяна к конусу *B* мягким припоем. Необходимо позаботиться о том, чтобы колпачок *C* не доставал до вершины стального конуса *B*; благодаря этому исключается возможность обрыва стальной проволоки, впаянной в *B*, если в материале колпачка возникает при высоких давлениях пластическая деформация. На другом конце стального держателя находится изолятор из тефлона, в который вставлена латуновая деталька. К ней припаяваются медная и контактная проволоки. После сборки электрода стальной конус запрессовывается в изолирующий колпачок *C* под давлением, достаточно большим для того, чтобы в колпач-

ке появились пластические деформации. В результате таких операций колпачок получает форму конуса, что обеспечивает безукоризненную герметичность соединения.

Целесообразно обмазать шеллаком изолирующее гнездо на верхнем крае после запрессовки. Тогда даже при малых давлениях будет достигнуто безупречное уплотнение. Если запирающий грибок должен иметь много электровводов, то конуса располагают наклонно по бокам грибка. На рис. П, 21 изображена верхняя часть запирающего грибка для четырехканального электроввода на давление 20 000 атм.

Электрический ввод, применяемый для давлений до 12 000 атм, с сапфиром см. в [11].

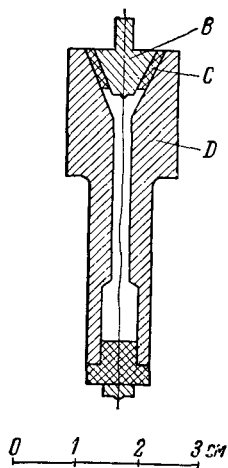


Рис. П, 20. Изолированный ввод.

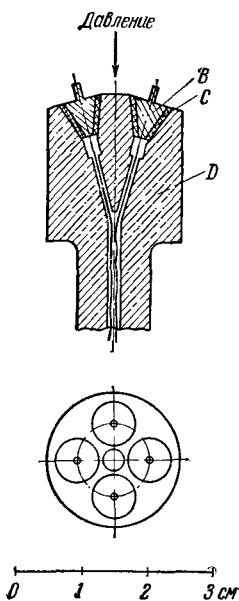


Рис. П, 21. Изолированный четырехканальный ввод.

Лазар, Сорель и Водар [12] вместо выточенных из цельного материала колпачков из искусственных веществ применяют конические вводы из пластических изоляционных слоев, например аральдита, толщиной от 0,2 до 0,3 мм. Преимуществом этого метода является возможность избежать специальной шлифовки конусов. Тефлон в качестве изолирующего слоя неприменим, так как он под давлением становится текучим. Иоханнин [13] для давлений жидкостей до 10 000 атм применяет хорошо шлифованные конические вводы из спеченного глинозема, покрытого для уплотнения тонким слоем смолы.

Другие типы изолированных вводов описаны Бриджменом [14]. Если при исследованиях необходимо подать в камеру высокого давления ток большой силы, то можно применить изолированный ввод Бассета, причем для уплотнения (H) наружного электрода (рис. П, 22)

применяется метод Бриджмена. Внутренний стальной электрод *A* с расширением в виде тарелки, павернутым, а не припаянным мягким припоем, по концам изолируется слюдяными шайбами *C, D*, а с боковых сторон окружается также слюдой *E, F*. Этот последний прием упрощает сборку ввода. Насадка, необходимая для его удлинения, присоединяется на резьбе и окружается изолирующей трубкой *G*. Гайка *B*, имеющая пилец, дает возможность плотно прижимать внутренний электрод к опорной плоскости. Между слюдяными шай-

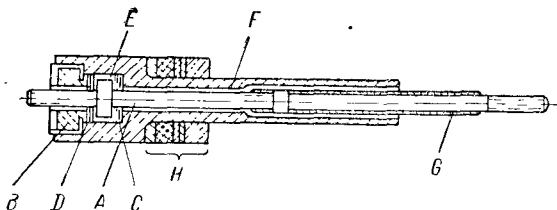


Рис. II, 22. Изолированный ввод.

бами *C* и *D* для предохранения от больших механических напряжений вставляется железная шайба. Слюдяная изоляция в *E* и *F* может быть надежно заменена слоем изоляционного лака, при этом упрощается изготовление соединения.

Если необходимо измерять температуры в камере высокого давления, то требуются изолированные вводы для термомпар. Для этой цели можно применять описанные выше конструкции вводов.

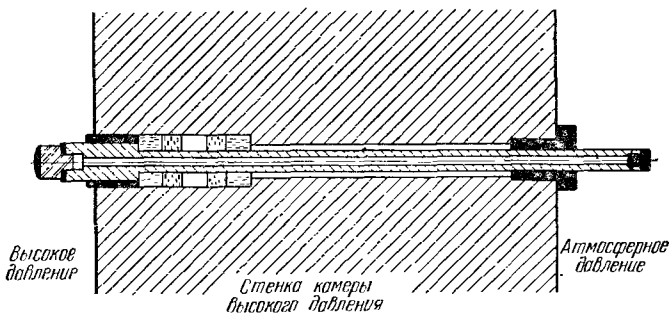


Рис. II, 23. Изолированный ввод для термомпар.

В случае, если вдоль электроввода ожидаются градиенты температуры, стальной конус и медная проволока должны быть заменены соответствующими термоэлектрическими материалами. Автор весьма успешно пользовался многими электровводами такого рода.

Йодер [7] пользовался другим вводом при исследовании превращений кварца при давлениях до 10 000 атм и температурах до 1400° С. Стальной стержень (рис. II, 23), закаленный до твердости 40 по Роквеллу, имеет сквозное отверстие диаметром 5 мм. Термопровод припаявается твердым припоем с обеих сторон металлической пластинки, которая сама припаяна мягким припоем к вводу и

таким образом обеспечивает уплотнение сквозного отверстия. Проходящий через отверстие термопровод изолируется от его стенок при помощи кусочков стеклянных капиляров. При вводе применяется уплотнение Бриджмена. Уплотняющие кольца изготавливаются из силиката, содержащего Mg. Позднее в качестве уплотняющих колец стали применять стальные кольца, вставленные в резиновые. Фибровое кольцо со стороны высокого давления и фибровая втулка со стороны атмосферного давления обеспечивают еще лучшую изоляцию. Для достижения уплотнения при малых давлениях проводник прочно запрессовывается в предназначенное ему место в установке высокого давления с помощью винтового пресса или другого подобного приспособления.

Другие образцы изолированных проводников для термонар были описаны Бриджменом [14], Адамсом, Вильямсоном, Джонстоном [15], Горансоном [16] и Бэрчем [17].

§ 10. Окна

Для наблюдения процессов, происходящих внутри аппаратуры высокого давления, необходимы окна из стекла или кварца. Для этой цели в зазирающем грибке аппарата высокого давления просверливается отверстие диаметром около 2 мм в случае, если наружный диаметр штока грибка равен 10 мм (рис. П,24). Торцевую поверхность грибка, обращенную в сторону высокого давления, оптически полируют. Торцевые поверхности цилиндра из стекла или

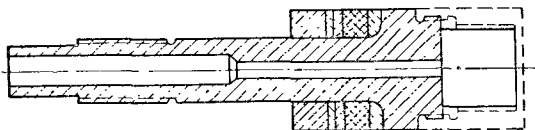


Рис. П,24. Устройство окна.

кварца также оптически полируют. Цилиндр опирается на полированную торцевую поверхность грибка. Если обе поверхности хорошо отполированы, то на поверхности соприкосновения будет видно только несколько концентрических колец. Если стеклянный или кварцевый цилиндр не дают плотного соединения, то их можно слегка сдвинуть при помощи прижимной гайки или приклеить тонким слоем кападского балъзама. Такие окна с большим успехом были применены до давлений 12 000 атм и выше.

Поултер [18] применяет подобное устройство для давлений до 20 000 атм. Удобные формы выводов описаны Бриджменом [14]. Устройство окон с O-кольцевым уплотнением приведено у Комингса [5]. Гилессен [19] испробовал окно, изготовленное по примеру электропроводов, причем стальной конус заменялся на стеклянный. Эберт [20] при определении сжимаемости металлов применял окна; для устранения искажений, вносимых стеклом, применялись иммерсионные жидкости. Дрикамер [21] предложил изготавливать окна для давления 12 000 атм из искусственного сапфира, вырезанного так, что ось *S* перпендикулярна к поверхности окна.

При работе с давлениями до 100 атм окна следует приклеивать.

§ 11. Манганиновый манометр

Манганиновый манометр с успехом применяется при измерении статических или медленно изменяющихся давлений в газах и жидкостях вплоть до 20 000 атм.

Для измерений необходимо знать коэффициент зависимости электрического сопротивления применяемой манганиновой проволоки от давления; как показали наблюдения, эти коэффициенты оказываются различными для различных образцов манганина, в зависимости от состава и термической обработки. Далее, необходимо обеспечить неизменность сопротивления катушки до и после наложения давлений. Затем необходимо, чтобы проволока, находясь в камере давления, была вполне свободной, т. е.

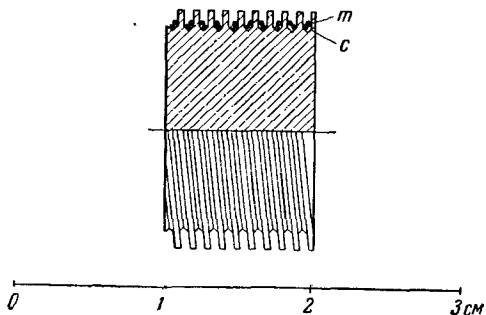


Рис. П,25. Каркас катушки манометра сопротивления.

чтобы давление не вызывало в ней никаких дополнительных напряжений, которые могли бы повлиять на ее сопротивление и тем вызвать ошибки при измерениях. В физико-техническом бюро для измерений применяется катушка из манганиновой проволоки (диаметр 0,15 мм, покрыта эмалью или лаком и дважды обмотана шелком) с общим сопротивлением около 10 ом. Раньше проволока наматывалась на какой-нибудь стержень (диаметр 4 мм) вручную бифилярно, плотно, но без излишнего натяжения. Затем катушку спинали с сердечника, при этом она несколько расходилась. Затем ее концы припаивались мягким или лучше твердым припоем к концам электродов изолированного ввода; катушку устанавливали так, чтобы оба ее конца были направлены перпендикулярно по отношению к опорной плоскости ввода. При таких условиях наблюдалось хорошее постоянство сопротивления катушки.

В последнее время применяется новый метод изготовления таких манометров. На цилиндре из талька диаметром 16 мм делается винтовая нарезка глубиной 1—1,5 мм. Шаг нарезки 0,75—1 мм (рис. П,25). После прокаливания при 950° С в углублениях на обоих торцах цилиндра укрепляются аральдитом маленькие медные колодочки, предварительно приготовленные. К ним перед укреплением на месте припаиваются твердым припоем по два медных провода для напряжения и тока. Затем в нарезку наматывается медный провод с диаметром 0,15 мм. На этот провод свободно наматывают манганиновый

провод m и припаяют его концы к медным колодочкам; после этого намотанную снизу медную проволоку осторожно снимают, так что остается марганцовый провод, свободно лежащий в нарезке. Он обладает достаточной подвижностью. Кроме того, катушка под давлением не сжимается, как это имело место при прежнем методе изготовления манометра, и дополнительных изменений сопротивления не возникает. Марганцовые катушки несколько суток подвергаются температурной обработке при 140°C , а затем их подвергают в течение некоторого времени давлению, превышающему максимальное рабочее; эта операция повторяется несколько раз. Обработанные таким образом катушки обладают хорошим постоянством сопротивления при атмосферном давлении.

Бриджмен [14] исследовал для своих катушек, намотанных несколько иначе, цикл старения под действием высокого давления и низкой температуры.

Влияние вида намотки марганцовых катушек для манометров исследовал Горансон [16].

В последнее время вместо марганца все чаще применяют сплав золото-хром (2,05% Cr); малый температурный коэффициент сопротивления этого сплава позволяет изготавливать из него эталоны электрического сопротивления [22]. Благоприятное соотношение между коэффициентом давления и температурным коэффициентом электрического сопротивления этого сплава является преимуществом при его применении. Провода из этого сплава рекомендуется припаять к медным или платиновым проводникам твердым припоем.

Другими приемами техники высоких давлений и применяемыми при этом устройствами являются: применение нейлоновых нитей в механизме манометра Бурдона [23], противокоррозийная защита для манометров [24] и предохранения при превышении давлений [25].

Г Л А В А II

АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

§ 1. Запись звука

Магнитные методы дают для акустических измерений ряд возможностей, которые представляют особую ценность при анализе звуков. Например, при соответствующей конструкции усилителя можно низкочастотные процессы (ниже 30 *гц*) записывать при малой скорости протяжки ленты, а при воспроизведении процесса затем пропускать ее со скоростью во много раз большей [1]. Таким способом можно исследовать спектральный состав медленных колебаний, пользуясь известными методами анализа слышимых звуков.

Применяя метод поискового (зондирующего) тона, необходимо, как известно, затрачивать некоторое время (более, примерно, 1 *мин*), которое должно быть тем больше, чем выше желаемое разрежение. Применяя этот метод для анализа коротких звуковых процессов, продолжительностью в несколько секунд, можно пользоваться таким приемом: из исследуемой магнитной ленты вырезают кусок длиной около 1 *м* (длительность звучания более 1 *сек*) и концы его склеивают; это кольцо можно пропускать через воспроизводящую систему сколь угодно долго и обеспечить этим время, необходимое

для исследования быстрых звуковых процессов. Для этой же цели применяется подвижная воспроизводящая головка, позволяющая по желанию растягивать быстрые процессы (акустическая луна времени).

Шпрингер предлагает подобное устройство, в котором имеются четыре подвижные головки для растяжения и сжатия времени звукозаписи. Продолжительность воспроизведения без какого-либо ухудшения его качества можно менять в пределах $\pm 30\%$ времени записи [2].

В звуковом кино применяется подобный метод, но с соответствующими изменениями. Свет сильного источника (кварцевая лампа высокого давления) освещает через щель шлейф осциллографа, на который и подается исследуемое быстропеременное напряжение. Возникающая на фотопленке световая дорожка проектируется на киноленту и улавливается находящимся сзади нее фотоэлементом [3].

При регистрации переходных (нестационарных) звуковых процессов при помощи электронного осциллографа можно пользоваться таким приемом. Записав исследуемый нестационарный звуковой процесс на магнитной ленте, приклеивают к ее обратной стороне вблизи начала записи короткую металлическую полосу. При протягивании ленты эта полоска скользит по двум контактным щеткам, что вызывает импульс напряжения для запуска развертки. Это позволяет регистрировать однократные звуковые процессы при желаемой скорости развертки. Особенно полные результаты можно получить, если один и тот же процесс исследовать несколько раз, применяя полосовые фильтры с различной шириной пропускания.

Другая интересная область использования магнитофонов основана на возможности переставлять воспроизводящие головки [4]. Этим приемом можно искусственно изменять время запаздывания звука, что очень важно при исследовании акустики помещений. Склеенная в кольцо лента протягивается многократно мимо записывающей головки. Воспроизводящие головки можно передвигать и помещать на различных расстояниях от ленты. Поэтому один и тот же процесс можно прослушивать с различным временем запаздывания, даже если оно является коротким. Прежде чем лента снова возвратится к записывающей головке, прежняя запись может быть стерта, благодаря этому лента будет готова к новой записи.

Шоддер, Шредер и Тиле сообщают об улучшении слышимости в театре, если применять особые установки. Звук со сцены улавливается семью конденсаторными микрофонами, установленными на осветительном мостике, и через замедляющее устройство с запаздыванием в 75 мсек воспроизводится громкоговорителями, озвучивающими дальние ряды театра [5].

§ 2. Итерация

Важное значение имеет итерационный метод Мейера — Эшлера [6], при котором контрольные записи на пленку (колебаний, импульсов, а также речи и т. п.) проигрываются на исследуемой системе (например, магнитофоне). Сигнал (с искажениями) на выходе этой системы записывается вторым магнитофоном. Затем получен-

ная запись проигрывается вторично на исследуемой системе и вновь записывается. Многократное повторение такого процесса (итерация) позволяет на основании последней записи оценить качество передающей системы. Таким путем можно сделать доступными для наблюдения и измерения едва заметные эффекты.

§ 3. Визуальное наблюдение поля звуковых колебаний

А) В области звуковых частот Гавро и Калаора [7] описали аппаратуру, с помощью которой можно, проводя измерения в разных плоскостях, автоматически получить запись кривых равной фазы в трехмерном поле звуковых волн.

Б) В области ультразвуковых частот поля ультразвуковых колебаний большой интенсивности можно сделать видимыми в воздухе, жидкостях и на поверхности тел путем получения известных пылевых изображений (ликоподий). Как показали работы Л. Бергмана, более точное изображение ультразвуковых, как стоячих, так и бегущих, волн можно получить с помощью теневого метода Теплера. Таким путем Гидеман с сотрудниками получили изображение амплитудного поля перед колеблющимся кварцем. Из определения почернений на фотографической пластинке в монохроматическом свете можно найти распределение энергии. Если применяется белый свет, то места равного звукового давления окрашиваются в одинаковые цвета. Экспериментальная установка для визуального наблюдения бегущих волн изображена на рис. П,26,

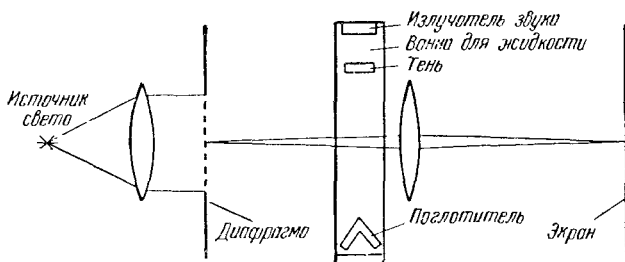


Рис. П,26. Визуальное наблюдение бегущих звуковых волн.

заимствованном из работы П. Рикмана [8]. Пучок параллельных лучей падает на экран из алюминиевой фольги с малыми отверстиями, отстоящими друг от друга в горизонтальном направлении на 2 мм, а в вертикальном на 4 мм. Точечные источники света, образованные отверстиями, проецируются линзой на экран. Под действием ультразвука точечные источники растягиваются в короткие линии, длина которых пропорциональна интенсивности колебаний. Фронты волн перпендикулярны к этим линиям. Требуется мощность звука 100—150 вт. На дне сосуда с жидкостью помещен клиновидный поглотитель из искусственного вещества (тролен 200), подавляющий отражение звуковых волн.

Р. Польман применил для получения изображения ультразвуковых волн принцип шайбы Релея. В качестве преобразующего экрана служила тонкостенная кювета (рис. П,27), заполненная суспензией тончайших алюминиевых блесток (диаметр около 20 мк, толщина около 1,5 мк) в ксилоле. Эти маленькие листочки ориентируются в большей или меньшей степени в зависимости от силы звука. Так как ориентированные листочки отражают падающий свет в определенном направлении, а неориентированные — во всевозможных направлениях, то на экране возникает картина распределения интенсивности. Для получения изображения применялись линзы из тонкой медной жести (толщина стенок 0,01 мм, радиус кривизны 5,5 см, диаметр 3,5 см) с фокусным расстоянием в ксилоле 6,4 см [9]. Вместо линз были испытаны также зонные пластинки с концентрическими кольцами. Шустер приводит изображения от диафрагм и др., полученные методом рельефного изображения. Изображение облучаемого ультразвуком объекта проектируется линзами из искусственного материала на поверхность воды. При этом звуковое

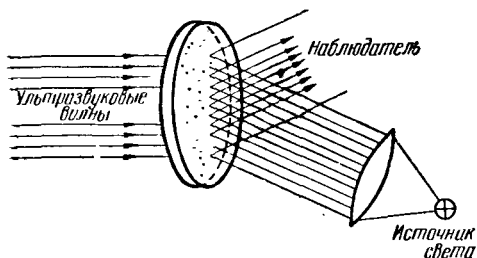


Рис. П,27. Кювета для наблюдения ультразвуковых волн по Польману.

давление вызывает подъем уровня воды, пропорциональный величине этого давления. Таким образом возникает рельефное изображение, которое с помощью метода Тейлера (стр. 254) проектируется на экран [10].

Беннет для получения звукового изображения пользуется слоем крахмала, нанесенным на стеклянную пластинку и высушенным [11]. Пластинка помещается в воду, в которую добавлено небольшое количество йодистого калия. Под действием ультразвука пластинка окрашивается в темный цвет тем сильнее, чем больше падающая интенсивность звука. Время экспозиции всего несколько минут. Изображения четкие.

Руст предложил метод, в котором применяется тепловое действие ультразвука [12]. На ацетилцеллюлозную фольгу наносится тонкий слой четырехйодистой соли серебра и ртути Ag_2HgJ_4 в диспергированном состоянии, затем фольга покрывается бесцветным лаком. После облучения звуком в течение 6—8 сек при интенсивности 1 вт/см^2 вследствие изменения окраски получается контрастное изображение. Шрейбер и Дегнер и одновременно с ними Экард и Липдиг для получения ультразвукового изображения воспользовались тем, что свечение возбужденных фосфоров под действием ультразвука

ка ослабевает в большей или меньшей степени в зависимости от интенсивности ультразвука. Особенно пригодным для этой цели оказался люминофор из сернистого цинка с медью и люминофор из сернистого стронция с висмутом.

Изображение стоячих ультразвуковых волн можно получить на фотографических пластинках [13]. Пластика с проявленным слоем серебра на некоторое время кладется в 5—20% раствор серной кислоты и облучается ультразвуком в 0,08—2% растворе двухромовокислого калия. Даже при слабых звуковых полях время экспозиции составляет только несколько секунд.

§ 4. Акустика помещений

Большинство исследований для оценки поглощаемости звука, особенно облицовкой стен, производится в больших закрытых помещениях. Звукопоглощающий материал необходимо распределить хотя бы на противоположных стенах помещения, так как иначе легко наблюдается дробное эхо от непокрытых стен, причем определение времени реверберации затрудняется. Следует также обращать внимание на то, чтобы звук не падал на поглощающий материал в различных направлениях. Это достигается установлением отражающих поверхностей под некоторыми углами друг к другу, либо легкой складчатостью или изгибом стен и потолка [14].

Для таких целей Фуррер и Лаубер описывают применение полицилиндрических диффузоров [15].

Иногда для достижения хорошего перемешивания звука предпочитают иметь в помещении вращающиеся источники звука или большие подвижные поверхности.

§ 5. Реверберация

Процесс реверберации изображается обычно логарифмической кривой, получаемой при помощи самопишущего прибора, причем его штифт записывает кривую на восковой бумаге в децибелах с очень небольшим запаздыванием (примерно 0,1 сек). Оказалось целесообразным многократно записывать процесс реверберации в одной и той же полосе частот [16], причем с помощью специального механизма включения кривые реверберации записываются плотно одна за другой. В качестве источника звука служит громкоговоритель, который, во избежание образования стоячих волн, излучает воющие тона, или спектры с тонами, расположенными близко друг от друга [17]. Воющие тона можно получать с генераторами на биениях при помощи вращающихся конденсаторов или модуляции на низких частотах (релаксационные колебания) [18]. Иногда через громкоговоритель передают «белый» шум от генератора шумов, что позволяет достичь очень равномерного распределения частот испускаемого звука. Вместо электрического генератора пользуются также звуком выстрела стартовых пистолетов и т. п., однако максимум таких шумов лежит при более высоких частотах [19]. Излучение низких частот можно увеличить путем установки рупора перед отверстием пистолета.

Для получения короткого сильного звука пригодны также искровые промежутки [20]. Собственно промежуток помещается на

расстоянии 18 см от поглощающего слоя из стекловолокна. Под ним помещаются искровой механизм (электроды периодически сближаются электромагнитами), зарядный конденсатор 8 мкф и питающее устройство с напряжением 7 кв. Отраженный от стенок сигнал регистрируется катодным осциллографом, развертка которого включается одновременно с началом звучания. Чтобы выделить для измерения только желаемые частоты, между усилителем микрофона и самопишущим прибором целесообразно включать октавный фильтр. Терционный фильтр требуется при специальных селективных поглотительных устройствах.

Особым методом исследования акустических свойств проектируемого помещения является метод моделирования. Так как скорость звука в воздухе постоянна, то выбирают длину волны контрольного звука и в соответствии с меньшими размерами модели переходят в область более высоких частот (например до 100 кгц). Для этого можно использовать магнитную ленту, движущуюся при воспроизведении звука с большей скоростью, чем при записи. Такие ленты проигрываются в модели помещения. Реверберация записывается с помощью микрофона и изучается при соответственно пониженной скорости протягивания ленты [22]. Кремер сообщает об импульсных исследованиях моделей помещений [23].

§ 6. Некоторые применения ультразвука

А) Дефектоскопия

Ультразвук все шире применяется при исследовании различных деталей на наличие трещин, включений посторонних тел и других неоднородностей.

Различают два метода исследований с помощью ультразвука — метод просвечивания и метод отражения. В первом случае звуковой генератор укрепляют на одной стороне исследуемого предмета, а на его противоположной стороне устанавливают приемник. Практически генератор и приемник укрепляются особыми зажимами [24] одинаково, так что исследуемый предмет лежит между ними. Если нормальное распространение звука нарушается при прохождении его через пустоты и другие препятствия, то это можно обнаружить по усиленному изменению выходного напряжения приемника, пользуясь сигнальным приспособлением. Для правильного закрепления генератора и приемника разработан ряд насадок, имеющих различную форму. Для контроля сварных швов применяют V-образное просвечивание, при котором генератор и приемник устанавливаются на одной стороне изделия, и луч отражается от второй его стороны. Применяя метод эха, посылают через исследуемое тело звуковой импульс, который отражается на экран катодно-лучевой трубки [25]. При этом генератор после посылки импульса автоматически переключается на прием. С противоположной поверхности исследуемого предмета, которая граничит с наружным воздухом, спустя определенные промежутки времени приходит ясно видимый отраженный сигнал. Вследствие этого трещины или включения посторонних тел, благодаря промежуточному более или менее сильному отражению, становятся заметными.

Б) Получение эмульсий

Ультразвук применим для размельчения суспендирующих веществ. Гертнер [26] получил оптимальные результаты на частоте 500 *кГц* при концентрации 0,002 *г/см³*. Он исследовал углекислые соли магния и свинца, а также углекислый и сернокислый барий. Известен также метод размельчения частиц ультразвуком в коллоидных растворах. Согласно Клаусу ультразвук вызывает сильное размельчение бромистого серебра в желатине, что позволяет увеличить разрешающую способность и чувствительность фотографических слоев [27].

При изготовлении силикатного кирпича, в особенности пустотелого, сырье, состоящее из влажной смеси богатого кремнием песка и известняка, можно с успехом обрабатывать ультразвуком [28].

В) Облучение металлических сплавов

Металлические сплавы обрабатываются ультразвуком для повышения их плотности, мелкозернистости и однородности. Возникающие при этом трудности описаны в работе Гидемана [29], содержащей исчерпывающий список литературы. Пример одной из установок представлен на рис. 11,28. Она состоит из обычного магнитострикционного генератора, соединенного скобой со сплошным цилиндром из огнеупорного фарфора. Скоба закреплена в узле стоячих волн. Конец фарфорового цилиндра опущен в металлический расплав. Установка в целом охлаждается водопроводной водой.

Зеeman и Стаатс воспользовались для облучения электродинамическим методом. В качестве колебательной системы они использовали сам плавильный тигель [30]. Обмотка возбуждения помещается непосредственно на тигле. Необходимо следить за устранением кавитации.

Дальнейшим применением ультразвука является размельчение примесей в расплавах [31].

Г) Очистка металлических поверхностей

Ультразвук широко применяется для очистки и обезжиривания металлических деталей. Используются интервалы частот 300—1000 *кГц* и 20—30 *кГц*. Облучение ультразвуком показало его преимущества перед другими методами также и при очистке литых изделий, стеклянных деталей (липы), удалении слоев окалины вместо обработки их металлической щеткой [31а].

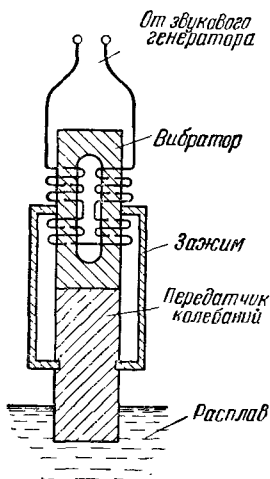


Рис. 11,28. Установка для ультразвукового облучения расплавов.

Весьма важно отметить метод пайки алюминия при помощи ультразвука. В этом методе электрический паяльник соединяется с магнетострикционным генератором. Обрабатываемая деталь предварительно нагревается до температуры около 250°C , а затем, как обычно, залуживается оловом. При этом ультразвуковые колебания разрушают слой окиси и облегчают диффузию олова в алюминий. Применяется частота около 20 кГц.

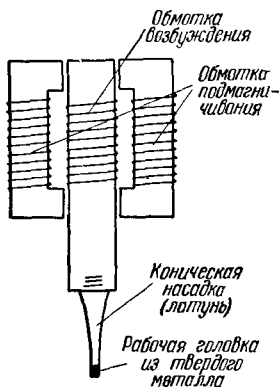


Рис. П, 29. Сверление отверстий ультразвуком.

На коническую насадку магнетострикционного генератора (рис. П, 29) надеваются рабочие головки из твердого металла, имеющие форму высверливаемого отверстия. Между инструментом и поверхностью детали наносится слой воды с суспензией тонкого наждака (карбид бора, карбид кремния). Возникающая при облучении (ультразвуком) кавитация разрушает материал. Под профилем возникает углубление, имеющее форму рабочей головки. Необходимая мощность составляет 40 Вт, амплитуда колебаний равна 0,025 мм. При глубине сверления стекла или твердой керамики в 3 мм продолжительность процесса при квадратном отверстии с длиной стороны 6 мм составляет около 1 минуты [32].

По Краузе [33] микротонные срезы можно делать более точно при частоте колебаний ножа или объекта около 20 кГц.

ГЛАВА III ЗАЩИТА ОТ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

Каждый электрический прибор, создающий электромагнитные колебания в диапазоне частот 10 кГц— $3 \cdot 10^6$ мГц, является источником помех при радиоприеме и при работе чувствительных электрических измерительных приборов. Эти источники помех можно разделить на высокочастотные генераторы и такие приборы, которые излучают высокую частоту в качестве побочного явления, как, например, коллекторные моторы при работе. Радиочастотные помехи могут распространяться как по сети, питающей приборы, так и непосредственно в пространстве.

Для защиты от помех применяются два способа: защита установки и приборов при помощи электрических фильтров и электромагнитная экранировка.

В качестве фильтров лучше всего применять фильтры низких частот, составленные из дросселей и конденсаторов; они подключаются к электрическим выводам, так как включение конденсаторов между проводниками цепи питания или между одним из этих проводов и массой прибора часто оказывается недостаточным.

В электротехнических машинах и установках иногда могут возникать переменные напряжения выше 42 в (относительно земли) или постоянные напряжения выше 80 в (также относительно земли); если при этом один из выводов конденсатора соединен с проводящей поверхностью установки, не защищенной от прикосновения рабочего персонала, то необходимо обеспечить выполнение правил техники безопасности при работе с открытыми конденсаторами [3].

Для экранирования электропроводов применяют металлические чулки, металлические шланги или трубы. Чем меньше сопротивление связи экрана, тем лучше его экранирующее действие. Под сопротивлением связи понимают отношение возникающего на внешней стороне экрана напряжения к протекающему по его внутренней стороне току. Сопротивление связи экранированных проводов рассчитывается на единицу длины (удельное сопротивление связи). Зная величину сопротивления связи, можно, следовательно, определить величину возникающего на внешней стороне напряжения помех в зависимости от силы тока, проходящего по экранируемым проводам. В металлических трубах с увеличением частоты переменного тока сопротивление связи уменьшается вследствие возрастания скин-эффекта. Проволочные сетки имеют довольно постоянное сопротивление связи, которое, однако, на высоких частотах растет пропорционально частоте.

Для экранирования приборов применяются жестяные кожухи, для измерительных рабочих мест — клетки из проволочной сетки, а также кабины из металлических листов или полностью экранированные помещения.

Кожухи приборов для предотвращения излучения высокой частоты должны быть очень плотными. Швы запаиваются, а крышки снабжаются двойными пружинными контактами. Для вентиляции и пропуска вращающихся осей из изолирующего материала применяют гасящие камеры, насаженные на кожух. Металлические оси должны возможно большей частью поверхности касаться кожуха, например, при помощи скользящих пружин. При двойном экранировании металлические кожухи должны быть изолированы друг от друга для предотвращения образования петель связи; они соединяются только в одной точке.

Стенки экранирующих клеток из проволочной сетки должны быть двойными. Железная металлическая сетка должна быть оцинкована (при помощи окунания) для того, чтобы проволоки сетки были спаяны в местах скрещивания. Внешняя и внутренняя стенки клетки должны быть изолированы друг от друга и соединены только в одной точке. В этой точке может быть присоединен провод заземления. Двери должны быть очень тщательно уплотнены двойными пружинными контактами. Хорошее экранирование должно обеспечить ослабление помех примерно на 80 дБ, высококачественное — на 100 дБ. Измерения Бира [4] показали, что двойная клетка размерами $4 \times 4 \times 3$ м³ из оцинкованной (окунанием) железной сетки с ячейками 4×4 мм² ослабляет помехи в интервале частот примерно от 100 кГц до 50 мГц на 80—100 дБ. На более высоких частотах ослабление уменьшается, а затем выше квазистационарной области имеет место резонанс экрана с электромагнитным полем. Поэтому на очень высоких частотах рекомендуется применять кабины с однослойными стенами из металлических листов, например медных, толщиной 0,1 мм. В стенах и потолке кабины оставляются так

называемые сотовые окна, пропускающие воздух и свет [4]. Эти окна являются полыми проводниками, которые работают ниже их критических частот и состоят из электромагнитных поглотительных камер, расположенных как пчелиные соты.

Для того чтобы клетки и кабины можно было переносить, их собирают из отдельных стенок. При этом, однако, между отдельными частями надо обеспечить хороший электрический контакт, например, посредством контактных лент. При такой конструкции представляется возможным изменять размеры клетки или кабины. Для этого, однако, отдельные части должны быть стандартизированы.

Для экранировки целых комнат их стены, пол, потолок и двери обивают: при невысоких требованиях — проволочной сеткой, а при высоких требованиях — металлическими листами. Отдельные части должны быть хорошо спаяны. При наличии окон они закрываются рамами, обтянутыми проволочной сеткой, или при экранировании металлическими листами — сотовыми поглотительными окнами. Вышесказанное относится также и к дверям. Более дешевым, чем применение металлических листов, является способ экранирования посредством распыления меди по стенам и потолку с помощью газового пистолета. Этот способ экранирования был описан Штейнером [5].

Все электрические провода целесообразно вводить в экранированное помещение в одном месте. Вводы необходимо снабжать соответствующими фильтрами. С экранировкой спаивается возможно большая поверхность труб газовой сети и водопровода.

Другие литературные источники см. [6].

Экранирование акустических полей см. стр. 281, экранирование магнитных полей см. стр. 205, экранирование термических полей см. [7].

ГЛАВА IV

ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ [1]

Небольшая проникающая способность электронов в электронном микроскопе, который работает по принципу просвечивания, позволяет получать изображения только очень малых или очень тонких объектов. Границей толщины (включая носитель объекта), при которой получается еще достаточно резкое полутеневое изображение, является величина около 0,2—1 мк, если плотность объектов равна 1 г/см³. Для веществ большей плотности она соответственно ниже. Распределение светлых и темных тонов в электронно-микроскопическом изображении соответствует в случае аморфных веществ распределению толщин в объекте (плотность × толщина). Так как препарат находится в вакуумном пространстве электронного микроскопа, то всегда получается изображение объекта в высушенном состоянии.

§ 1. Исследование мелко раздробленных материалов и тонких пленок

Носителем объекта в электронном микроскопе служит или круглый кусочек металлической сетки диаметром от 3 до 5 мм, с очень мелкими ячейками, или металлическая шайбочка тех же размеров с центральным отверстием диаметром 0,05—0,1 мм. Если необходимо исследовать волокнистый или пленочный препарат, то его можно положить непосредственно на диафрагму металлического

носителя; в этом случае получается изображение «свободного» объекта. Если же объект представляет собой тонкий порошок, то для него необходима подложка в виде аморфной пленки, пропускающей электроны, которая кладется на сетку с отверстиями или на шайбочку. Подходящими аморфными пленками являются пленочки из коллодия и формвара толщиной от 10 до 30 *ммк* (стр. 129). Для исследований при высоких температурах и других целей пригодны пленки из окиси Al, углерода или тонкие кварцевые пленки (стр. 127). Коллодиевую пленку, которая при сильном облучении быстрыми электронами легко разрывается, удается при осторожном продолжительном облучении превратить в углеродную пленку; такие пленки обнаруживают температурную устойчивость.

Очень тонко раздробленное вещество можно ввести в поверхностный слой пленки; для этого готовят суспензию соответствующего вещества в растворе лака, которую затем наносят на пленку. Однако обычно порошок препарата или распыляется сухим на пленках, которые накладываются на носитель, или наносится на носитель в виде капелек суспензии, которые затем высыхают [2]. При этом в качестве среды, в которой получается суспензия, необходимо выбирать вещество, не растворяющее ни объекта, ни пленки носителя. Во многих случаях этому требованию удовлетворяет вода. Для предотвращения агломерации частиц часто применяют метод распыления суспензии ультразвуковым полем и улавливание капелек тумана держателем объекта [3].

§ 2. Исследование фрагментов объекта и тонких срезов

Данные о морфологическом строении крупных объектов иногда можно получить, если исследовать их мелкие частички, полученные в результате деления объектов — размалывания, раздавливания, разделения на волокна (щипаный препарат), частичного химического разложения и т. п.

Для исследования биологических и некоторых технических объектов, например лаков, большое значение приобретает, как и в световой микроскопии, техника получения тонких слоев (срезов). Обычные микротомы, применяемые при изготовлении гистологических срезов, непригодны для приготовления тонкослойных электронно-микроскопических препаратов, так как даже в благоприятнейших случаях толщина срезаемого слоя достигает 1 *мк*. Различные фирмы в Германии и за границей в последние годы, благодаря дальнейшему развитию точной техники, могли ввести здесь весьма существенные улучшения, так что в настоящее время можно получать срезы толщиной до 0,01 *мк*. В качестве пожеи применяются шлифованные лезвия бритвы, алмазные ножи и стеклянные клинья. Возможность достижения указанной толщины зависит в значительной степени от свойств среды, в которую вводится препарат.

После первоначальных опытов с парафинообразными массами все большее применение находит заделка объекта в плексигласовую среду [4]. Исходным материалом являются жидкие мономерные сложные эфиры метакриловой кислоты, которые отвердевают при нагревании с добавлением ускорителя или под действием ультрафиолетового света. Желаемую, пригодную для препарата твердость можно подбирать в широких пределах, смешивая бутил- и метилметакрилаты.

§ 3. Получение изображения поверхностей объекта

А) Способы получения реплик

Обычно для изображения поверхностей применяется метод реплик [5], при котором поверхность покрывают очень тонкой пленкой, на которой, если ее снять, остается отпечаток рельефа поверхности — реплика. Если такую реплику рассматривать в электронном микроскопе, то она дает поразительно пластическое изображение поверхности. В качестве пленок для получения отпечатков можно или пользоваться пленками, возникающими на поверхностях, как возникает, например, пленка окиси Al на его поверхности, или наносить на исследуемые поверхности инородные слои, например пленки из лака, пленки SiO_2 , C и другие пленки, получаемые методом испарения. Применение таких инородных слоев является универсальным, в то время как слои из окиси Al на алюминии и на Al -сплавах применяются только в отдельных случаях. Различные типы пленок отличаются контрастностью воспроизведения рельефа поверхности. Снимать реплику с объекта [6] можно, пользуясь химическим, электрохимическим или механическим способом. Инородные пленки часто можно снять просто с помощью толстого слоя полистирола или слоя желатина, причем полистирол удаляют бензолом, а желатин — теплой водой.

Если простой метод реплик не дает эффекта вследствие шероховатости или пористости поверхности, то часто оказывается пригодным так называемый двухступенчатый или матричный метод реплик [7]. В этом случае на поверхность объекта наносят толстый слой некоторого вещества, который можно легко снять с поверхности и с которого затем так же легко можно снять окончательную тонкую пленку с отпечатком. Особенно хорошими качествами обладают матрицы из полистирола [8]. Изображение на них можно получать или выдавливая его при высокой температуре, или нанося на поверхность объекта толстый слой полистиролового лака. Затем обычно на матрицу наносят испарением тонкий слой SiO_2 или C . Окончательный отпечаток (реплика) в виде пленки получается после растворения полистирола в бензоле. Изображение твердого объекта можно получить на полированной алюминиевой пленке, с которой затем снимается оксидная реплика [9].

По Кёнигу [10] изображение микроскопически малых объектов можно получить методом угольной оболочки. В этом методе частицы объекта после газоразрядного или высоковакуумного выпаривания (стр. 118 и 127) покрываются тонким слоем угля. Затем вещество объекта разлагают химическим способом, так что остается только одна угольная оболочка, через которую электронный пучок хорошо проникает, что позволяет наблюдать мельчайшие детали поверхности частиц.

Б) Метод наклонного отражения

Прямое микроскопическое изображение поверхностей удастся, по данным Борриеса [11], в том случае, если объект устанавливают под очень острым углом (около 4°) к электронному пучку и получают его изображение при помощи электронов, зеркально отраженных,

следовательно, также под углом 4° . Однако в этом случае изображение объекта в одном направлении оказывается более чем в десять раз укороченным, т. е. в целом получается очень сильное искажение вида поверхности. Измерив длины теней, которые отбрасывают выпуклые части объекта, можно подсчитать высоту этих частей.

§ 4. Метод наклонного (косого) напыления [12]

Препараты для электронной микроскопии и реплики с них часто дают, по крайней мере в тончайших деталях, недостаточную контрастность. Для ее увеличения на препарат или реплику [13] отлагают в вакууме пары тяжелых металлов, причем струю пара направляют наклонно к поверхности препарата или реплики под углом от 40 до 40° . При этом на неровной поверхности их оказываются затененные места, на которые пары не попадают; в то же время на других местах получается налет паров металла, более или менее толстый в зависимости от угла наклона опыляемой поверхности к струе пара. Так как теневые области в электронном изображении превращаются в светлые места, то электронное изображение подобного вида часто выглядит как негативная копия. Для отложения паров пользуются золотом, хромом, платиной, палладием, окисями тяжелых металлов и др. Если угол напыления известен, то высоту неровностей поверхности можно определять по длине тени [14]¹⁾.

Г Л А В А V

ЗАЩИТА ОТ СОТряСЕНИЙ

§ 1. Предварительные замечания

В полной мере воспользоваться возможностями чувствительных приборов с отклоняющимися системами, например гальванометров, радиометров и т. д., можно только в том случае, если прибор установлен на основании, не передающем сотрясений. Помехами для таких приборов являются только горизонтальные колебания основания. В других случаях приходится устранять сотрясения также и в вертикальной плоскости, например в случае необходимости иметь совершенно спокойное поверхностное зеркало жидкости. Каждое свободное от сотрясений основание представляет собой колебательную систему, собственная частота которой f_0 значительно меньше, чем наименьшая возмущающая частота f . В этом случае амплитуды внешних сотрясений передаются основанию с коэффициентом ослабления, равным f_0^2/f^2 . Наиболее сильные колебания зданий имеют место при частоте около 15 гц. Ниже 8 гц они почти незаметны. Поэтому при $f_0=1$ гц колебания ослабляются примерно до 1% . Если выполняется условие $f_0 \ll f$, то затухание лишь незначительно влияет на вынужденные колебания, обусловленные

¹⁾ На русском языке по этим вопросам имеется монография: Н. Г. Сушарин, Электронный микроскоп, Гостехиздат (1949). — *Прим. ред.*

сотрясениями. Оно играет большую роль в том случае, если система под действием внешних сил, например во время юстировки, получает толчок, а затем предоставляется самой себе.

Теоретические основы для получения установок, свободных от колебаний, и влияние затухания изложены в целом ряде работ [1].

§ 2. Резиновые подушки

Часто вполне достаточно изолировать приборы от колебаний здания при помощи резиновой подушки. Для этой цели пригодны опорные элементы, известные под общим названием амортизаторов. Они состоят из толстой резиновой прокладки, помещенной между двумя металлическими пластинами, которые прочно соединены с резиной посредством вулканизации. На одной металлической пластине крепится прибор, изолируемый от сотрясений, другая пластина прикрепляется к фундаменту (стена, пол). На рис. П,30 изображены некоторые варианты таких опорных элементов. Нагрузку амортизатора следует подобрать так, чтобы частота его собственных колебаний была малой по сравнению с частотами, вызывающими сотрясения.

Лупфер [2] сообщает о применении резиновых амортизаторов для установки гальванометра на настенной полке. Амортизаторы размещены друг под другом в виде трех секций, разделенных пластинами. Каждая пластина нагружается почти до до-

Рис. П,30. Опорные элементы антивибрационных креплений.

стижения точки критического затухания. На верхней пластине на резиновых подставках стоит гальванометр. Для защиты от воздушных потоков он помещен в ящик, стоящий на полке.

Для установки чувствительных весов и измерительных приборов можно приобрести готовые подставки, не передающие сотрясений. В этом случае прибор покоится на мягко поддресоренной успокоительной массе весом от 70 до 100 кг. Путем соответствующей паладки удастся уменьшить колебания системы почти до 2% фона.

§ 3. Подвес Юлиуса

Непревзойденным в отношении устранения горизонтальных сотрясений является давно известный подвес Юлиуса [3]. Для того чтобы этот подвес действовал достаточно эффективно, требуется тщательная и трудоемкая юстировка. Кроме того, подвес Юлиуса

прикреплен к определенному месту. Более удобной и, кроме того, транспортабельной, но, однако, недостаточно эффективной является штанговая установка по Мюллеру [4]. Она имеется в продаже в виде готового агрегата. В упрощенной форме [5] (рис. 11,31) ее можно сделать своими силами. Три стержня из серебрянки диаметром 3 мм и длиной 45—50 см располагаются по вершинам равностороннего треугольника на расстоянии примерно 30 см друг от друга и прочно привинчиваются к плите основания, образуя треножник. На верхнем конце стальных стержней смонтирована рама из латуни или легкого металла, которая и несет предмет, изолируемый от сотрясений. Выбором соответствующей нагрузки продолжительность собственных колебаний системы можно сделать равной от 4 до 5,5 секунды. Для подвеса Юлиуса применяются проволоки длиной от 4 до 7 м.

§ 4. Установка Беккера

В установке, свободной от сотрясений, предложенной Беккером [6], ослабляются не только горизонтальные компоненты сотрясений, но также в значительной мере и их вертикальные составляющие. В деревянном ящике высотой 50 см на трех лентах из натуральной резины с поперечным сечением $0,5 \text{ см}^2$ подвешена подставка, на которой находится предмет, изолируемый от сотрясений, например ртутное зеркало. Ленты удлиняются вследствие нагрузки на 25 см. Частота собственных колебаний в вертикальной плоскости при этих условиях равна 1 гц, в то время как частота собственных колебаний в горизонтальной плоскости равна 0,75 гц. Подставка располагается на расстоянии нескольких мм над дном ящика, поэтому при ослаблении лент не возникает никакой опасности. Весьма эффективный резиновый подвес описывает Хоббс [7]. Канторович [8] обеспечивает неподвижность гальванометра в постоянной установке тем же способом, что и Беккер, но применяет при этом вместо резиновых подвесов стальные пружины, работающие на сжатие. Частота собственных колебаний как в вертикальном, так и в горизонтальном направлениях равна примерно 2 гц. Герке и Фойгт [9] описывают различные устройства, служащие для устранения горизонтальных и вертикальных сотрясений, основанные на применении газонаполненных резиновых подушек. Как простое решение вопроса, предлагается использовать в качестве основания для установки автомобильную камеру (размером $1016 \times 254 \text{ мм}^2$), на которой располагается меньшая камера (размером $720 \times 120 \text{ мм}^2$), несущая подставку для прибора, изолируемого от сотрясений. С нижней стороны подставки крепится большая жестянка, в которой находится свинцовая дробь, являющаяся грузом, и масло в качестве демпфирующего средства. Как указывает Беккер, в

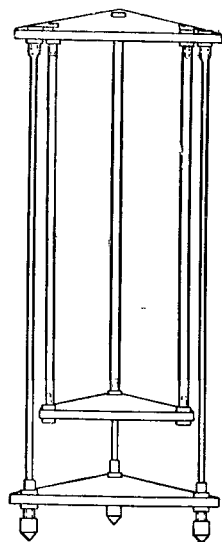


Рис. 11,31. Упрощенная антивибрационная установка по Мюллеру.

наполненных воздухом камерах достигается почти полное затухание колебаний, так что масляный бачок оказывается лишним.

В качестве свободного от сотрясений основания для измерительных приборов Бэйкер [10] применяет доску на дренажной трубе, лежащей в деревянном ящике на нескольких слоях теннисных мячей или, что проще, на губчатой резине (рис. II,32). Два слоя теннисных мячей или 25 мм губчатой резины снижают собственную частоту установки до 1 гц.

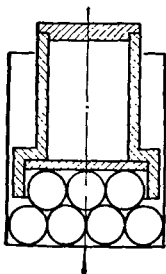


Рис. II,32. Антивибрационная установка по Бэйкеру.

§ 5. Демпфирование

Демпфирование колебаний применяется в установках, свободных от сотрясений. По методу демпфирования колебаний, предложенному еще Юлиусом, к подвесу снизу присоединяют две металлические пластинки, перекрещенные под прямым углом, которые погружают в сосуд с маслом. Широко применяется так называемое ватное демпфирование. К демпфируемой системе прикрепляются очень маленькие кусочки ваты, которые свободно скользят по основанию, над которым находится система. Оба эти метода демпфирования обладают тем недостатком, что сотрясения основания в некоторой степени передаются системе. От этого недостатка свободен способ демпфирования, предложенный Мюллером для его стержневого подвеса; Мюллер применяет особый поглощающий колебания бачок, в котором имеются четыре плоские расположенные друг над другом цилиндрические чашки высотой 12 мм и диаметром 37 см, наполненные маслом только до определенной высоты. Высота жидкости, необходимая для наиболее эффективного демпфирования, определяется экспериментально. При упрощенной конструкции стержневого подвеса демпфирующий бачок можно установить сверху на пластине, покрывающей раму.

Беккер достиг весьма эффективного демпфирования, установив эксцентрично легкий затухающий маятник, находящийся в резонансе с основной системой. Вследствие эксцентричной установки демпфируются не только вибрации, но и крутильные колебания. Вертикальные колебания быстро затухают вследствие трения в резиновых лентах (декремент 0,2).

Можно очень просто получить удовлетворительное демпфирование, если, применяя стержневой подвес Мюллера, стержни плотно обтянуть плангами для высокого давления с пенковой прокладкой. Такое демпфирование не столь эффективно, как поглощающий колебания бачок, но для практических надобностей вполне достаточно.

ГЛАВА VI

ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА

Имея в своем распоряжении вакуумный насос, даже лучший из имеющихся в продаже, мы еще совершенно не можем гарантировать успеха в работе. Физика, который не имеет опыта в этой области, следует сначала изучить одну из новых книг по вакуумной технике [1],[2] и ознакомиться с основными свойствами стекол (см. стр. 58).

§ 1. Аппаратура, ее изготовление, необходимые материалы

А) Материалы [3] для изготовления вакуумной аппаратуры (см. также стр. 55)

Здесь речь идет о стекле, кварце, керамике, пластических материалах и металлах. Пластические материалы весьма различны по свойствам, определяющим возможность их применения в вакуумной аппаратуре. В общем случае они применяются в установках как низкого, так и высокого вакуума. Пластические материалы различаются прежде всего количеством газов и паров, которые они выделяют в вакууме. Особенно пригодны такие материалы, как тефлон и хостафлон. Другие искусственные материалы представлены в табл. II, 1 в порядке возрастающей применимости их для вакуумной аппаратуры.

Таблица II, 1

Газоотдача необработанными искусственными материалами

↑ сильная отдача газа ↓ слабая	Искусственные вещества с размягчителями Искусственные вещества с наполнителями ¹⁾ Мовилит Мовитал Кремнистая резина ¹⁾ Натуральная резина ¹⁾ Целлулоид Полиамид Полиуретан Пербунал ¹⁾ Поликарбонат ¹⁾ Аральдит ¹⁾ Ультрамид Плексиглас ¹⁾ Подвинилкарбазол Полвинилхлорид Полиэтилен Полистирол Тефлон Хостафлон
--	---

¹⁾ После предварительной сушки в теплом воздухе отдача газа значительно уменьшается.

Применимость в вакуумных аппаратах готовых технических деталей из искусственных материалов часто определяется не только основным материалом, но также его наполнителями и размягчителями. Искусственные материалы с большим содержанием размягчителя в общем для вакуумных аппаратов неприменимы.

Б) Обработка поверхности вакуумтехнических материалов. Стекло

а) *Перед монтажом.* Обработка производится в следующем порядке: сначала механическая очистка, затем очистка такими органическими растворителями, как трихлорэтилен, четыреххло-

ристый углерод, легкий бензин и др. В заключение промывание сначала в спирте и наконец в дистиллированной воде. Целесообразно после этого просушить стекло в печи или вакуумном сушильном шкафу. Очень полезно также просушивать детали в потоке теплого воздуха. Температура воздуха не должна быть при этом слишком высокой, чтобы не повредить материал. Во многих случаях отдельные части достаточно просушить непосредственно перед монтажом в течение 2 часов в воздухе при 150° С. Этим способом удаляется большая часть поверхностной водяной пленки, которая вследствие большого выделения паров не позволяет при откачке быстро получить низкие давления. В особых случаях стекло можно прокачивать в пламени.

б) *Готовые стеклянные аппараты* лучше всего для удаления остаточных газов и паров из внутренних частей и с поверхности нагревать в течение нескольких часов в вакууме при помощи электрической печи. Это необходимо для получения высокого разрежения. Но при этом следует соблюдать осторожность, если части аппарата имеют краны и шлифы, смазанные жиром. Если таких частей нет, то детали из мягкого стекла следует нагревать примерно до 360° С, детали из твердого стекла — примерно до 440° С. Перед нанесением в вакууме металлов на стеклянные поверхности надо проводить дополнительную очистку поверхностей электрическим разрядом (вопрос о том, в какой мере этот метод является эффективным для дополнительной очистки, остается спорным).

Металлические части очищаются перед монтажом тем же способом, как и стеклянные приборы. После механической очистки следует очистка органическими растворителями и прополаскивание в спирте и дистиллированной воде, а затем металлические части необходимо просушить в сушильном шкафу или в потоке теплого воздуха. Из механических методов очистки применяется пескоструйный метод как при получении низкого, так и высокого вакуума. После очистки отдельные части приборов низкого и высокого вакуума, подверженные коррозии, можно покрывать специальными лаками. Относительно применимости различных лаков можно сказать то же самое, что выше было сказано относительно искусственных веществ. Металлические части, предназначенные для приборов высокого вакуума, должны быть полированными. Особенно благоприятно применение металлов, выплавленных в вакууме. Перед полировкой поверхности во многих случаях рекомендуется ее никелировать или хромировать.

Готовые металлические вакуумные приборы (в особенности для предельно высокого вакуума) еще в большей степени, нежели стеклянные, должны перед употреблением выдерживаться в течение часов и даже суток при возможно более высоких температурах. Отдельные части, которые в процессе работы будут нагреваться до высоких температур, надо подвергать нагреванию до температур, близких к температуре плавления. Нагревать можно индукционным способом, током, бомбардировкой электронами и в электрическом разряде. Еще лучше, однако, изготавливать металлические части вакуумных аппаратов из металлов, выплавленных в вакууме (алюминия, никеля, меди, железа и др.).

При очистке частей вакуумных приборов, бывших в употреблении, надо придерживаться следующих правил. Стеклянные детали, если они сильно загрязнены, обрабатываются прежде всего

разбавленной плавиковой кислотой (1 : 30). Если этого не требуется, то очистку деталей начинают обработкой хромовой смесью, а затем ополаскивают дистиллированной водой. Если этого оказывается недостаточно, то можно применить обработку органическими растворителями. После этого во всяком случае необходимо прополаскивать детали в спирте и дистиллированной воде.

Сильно загрязненные металлы в большинстве случаев целесообразно сначала очищать пескоструйным аппаратом. Если детали предназначены для применения в аппаратах низкого и высокого вакуума, то полировать их не надо. Иначе обстоит дело при применении деталей для чрезвычайно высокого вакуума. После очистки пескоструйным аппаратом необходимо на всякий случай произвести обработку органическим растворителем. В особых случаях лучшим и наиболее быстрым способом очистки загрязненных частей вакуумного прибора является электролиз (переменным током). Для этого в щелочную электролитическую ванну вводят очищаемый металл и графит, который служит вторым электродом; электролиз ведут до полной очистки детали. Например, очистку молибденовой или вольфрамовой трубки производят так: сначала ее очищают органическими растворителями и промывают, затем в трубку вводят 20—30% раствор КОН, в который погружают второй электрод (графит); электролиз ведут при 6 в и плотности (переменного) тока 1 а/дм². Дальнейшие способы травления см. Стейскал [3].

Искусственные вещества и детали из каучука целесообразно очищать раствором соды и ополаскивать затем водой. После этого рекомендуется сушка в сушильном шкафу.

§ 2. Монтаж

При монтаже вакуумных проводок из металла их размеры необходимо рассчитывать (подробности см. ниже, в разделе «Вакуумпроводы»). Для таких проводок применяют тянутые без швов металлические трубы, которые соединяются на фланцах посредством сваривания или твердой пайки. Применяются фланцы или нормального размера, или меньшего. Перекрываются линии вентилями.

В качестве примера металлической вакуумной установки на рис. П,33 представлена схема установки высокого вакуума с масляным диффузионным насосом и двухступенчатым газобалластным форвакуумным насосом. Высокий вакуум создается в сосуде, на рисунке обозначенном цифрой 6 (на его месте может быть принята трубка с вакуумными лампами). Двухступенчатый газобалластный форвакуумный насос 1 соединяется с форвакуумным штуцером

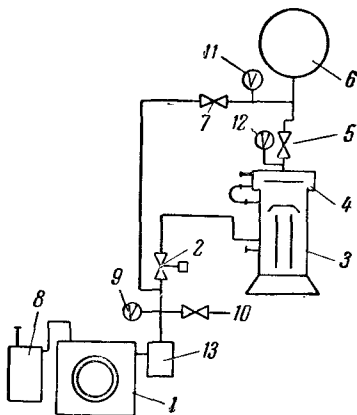


Рис. П,33. Металлическая установка высокого вакуума, масляный диффузионный насос с двухступенчатым газобалластным форвакуумным насосом.

Масляного диффузионного насоса через ловушку 13 и вентиль 2. Диффузионный насос в месте всасывания снабжен охлаждаемой колонкой 4 и вентилем 5, и, таким образом, его можно отключать от сосуда высокого вакуума 6. Газобалластный форвакуумный насос 1 посредством обходной линии и вентиля 7 может быть непосредственно соединен с сосудом 6 (в обход диффузионного насоса 3). Этот газобалластный форвакуумный насос снабжен на выходе ловушкой 8. Вакуумметр 9 при закрытых вентилях 2 и 7 позволяет определить остаточное давление, создаваемое форвакуумным насосом. Вентиль для выпуска воздуха 10 применяется при остановке насоса (при выключении установки).

Манометр 11 измеряет давление в сосуде 6, а манометр 12 — давление, достигнутое при помощи масляного диффузионного насоса. Масляные диффузионные насосы могут работать в соединении

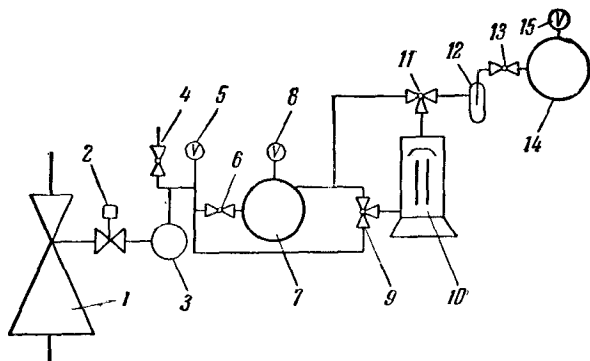


Рис. П,34. Стеклоянная установка высокого вакуума, ртутный диффузионный насос с водоструйным форвакуумным насосом.

с одноступенчатым форвакуумным насосом без газового балласта, но лучше работают с двухступенчатым ротационным масляно-воздушным насосом с газовым балластом.

Для большого количества специальных операций: сушки, дистилляции, пропитывания, испарения, окраски и т. п. — были разработаны вакуумные аппараты не только для лабораторного применения.

На рис. П,34 дана схема стеклоянной вакуумной установки с ртутным диффузионным насосом 10 и водоструйным форвакуумным насосом 1. В качестве форвакуумных насосов для ртутных диффузионных насосов можно также применять одноступенчатые газобалластные насосы. Отдельные части стеклоянных вакуумных установок соединяются достаточно широкими (о расчете диаметра см. ниже) стеклоянными трубками, которые спаиваются или соединяются с помощью плифов (предпочтительно конусообразной формы, хорошо смазанных жиром). В установке на рис. П,34 предусмотрена откачка предохранительного резервуара 3, соединенного с водоструйным форвакуумным насосом 1 через вентиль 2; этот резервуар 3 служит для приема воды, которая могла бы попасть в установку в случае обратного действия (переброса) водоструйного насоса. Резервуар 3 соединен линией через двухходовой

вентиль 9 с диффузионным насосом 10. Давление в линии показывает вакуумметр 5. Прежде всего диффузионным насосом 10 откачивается форвакуумный сосуд 7 через двухходовой кран 11. После того как давление в этом сосуде, измеряемое манометром 8, достаточно снизилось, вентиль 11 закрывается, а форвакуумный вход диффузионного насоса отсоединяется посредством двухходового крана от водоструйного насоса и соединяется с форвакуумным сосудом 7. Этот сосуд является теперь форвакуумом для диффузионного насоса 10. Чрезмерное увеличение давления в форвакуумном сосуде 7 (показывается манометром 8) вызывает автоматическое переключение вентиля 9, при этом вентиль 11 открывается, так что форвакуумный сосуд вновь откачивается. Для первоначальной откачки (в дальнейшем время откачки диффузионным насосом сокращается) форвакуумный сосуд через вентиль 6 непосредственно соединяется с водоструйным форвакуумным насосом. Вентиль 4 служит для того, чтобы при закрытых вентилях 6 и 9 впустить воздух в водоструйный насос до отключения воды. В рабочем состоянии, при откачке высоковакуумного сосуда 14, вентиль 6 закрыт, вентиль 13 открыт, вентиль 11 соединяет диффузионный насос с эвакуируемым сосудом 14, а вентиль 9 — с сосудом 7, служащим форвакуумом для ртутного диффузионного насоса 10. Охлаждающая ртутная ловушка 12 омывается снаружи жидким воздухом, находящимся в сосуде Дьюара. Для измерения высокого вакуума служит вакуумметр 15.

§ 3. Насосы

А) Выбор типа насоса

Таблица II, 2

Тип насоса	Форвакуумное давление, мм рт. ст.	Остаточное давление			Рабочая область, мм рт. ст.
		остаточный газ, мм рт. ст.	остаточный пар, мм рт. ст.	полное, мм рт. ст.	
Газобалластные насосы					
одноступенчатые	—	10^{-3}	10^{-2}	10^{-2}	760— 10^{-1}
двухступенчатые	—	10^{-5}	10^{-3}	10^{-3}	760— 10^{-2}
Водоструйные насосы	—	—	—	12	760—12
с пароструйным отсосом	—	—	—	2—3	760—2
Масляные пароструйные насосы	3	—	—	10^{-3}	1— 10^{-2}
Ртутные диффузионные насосы	0,5—20	10^{-7}	$1,8 \cdot 10^{-3}$	—	10^{-1} — 10^{-6}
определяется пароб-разующей жидкостью					
Масляные диффузионные насосы (бустеры)	10^{-2} —1	10^{-9}		10^{-4} — 10^{-8}	10^{-2} — 10^{-7}
Ионные геттерные насосы	10^{-4}	10^{-8} — 10^{-10}	—	10^{-8} — 10^{-10}	10^{-4} — 10^{-8}

В табл. II, 2 приведены данные об остаточных давлениях, которых можно достичь при применении насосов различных типов, а именно: полное остаточное давление, давление остаточного газа и давление остаточных паров; приведены также рабочие диапазоны насосов. Ртутный насос [3а] позволяет полностью улавливать газ, откачиваемый форвакуумным насосом. Другие возможности откачки см. стр. 202.

При выборе типа насоса надо иметь в виду, что его рабочий диапазон примерно на 1—2 порядка должен превосходить требуемое остаточное давление. При определении необходимой величины насоса можно пользоваться следующими соображениями.

Размеры газобалластных и водоструйных насосов зависят от желаемого времени откачки. Для определения размеров насоса в этом случае может служить следующая приближенная формула: например, при откачке от 760 до 1 мм рт. ст.

$$t = \frac{6,5V}{S},$$

где V — объем откачиваемого сосуда, S — скорость откачки насоса, t — время откачки.

Более точное определение размеров насоса при заданном времени откачки может быть сделано по графику, связывающему давление и время откачки, который обычно прилагается фирмой. Грубое определение размеров диффузионных насосов производится следующим образом: поддерживать давление между 10^{-4} и 10^{-5} мм рт. ст. в достаточно чистой аппаратуре с полной поверхностью 1 м² можно при скорости откачки диффузионного насоса 20 л/сек; для откачки такой же аппаратуры до указанного давления за 1 минуту необходим диффузионный насос со скоростью откачки 200 л/сек.

Для определения размеров форвакуумного насоса, подходящего для данного диффузионного насоса, надо иметь графики зависимости мощности откачки от давления как для форвакуумного, так и для диффузионного насосов. Следует выбирать такой форвакуумный насос, рабочий диапазон давлений которого по крайней мере включает максимально допустимое для данного диффузионного насоса предварительное разрежение; кроме того, мощность откачки форвакуумного насоса при этом давлении должна быть не меньше максимальной мощности откачки диффузионного. Мощность откачки определяется в мм рт. ст. × л/сек или г/сек.

Определение размеров пароструйных насосов производится по сложным соотношениям. Подробно об этом см. специальную литературу и каталоги фирм, содержащие необходимые графики для выбора размеров.

Б) Ротационные масляные насосы [4]

Перед вводом в действие надо проверить, правильно ли вращается насос и содержит ли он необходимое для работы количество масла, указанное фирмой (масло спускается или наливается через всасывающий штуцер).

Хорошие ротационные масляные насосы (пока они новые) откачивают воздух из резервуара объемом в несколько литров до давления в несколько тысячных долей мм рт. ст. примерно за 10 минут.

При откачке газов, не содержащих примеси паробразной фазы, значений конечного вакуума, указанных в табл. II, 2, достигают в безопасном режиме (при отключенном откачиваемом сосуде) через 10—20 минут (после включения насоса и его нагревания до рабочей температуры, лежащей для различных экземпляров между 60 и 80° С).

Условие отсутствия паробразной фазы выполняется редко, так как в большинстве случаев в откачиваемом газе содержится водный пар, хотя бы в незначительном количестве. Последний при ходе сжатия насоса конденсируется, смешивается с маслом и таким образом приводит к уменьшению величины конечного вакуума, а иногда и к другим неприятностям. Избежать этого можно, применив газовый балластный насос, предложенный Гэде [4], который во всех других отношениях работает таким же образом, как обычный ротационный масляный насос.

Ротационные масляные насосы работают в диапазоне давлений от атмосферного до 0,1 (одноступенчатый) и 0,01 мм рт. ст. (двухступенчатый).

Если дапное в таблице значение вакуума не обеспечивается насосом за требуемое время даже при отключении откачиваемого сосуда, то прежде всего следует проверить на герметичность линию, соединяющую насос с измерительным инструментом.

После длительной работы ротационных масляных насосов наблюдается следующая неисправность: насос не дает разрежения, предусмотренного инструкцией; возможная причина неисправности — загрязнение масла в насосе, главным образом, растворенными парами. Способ ее устранения: насос включают на длительную работу с газовым балластом при одновременном отключении откачиваемого сосуда. При сильном загрязнении рекомендуется сменить масло; масло выпускается через маслосливное отверстие, и насос наполняется необходимым количеством нового масла через всасывающий штуцер. При очень сильном загрязнении насоса рекомендуется очистить его перед наполнением новым маслом. Для этого следует закрыть выходной штуцер, открыть всасывающий штуцер и промыть насос через всасывающий штуцер смесью из $\frac{1}{3}$ масла и $\frac{2}{3}$ бензина, четыреххлористого углерода или других органических очистителей в зависимости от вида загрязнения. Сливают жидкость через маслосливное отверстие. При этом следует проворачивать насос несколько раз рукой при закрытом выходном штуцере; для больших насосов это делается мотором. После промывания насоса его следует заполнить свежим маслом.

При откачке паров, способствующих загрязнению и осмолению масла, а также паров кислот рекомендуется применять масла с коррозионной защитой и, кроме того, производить более частую смену масла, которую необходимо делать непосредственно после окончания работы. Насос не должен стоять долгое время с загрязненным маслом.

Иногда насос может перестать вращаться; причиной этого часто является длительное бездействие насоса с загрязненным и осмолившимся маслом. Если это не имело места, то такая неисправность может быть вызвана перегреванием насоса во время длительной работы. При этом надо прежде всего дать насосу основательно остыть, а затем можно попробовать промыть его одним из упомянутых выше растворителей. Если это не помогает, то рекомендуется

отдать насос в ремонт на завод или в мастерскую, как это приходится делать в тех случаях, когда подвижные части насоса сильно вырабатываются. Другие неисправности, как, например, недостаточную плотность оси (подробности ниже), можно исправить на месте. Разбирая насос, не следует допускать повреждения уплотняющих поверхностей; при сборке насоса надо следить также за тем, чтобы его части собирались в прежнем порядке. Соединения поверхностей, покрытые лаком, вновь покрываются лаком после сборки.

При длительной работе насоса надо время от времени проверять уровень масла. Рабочие температуры насосов довольно высоки (см. выше). Надо, однако, следить за тем, чтобы они не превышали значений, указанных в инструкциях, в особенности для газобалластных насосов. Незамеченное при работе превышение температуры неопасно, если при этом температура не достигает 90°C . Эта температурная граница ни в коем случае не должна нарушаться. После первых 100 часов работы рекомендуется на всякий случай смешать масло.

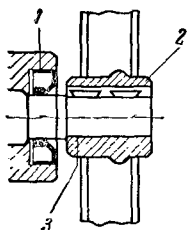


Рис. П, 35. Уплотнение вала ротационного насоса. 1 — уплотнительное кольцо, 2 — шкив, 3 — хвостовик вала.

При длительной работе насоса надо время от времени проверять уровень масла. Рабочие температуры насосов довольно высоки (см. выше). Надо, однако, следить за тем, чтобы они не превышали значений, указанных в инструкциях, в особенности для газобалластных насосов. Незамеченное при работе превышение температуры неопасно, если при этом температура не достигает 90°C . Эта температурная граница ни в коем случае не должна нарушаться. После первых 100 часов работы рекомендуется на всякий случай смешать масло.

При выключении насоса следует или впускать воздух через всасывающий штуцер, или отделить штуцер от вакуумной аппаратуры, закрыв вентиль, чтобы при длительном нерабочем состоянии масло не могло проникнуть в вакуумную аппаратуру. Рекомендуется поместить в вакууме предохранительный сосуд для приема масла (рис. П, 33).

Если после длительной работы через зазор оси начинает вытекать масло, то нужно сменить уплотнительное кольцо 1 в подшипнике (рис. П, 35). Для этого специальным съемником снимается прежде всего шкив 2, затем удаляются шпонки и вытягивается уплотнительное кольцо 1. При сборке новое уплотнительное кольцо можно легко повредить на заточке вала. Поэтому перед установкой кольца надо надеть на суженную часть вала натяжной конус так, чтобы при надевании кольца его не приходилось проталкивать через заточку вала. Необходимое приспособление можно затребовать у поставщика, указав ему тип насоса.

При достижении конечного значения вакуума насос начинает издавать хорошо слышимый металлический звон, который не является сигналом неисправности, а, наоборот, свидетельствует о нормальной работе насоса. В последнее время были сконструированы насосы, в которых для уменьшения этого звона приняты некоторые меры (бесшумные насосы).

В) Ртутные диффузионные и пароструйные насосы

Ртутные диффузионные насосы, как одноступенчатые, так и многоступенчатые, изготавливаются из металла и из стекла. Они требуют применения форвакуумного насоса, в качестве которого можно пользоваться одноступенчатым ротационным масляным насосом. Диффузионные насосы лучше работают при низких давлениях форвакуума, поэтому если для его получения имеется только водо-

струйный насос, то форвакуум можно улучшить, пользуясь ртутным диффузионным насосом, как форвакуумным; для этого надо смонтировать из стеклянных трубок с кранами устройство (как на рис. II,34) так, чтобы диффузионный насос сначала откачивал некоторый резервуар до давления 10^{-2} мм рт. ст.; этот резервуар в дальнейшем служит форвакуумом. В случае применения ртутных пароструйных насосов форвакуумным насосом можно пользоваться также только для начальной откачки аппаратуры (если требуется откачать только небольшое количество газа). Для этого между форвакуумным и ртутным насосами устанавливается большой резервуар (от 2 до 15 л), и форвакуумный насос выключается после того, как этот резервуар будет освобожден от газа (0,5—1,5 мм рт. ст.). Этот резервуар представляет собой большую стеклянную колбу или сварной стальной цилиндр.

Маленький укороченный манометр показывает давление форвакуума. Следует отметить одну деталь: в этом манометре впаины две платиновые проволочки, близко одна к другой; при определенном давлении (около 5 мм рт. ст.) ртуть касается их, что вызывает замыкание цепи; в результате этого или раздается звуковой сигнал (можно воспользоваться готовым прибором из имеющихся в продаже), или приходит в действие форвакуумный насос (а соответствующий вентиль автоматически перекрывается). Место соединения обоих колен манометра должно иметь очень небольшой диаметр для того, чтобы ртуть при быстром наполнении установки воздухом не могла своим ударом разрушить его (манометр). Такой манометр по сравнению со всеми другими наиболее просто наполняется и сохраняется более длительное время чистым, несмотря на то, что ртуть в условиях вакуума легко улетучивается при нагревании и в U-образной трубке может дистиллироваться. С помощью подобных манометров можно также измерять давление, проектируя ртутный мениск на фотоэлемент, который при повышении и понижении мениска будет затемняться в большей или меньшей степени.

а) Подключение насоса. Ртуть не должна содержать жира и заметных количеств других металлов и окислов (должна быть технически чистой). Ртуть в количестве, необходимом для работы насоса (согласно проспекту), вливается в него через высоковакуумный штуцер. Резиновая трубка, подводящая охлаждающую воду, насаживается на нижний патрубок охлаждения, трубка, отводящая воду, — на верхний патрубок. Температура воды на выходе охлаждающей системы ни в коем случае не должна превышать 20°C . Во избежание перегрева насоса при внезапном нарушении системы охлаждения рекомендуется применять контрольный выключатель, автоматически прерывающий цепь нагревания насоса, если подача воды в охлаждающую систему задерживается; возможно также при этом одновременное выключение вентилей. Для безотказной работы системы нагрева насоса необходимо следить за тем, чтобы нагреватель плотно прилегал ко всей плоскости дна насоса [4а].

Включение и выключение см. ниже в разделе «Общие правила» (стр. 181).

б) Очистка насосов. Для очистки ртути ее выливают из насоса в достаточно большую ванну, при этом внутреннюю часть насоса вначале оставляют на месте. Ее вынимают затем над ванной, в которую и сливаются остатки ртути из внутренней части. Эта часть очищается сухой кисточкой, а затем тряпочкой. Отверстие сопла

очищается маленьким ершиком, конус насоса — большим, насаженным на длинную проволоку. При сильном загрязнении части насоса промывают в ванне с бензином и высушивают на воздухе. После очистки внутренняя часть вставляется в корпус насоса, и он заново наполняется ртутью.

Неисправности в ртутных диффузионных насосах встречаются, как показывает опыт, крайне редко (см. ниже в общем разделе о неисправностях в диффузионных насосах).

К специальным явлениям в ртутных насосах относятся: осаждение ртути в форвакуумной линии; вызывается неправильным положением внутренней части или слишком слабым охлаждением, а также негерметичностью высоковакуумной части; осаждение ртути в высоковакуумной части; слишком слабое охлаждение, надо проверить температуру охлаждающей воды.

М а с л я н ы й п а р о с т р у й н ы й н а с о с. (Ввод в действие и включение см. в разделе «Общие правила», стр. 181.)

Насос не дает гарантированного значения конечного вакуума. При работе возможны следующие неисправности: 1) не течет охлаждающая вода, 2) слишком высоко форвакуумное давление, проверить манометром, 3) негерметична высоковакуумная аппаратура, 4) неправильное нагревание.

Если аппаратура и насос загрязнены парами, то можно попытаться ввести на некоторое время немного воздуха со стороны высокого вакуума при помощи игольчатого вентиля, однако, так, чтобы давление не превысило 10^{-1} мм рт. ст. Если после этого парообразующая жидкость самопроизвольно не очищается, то ее надо сменить.

Скорость откачки насоса мала. Возможными причинами являются: слишком низкий форвакуум, загрязнение парообразующей жидкости (требуется ее смена), неправильный нагрев.

Помимо применения масляных пароструйных насосов, рабочая область масляных диффузионных насосов может быть несколько расширена в сторону высоких давлений путем более сильного их прогрева. (Такие насосы в англо-американской литературе называются бустерами. Во всяком случае в результате применения более сильного прогрева не удастся достигать очень высоких значений конечного вакуума.)

При работе с масляными диффузионными насосами [5] необходимо обеспечить постоянный контроль форвакуума, поскольку очень часто эти насосы перестают действовать, как только давление форвакуума становится слишком высоким. Для измерения давления лучше всего применять манометры, работающие на принципе теплопроводности (манометр Пирани или термоэлектрический вакуумметр).

При работе с масляными диффузионными насосами в основном применяют только электрический подогрев, так как для них большое значение имеет соблюдение узкой температурной области. Ртутные диффузионные насосы могут работать как с электрическим, так и с газовым подогревом.

Надо следить за тем, чтобы пластинка нагревателя плотно прилегала ко всему дну кипятильника.

В любом диффузионном насосе молекулы масла распространяются в направлении откачиваемого сосуда. Для того чтобы их задерживать между этим сосудом и насосом, надо вводить специаль-

ные ловушки для масла, охлаждаемые водой. Рекомендуется, кроме того, ставить высоковакуумный вентиль между масляным диффузионным насосом и откачиваемым сосудом. Это позволяет нарушать вакуум в откачиваемом сосуде, не прерывая при этом работы насоса. Вентиль необходим также для защиты диффузионного насоса при внезапном нарушении вакуума. Пластинчатые вентили с малым сопротивлением потоку могут одновременно служить ловушками для масла, для этой цели их следует охлаждать водой. При особенно жестких требованиях к недопустимости попадания масла в вакуум необходимы, наряду с охлаждаемым пластинчатым вентиляем, специальные ловушки для масла.

Часто преувеличивают возможность порчи масляного диффузионного насоса при нарушении вакуума. Если давление повышется до атмосферного, и это продолжается несколько минут, то парообразующая жидкость, конечно, частично окисляется и конечный вакуум ухудшается. Но не следует думать, что парообразующая жидкость фракционно-диффузионных насосов при этом сгорает и поэтому полностью становится негодной. Правда, при ее окислении образуются продукты с значительно более высоким давлением насыщенного пара, чем у первоначальной парообразующей жидкости. Но они в течение короткого времени уходят из высоковакуумной части форвакуумной, а затем в форвакуумный насос. Таким путем происходит самоочищение парообразующей жидкости. Воздух, проникая в насос, вызывает постепенное потемнение первоначально светлой парообразующей жидкости. Это, однако, вовсе еще не значит, что она стала негодной, необходимость ее замены можно установить по сильному запаху при открывании насоса.

Масляные диффузионные насосы с большой скоростью откачки, как правило, должны охлаждаться водой. Но при малой скорости откачки применимо и воздушное охлаждение. В этом случае рабочая температура насосов повышается (до 60° С); ее можно понизить, охлаждая насос вентилятором. При применении воздушного охлаждения надо считаться с некоторым ухудшением конечного вакуума, значение которого в отдельных случаях определяется, однако, и применяемой парообразующей жидкостью. Необходимо постоянно проверять давление и на высоковакуумной стороне масляного диффузионного насоса (ионизационным манометром или манометром Пеннинга). Хорошее водяное охлаждение для масляных диффузионных насосов имеет еще большее значение, чем для ртутных. Температура вытекающей воды ни в коем случае не должна превышать 20°С (см. также об автоматическом контроле водяного охлаждения [6]).

Действие масляного диффузионного насоса репаяющим образом зависит от вида парообразующей жидкости. В литературе описано большое число таких жидкостей. Их выбор зависит также и от того, должен ли насос работать с высоким форвакуумом или же при сравнительно высоких давлениях он должен обеспечивать большую скорость откачки. Нельзя указать оптимальную конструкцию нагревателя диффузионного насоса. Она определяется парообразующей жидкостью и теми задачами, которые преследуются, а именно: большим постоянством форвакуума, низкими остаточными давлениями и т. д. Поэтому лучший способ нагрева или определяется эмпирически, или указывается в инструкции. Если в ловушках вместо водяного применяется другое охлаждение до очень низких температур, то можно получать самые низкие давления, равные дав-

лению насыщенных паров парообразующей жидкости при температуре ловушки, т. е. при надлежащем выборе жидкостей (парообразующей и охлаждающей), — значения давления до 10^{-9} мм рт. ст. Это требует, однако, и весьма малых давлений в форвакууме (в общем случае необходимо применение дополнительных промежуточных насосов (пароструйных или диффузионных), включенных между форвакуумным и диффузионным насосами).

в) *Смена парообразующей жидкости и очистка насоса.* Производить смену парообразующей жидкости надо в тех случаях, когда насос перестает давать гарантированное значение конечного вакуума или уменьшается скорость его работы. Качества парообразующей жидкости сохраняются, как правило, несколько недель и даже месяцев. Это время сильно зависит от условий работы насоса. Оно уменьшается при частой откачке, при высоком давлении, при откачке агрессивных паров и при нарушении вакуума (после длительного нарушения вакуума надо сменить также масло форвакуумного насоса). Для очищения насоса его отъединяют от высоковакуумной и форвакуумной линий и линии водяного охлаждения; затем жидкость из него выливается над тазом через форвакуумный штуцер. После этого вынимают внутреннюю часть через высоковакуумный штуцер и вместе с корпусом насоса промывают в чистом бензине, не дающем при испарении остатков. Желательно перед сборкой высушивать части насоса в сушильной печи для испарения остатков растворяющего вещества. Парообразующую жидкость лучше всего заливать в насос через форвакуумный штуцер, после чего вставляется внутренняя часть (надо следить за тем, чтобы на верхний шлем, прикрывающий сопло, не попала парообразующая жидкость).

г) *Неисправности.* Насос не дает достаточного конечного вакуума. Возможны следующие неисправности:

1. Слишком высока температура охлаждающей воды.

2. Высокое форвакуумное давление (контролируется манометром; для выявления вначале необходима возможно более длительная работа форвакуумного насоса; если это не помогает — сменить масло в форвакуумном насосе).

3. Нарушение герметичности в высоковакуумной аппаратуре. Проверить, отключив аппаратуру от насоса.

4. Аппаратура и насос загрязнены парами. Пробуют в течение некоторого времени пропускать в аппаратуру через игольчатый вентиль со стороны высокого вакуума небольшое количество воздуха. При этом давление не должно превысить 10^{-2} мм рт. ст.

5. Неправильное нагревание. Проверить цепь электронагревателя и качество теплового контакта между нагревающей пластиной и дном кипятильника.

6. Израсходована или припала в негодность парообразующая жидкость. Сменить ее.

Скорость откачки насоса недостаточна; возможные причины:

1. Слабое нагревание.

2. Необходима смена парообразующей жидкости.

3. Высокое форвакуумное давление (требуется сменить масло в форвакуумном насосе).

Недопустимое увеличение форвакуумного давления возникает также в том случае, когда пары поступают в очень большом количестве из диффузионного насоса в форвакуумный, что может быть

обусловлено или наличием паров в откачиваемом объеме, или их выделением при распаде парообразующей жидкости (например, при проникновении воздуха). В связи с этим следовало бы в качестве форвакуумного насоса перед масляным диффузионным насосом применять, как правило, двухступенчатый газобалластный насос. И только в тех случаях, когда заведомо известно, что никаких паров поступать не будет, можно в качестве форвакуумного использовать одноступенчатый ротационный масляный насос без газового балласта. Невозможно, конечно, получить свободный от паров вакуум, если в откачиваемом сосуде находятся вещества, плотность насыщенных паров которых превосходит плотность насыщенных паров используемой парообразующей жидкости. К таким веществам относятся, например, ртуть, которая особенно опасна, так как пары ртути образуют с феррометаллическими частями насоса амальгамы, что не позволяет получить хорошего вакуума. Поэтому для измерения вакуума при применении масляных диффузионных насосов нельзя применять манометры Мак-Леода, а следует использовать только манометры, не содержащие ртути.

При малых скоростях откачки применяют также ртутные и масляные диффузионные насосы из стекла или кварца. Если вода очень жесткая, то постепенно в холодильнике осаждается слой накипи, который необходимо в этих насосах достаточно часто удалять при помощи соляной кислоты.

Стекланные или кварцевые насосы имеют малый объем и обеспечивают полную герметичность форвакуума; поэтому они пригодны в качестве циркуляционных насосов при исследовании инертных газов с их повышенной текучестью. В этом случае (загрязненный) газ течет от места наблюдения (трубки) к насосу, откуда затем через очистительное устройство поступает обратно к трубке. Перед началом опыта весь замкнутый контур откачивается с помощью другого насоса до желательного вакуума.

д) Общие правила работы с диффузионными и пароструйными насосами.

Ввод насосов в действие. 1. Включить водяное охлаждение. Поток воды должен быть настолько сильным, чтобы температура на выходе системы не превышала 20° С.

2. Включить форвакуумный насос.

3. После достижения требуемого форвакуума (табл. II, 2, второй столбец) включить нагреватель диффузионного насоса. Его работа начинается через 15—30 минут.

Выключение насосов.

1. Выключить нагреватель.

2. Закрывать высоковакуумный и форвакуумный вентили; дать насосу остыть до 50° С. Только после этого во внутреннюю часть насоса можно впустить воздух. (Иначе в масляных диффузионных насосах произойдет окисление масла воздухом.)

3. Выключить форвакуумный насос и впустить в него воздух. Отключить водяное охлаждение.

Г) Водоструйные насосы из стекла или металла

Водоструйные насосы из стекла или металла обычно позволяют получить давления (около 12 мм рт. ст.), соответствующие давлению насыщенного пара воды. Надо следить за тем, чтобы давление воды

было достаточно большим, так как иначе в насосе возможен обратный выброс. Из этих соображений рекомендуется снабжать насос вентилем, предотвращающим возможность обратного прорыва воды, и приемным сосудом во всасывающей линии. Насосы необходимо отделять от вакуумной аппаратуры перед выключением водяной струи и соединять их с атмосферным воздухом. Для получения с помощью водоструйных насосов давлений ниже 12 мм рт. ст. надо включить во всасывающий патрубок водяной пароструйный насос. Опасность обратного выброса и здесь требует достаточно большого давления водяного пара; необходимы также специальные меры предосторожности перед выключением насоса (приемный сосуд, а также соединение всасывающего штуцера с атмосферой). При эксплуатации водяного пароструйного насоса с водоструйным в качестве форвакуумного надо выполнять следующие правила.

В к л ю ч е н и е

1) Открыть кран в трубке, подводящей воду к водоструйному насосу, так, чтобы образовалась сильная, пенящаяся струя воды, бьющая из выливной трубки.

2) Открыть кран паропровода и установить избыточное давление пара между 0,5 и 0,05 ат.

3) Включить водяное охлаждение и так отрегулировать поток воды, чтобы она вытекала из системы слабой струей.

4) Подключить подлежащую откачке аппаратуру, закрыв при этом вентиль, впускающий в насос воздух.

В ы к л ю ч е н и е

1) Во избежание обратного выброса прежде всего отключить вентилем всасывающую линию пароструйного насоса от аппаратуры.

2) Открыть вентиль, подающий воздух в пароструйный насос через всасывающую линию.

3) Закрыть паропровод.

4) Отключить водную струю.

5) Отключить водяное охлаждение.

§ 4. Измерение вакуума [7]

А) Предварительные замечания

Каждое измерение вакуума является в значительной степени ненадежным, и без специальных приготовлений редко удается получить данные с точностью большей, чем 10%; тем не менее все же рекомендуется измерения степени разрежения производить при всех вакуумных работах. В таблице II,3 представлены различные типы имеющихся в продаже вакуумметров, пригодные для практического применения. Для измерения форвакуума самым дешевым из выпускаемых приборов является вращающийся компрессионный манометр, а для точных измерений применяется теплопроводный манометр и альфатрон. Для измерения высокого вакуума широкое распространение получил манометр Пеннинга (его называют также вакуумметром Филиппса). В нем отсутствуют нагреваемые элементы (например, вольфрамовая нить и др.), которые при внезапном прекращении подачи воздуха обычно выходят из строя. Однако точность этих приборов не очень высока, так как в самом вакуумметре изменяется давление проходящего газа. Однако, для большинства прак-

тических целей вполне достаточно знать давление вакуума с точностью до 10%. Более точные значения степени вакуума можно получить при помощи ионизационного манометра.

Из табл. II,3 видно, что, за исключением мембранных и жидкостных манометров для высокого давления, нет такого манометра, показания которого не зависели бы от свойств газов, а при измерении полного давления — от свойств газов и паров. Независимость от свойств газов имеет место только для манометра Кнудсена

Таблица II,3

Типы вакуумных манометров в

Тип вакуумметра	Область измерения, мм рт. ст.	В основе измерения лежит	Зависят ли показания от свойств газа	Зависят ли показания полного давления от свойств газов и паров
Мембранный (стрелочный) манометр	760—10	Давление	нет	да
Манометр с жидкостью	760—1	Давление	нет	да
Вращающийся компрессионный вакуумметр	60—0,05	Давление после предварительного сжатия	нет	нет
Высокочастотный вакуумметр	$10-10^{-3}$	Газовый разряд	да	да
Альфатрон	$760-10^{-3}$	Ионизация газов α -частицами	да	да
Компрессионный вакуумметр (Мак-Леод)	$10-10^{-2}$ $1-10^{-5}$	Давление после предварительного сжатия	нет	нет
Теплопроводный вакуумметр (Шпранги, термоэлектрический вакуумметр)	$10-10^{-3}$	Теплопроводность газов	да	да
Вакуумметр, основанный на внутреннем трении	$10^{-1}-10^{-5}$	Внутреннее трение газов	да	да
Вакуумметр Пеннинга (Филиппс)	$10^{-2}-10^{-6}$	Ионизация газа	да	да
Ионизационный вакуумметр	$10^{-2}-<10^{-7}$	Ионизация газа электронами	да	да
Ионизационный вакуумметр для сверхвысокого вакуума [8]	$10^{-3}-10^{-11}$	Ионизация газа электронами	да	да
Радиометрический вакуумметр	$10^{-3}-10^{-6}$	Термическое молекулярное давление	нет	да

(поэтому его называют также абсолютным манометром). Однако последний прибор настолько чувствителен (особенно к сотрясениям), что для технических целей не нашел применения и едва ли может оказаться предметом заводского производства.

Очень широкое применение находит манометр Мак-Леода, который часто служит для калибровки других типов манометров [9]. Он показывает значения вакуума только для отдельных моментов. При наличии паров показания этого вакуумметра будут неточными.

Вообще, при измерениях вакуума настоятельно рекомендуется воздерживаться от переоценки точности получаемых результатов, и во всех случаях прежде всего необходимо отдавать себе отчет в том, что измеряет манометр — полное ли давление или только давление остаточных постоянных газов, находятся ли в установке пары и т. д., которые искажают показания. Кроме того, следует принимать во внимание данные, содержащиеся в инструкциях фирм, изготовляющих манометры. В работе Якеля [10] обстоятельно рассматриваются возможности измерений вакуума различными приборами и границы применимости каждого из них. Кроме того, следует также иметь в виду, что отчетные кривые для различных типов манометров на практике могут изменяться; это особенно относится к теплопроводным манометрам и манометру Пеннинга. В качестве очень грубой оценки степени разрежения может служить вид электрического разряда в газах (применяются или разрядные трубочки, присоединенные к вакуумной установке и питаемые индукционной катушкой, или высокочастотные вакуумные контроллеры, которые вызывают безэлектродный разряд в стеклянной части установки).

При применении манометров различных типов надо иметь в виду следующее.

Б) Отдельные измерительные приборы

а) Пружинные манометры. Их показания в области низких давлений в несколько мм рт. ст. весьма неточны.

б) Жидкостные манометры. Существует опасность проникновения газов и паров в западную часть U-образной трубки манометра. О методах очистки ртути и стеклянных частей таких манометров см. в разделе «Очистка».

в) Манометры, основанные на теплопроводности газов. Показания этих манометров зависят от окружающей температуры. Поэтому она ни в коем случае не должна превышать 35° С. Существует также опасность изменения градуировочных кривых манометров во время работы, в особенности в тех случаях, когда в вакуумной установке содержится большое количество органических паров (например, при опытах по пропитыванию). В этом случае нагреваемые провода могут разлагаться, что вызывает осаждение металла на поверхностях и изменение градуировочных кривых. Это явление требует изменения тока в нагревателе и новой градуировки прибора. В случае необходимости очистки стеклянных деталей можно воспользоваться указаниями, данными в соответствующем месте этой книги. При не сильном загрязнении металлических частей их можно очистить, пропуская по ним ток, а в более тяжелых случаях — электролитическим путем.

е) *Манометры Пеннинга*. Ошибки, вызываемые поглощением или испусканием газа, часто преувеличивают. При короткой соединительной линии между трубкой и аппаратурой (15 см) опи в общем случае менее 20%. Еще лучше измерительную систему поместить внутри вакуумной аппаратуры. Металлические слои, возникающие на стенках после продолжительной работы вследствие распыления катода, удаляют прополаскиванием трубки разбавленной плавиковой кислотой. Если и при атмосферном давлении отсчетный прибор манометра показывает отклонение, то это свидетельствует о нарушении изоляции в соединительном кабеле между вакуумной системой и отсчетным устройством. Градуировка прибора со временем нарушается вследствие размагничивания постоянных магнитов. В этом случае требуется новое намагничивание магнитов.

д) *Ионизационный манометр* является прибором, который в настоящее время наиболее часто применяется при измерениях самых низких давлений. В связи с этим необходимо перед измерениями обезгаживать его металлические части. Это достигается или бомбардировкой электронами, или пропусканием тока непосредственно через металлические части, если это только возможно. В противном случае применяют индукционное нагревание. При измерениях целесообразно включать ионизационную трубку в схему с автоматической стабилизацией электронного тока. При таких включениях в самых общих случаях возможны неисправности, указанные в табл. II, 4.

е) *Альфатрон* [11]. 1) Неисправности: к ошибке в измерениях может привести загрязнение ионизационной камеры. Если ее стенки сильно загрязнены, то происходит большое выделение газов, и результаты измерений дают значения давления, завышенные против действительных. Дополнительная ошибка имеет место, если выделяющийся со стенок газ имеет ионизационный потенциал, отличный от потенциала газа в вакуумном сосуде. Если препарат радиоактивного вещества закрыт настолько толстым слоем загрязнения, что снижается число и пробег альфа-частиц, то манометр покажет слишком низкое давление. Показания увеличиваются или уменьшаются, если вследствие загрязнений изоляции возникает утечка ионизационного тока или появляются блуждающие токи.

При обнаружении подобных ошибок и уменьшении с течением времени чувствительности манометра его снимают с вакуумного аппарата, заполняют чистым метиловым спиртом и в течение нескольких минут сильно встряхивают. Эту операцию следует несколько раз повторить! Затем манометр прополаскивают дистиллированной водой, тщательно ее сливают, а остатки высушивают. После этого манометр около получаса выдерживают при температуре не выше 100°C в печи (сушильном шкафу), снова присоединяют к вакуумному аппарату и в течение нескольких часов проветряют.

2) Если при наложении напряжения на сетку контрольная лампочка не загорается, то следует проверить предохранители, соединительные кабели и саму контрольную лампочку.

3) Если чувствительность измерительной системы сильно уменьшилась, а также если при горячей контрольной лампочке прибор не дает показаний или его не удается установить на нуль, то необходимо проверить первую лампу усилителя. Для проверки нити накала лампы надо измерить сопротивление между соответствующими

Неисправность	Возможные причины и их устранение
<p>Измерительная трубка не включается, и после длительного окисления</p> <p>а) контрольная неоновая лампочка на щитке не загорается</p> <p>б) неоновая лампочка горит, нить накала измерительной лампы мигает</p> <p>регулярно</p> <p>нерегулярно</p> <p>«Эмиссионный» измерительный прибор отклоняется до включения измерительной трубки</p> <p>а) не сильно</p> <p>б) выходит за пределы шкалы</p> <p>«Эмиссионный» прибор, несмотря на сильный накал измерительной лампы, не отклоняется</p> <p>Прибор измерения давления не устанавливается на «0»</p>	<p>Нет напряжения питания, перегорел предохранитель, выключилось реле</p> <p>Перегорела измерительная лампа</p> <p>Регулировка тока эмиссии не действует. Ток колеблется около среднего значения</p> <p>Плохой контакт в электропроводке к трубке; проверить электропроводку</p> <p>Нарушение изоляции между цепью накала и сеткой измерительной лампы; выключить прибор, очистить изоляцию цоколя лампы спиртом</p> <p>Нить накала касается сетки, или провода цепи накала касаются сеточных проводов; отключить прибор, устранить короткое замыкание</p> <p>Оборван провод сетки, немедленно выключить прибор и проверить подключение лампы</p> <p>Сильное отклонение от номинала напряжения сети. Произвести грубую установку нуля потенциометром.</p>

штырьками цоколя. При этом испытательный ток не должен превышать 10 *ма*! Сопротивление должно равняться примерно 70 *ом*.

4) Если стрелка альфатрона быстро вибрирует, делая размахи более чем на одно деление, то это говорит о плохом заземлении прибора. Другой причиной вибрации могут явиться механические колебания измерительной лампы или сетевого прибора. Поэтому надо избегать сильных сотрясений установки.

5) Внезапные сильные отклонения нулевой точки прибора в большинстве случаев вызваны внезапным изменением температуры во внутренней части сетевого прибора. Устранить сквозняк!

§ 5. Обнаружение течей [12]

А) Общие методы

Для того чтобы не тратить напрасно времени на поиски течи, когда вакуумная аппаратура уже собрана, следует испытывать на герметичность ее отдельные части еще до установки их на место. Такое испытание можно производить различными способами:

1. В испытываемую часть можно накачать в избытке газ и затем ее всю погрузить в воду. Появление мелких пузырьков указывает на наличие большой течи.

2. Если по каким-либо причинам нельзя погрузить деталь в воду, то ее можно покрыть мыльным раствором или раствором некаля. Внутрь, как и в первом случае, накачивается газ до давления больше атмосферного.

3. Значительно более чувствительным, чем два первых способа, является следующий: испытываемую часть наполняют газообразным аммиаком с небольшим избытком давления и обматывают снаружи озалитовой бумагой (озалитовая бумага применяется при изготовлении кальки для технических чертежей). В местах, где имеется хотя бы слабая течь, на озалитовой бумаге появляются черные пятна. Так как такое испытание может продолжаться долгое время, то этот способ оказывается исключительно чувствительным, и по истечении нескольких часов с его помощью можно обнаружить места с самой незначительной течью [13]. После сборки всей аппаратуры ее снова испытывают, для чего откачивают всю установку насосом до возможно более высокой степени разрежения, а затем, отключив насос, исследуют процесс повышения давления в ней с течением времени: это дает возможность выяснить, нет ли в установке течи и если она имеется, то насколько велика степень негерметичности.

Имея зависимость давления от времени, можно легко подсчитать степень негерметичности, т. е. количество воздуха, проникающее в вакуум в секунду:

$$U = \frac{v \Delta p \text{ мм рт. ст. л}}{\Delta T \text{ сек}},$$

Δp — повышение давления, ΔT — соответствующий промежуток времени, v — объем аппаратуры.

Негерметичность должна быть менее $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. л/сек, т. е. в данном аппарате, пользуясь насосом со скоростью откачки 1 л/сек, можно достигнуть наибольшего разрежения $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. или, пользуясь насосом со скоростью откачки 10 л/сек, можно достигнуть наибольшего разрежения $1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст. Эта цифра, т. е. течь $< 1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. л/сек, обычно допускается для всех применяемых на практике вакуумных установок, в особенности большого размера. В отдельных случаях, особенно при изготовлении радиоламп, предъявляются более жесткие требования ($1 \cdot 10^{-10}$); для сверхвысокого вакуума: $10^{-12} - 10^{-13}$ мм рт. ст. л/сек.

Исследуя постепенное повышение давления в аппаратуре, можно допустить ошибку, если принять за течь выделение газов или паров из стенок установки. Чтобы исключить эту ошибку, необходимо, смотря по обстоятельствам, повторять наблюдения над повышением давления и выяснить, не уменьшается ли эта «течь», измеряемая изменением давления, со временем. Чтобы устранить влияние паров при измерении давления, следует при этих измерениях применять манометр Мак-Леода или вакуумный манометр, снабженный охлаждающими ловушками. По характеру кривой изменения давления можно судить о наличии или отсутствии течи. Если повышение давления является следствием только выделения паров или газов, то, начинаясь с крутого подъема, оно постепенно достигает значения, соответствующего насыщению (давление насы-

щения, равное примерно 20 мм рт. ст., свидетельствует о присутствии паров воды). При наличии течи подъем кривой давления, в начале крутой, переходит затем в более пологий, при этом кривая остается близкой к прямой линии до довольно высоких давлений.

Если оказывается, что течь превышает все допустимые пределы, то ее необходимо найти и устранить. Этот процесс значительно облегчается, если аппаратуру можно при помощи вентиля или кранов делить на отдельные изолированные друг от друга части. Прежде всего необходимо проверить такие сомнительные места, как шпифы, краны, вентили, фланцы, места склейки, места сплавления стекла с металлом, стекла с керамикой и керамики с металлом, а также, в особенности, сварные швы. Для обнаружения течи в таких сомнительных местах имеется много различных способов. Наиболее простой из них состоит в том, что сомнительное место смазывают минеральным маслом и наблюдают, не вызовет ли это улучшения вакуума. Этот простой прием допускает следующие варианты.

Сомнительное место смазывают ацетоном и наблюдают, произойдет ли при этом изменение в показаниях манометра, имеющегося в установке (альфатрона, манометра Пирани или Пеннинга, ионизационного манометра), что обычно наблюдается во всех случаях, когда смазывается место, имеющее течь. Точно так же изменение цвета разрядной трубки, питаемой высокочастотным вакуумным контуром, показывает, что смазанное ацетоном место имеет течь.

Высокочастотный вакуумный контур при стеклянной аппаратуре можно непосредственно применять для контроля ее герметичности, так как при приближении одного из полюсов контура к поре в стекле становится видна ярко светящаяся траектория разряда внутри поры и вблизи нее.

Новейший способ нахождения течи состоит в следующем: испытываемая аппаратура обдувается контрольным газом, не содержащимся в атмосферном воздухе. Проникновение этого газа через неплотные соединения обнаруживается индикатором, реагирующим только на контрольный газ. При практическом применении этого метода рекомендуется иметь в аппаратуре постоянную контрольную течь, обдувая которую контрольным газом можно в любое время проверить чувствительность и пригодность контрольного газового индикатора. Эта контрольная течь должна быть возможно дальше удалена от индикатора. Она может состоять, например, из тонкой капиллярной трубки, которую обламывают в таком месте, чтобы подключенный к установке манометр показывал едва заметное увеличение давления (ср. стр. 195 и 199).

Б) Методы проверки с фреоном или галоидами

В методе, пригодном для испытания технических вакуумных установок, применяют в качестве контрольного газа фреон или другой газ, содержащий галоид, а в качестве индикатора — платиновый анод, расположенный в вакууме напротив второго электрода. Анод в нагретом состоянии эмиттирует щелочные ионы. В присутствии галоидов ток щелочных ионов меняется по величине.

Чувствительность метода равна примерно 10^{-6} мм рт. ст. л/сек. Преимуществом этого метода является возможность

применения его не только при низких давлениях, но и давлениях порядка атмосферного. Необходимо отметить еще следующее.

Для обнаружения течи в вакуумных аппаратах с диффузионным насосом контрольную трубку можно подсоединить как к высоковакуумной, так и к форвакуумной частям; время обнаружения течи получается наиболее коротким, если контрольную трубку присоединить в области высокого вакуума, лучше всего между диффузионным насосом и откачиваемым сосудом, например у высоковакуумного вентиля.

Контрольная трубка должна быть присоединена таким образом, чтобы в нее не могли понадать пары масла или конденсата (при включении между диффузионным и форвакуумным насосами она, следовательно, должна быть расположена по возможности более вертикально). Соединение между трубкой и откачиваемым сосудом должно быть возможно более коротким. При присоединении трубки к высоковакуумной стороне диффузионного насоса полезно предусмотреть возможность присоединения ее и к форвакуумной стороне, чтобы в случае необходимости можно было проверить линии и вентили на этой стороне.

В особых случаях, например если откачивается сосуд с двойными стенками, обдувание фреоном бесполезно, так как проникающий через течь во внешней стенке контрольный газ лишь очень медленно диффундирует к неплотному месту внутренней стенки. В этом случае фреон вводится через специальное отверстие в пространство между стенками. Этот способ, однако, лишь указывает на наличие течи, но не позволяет найти ее место.

Обнаружение течи в аппаратах, подвергавшихся очистке растворителями, содержащими хлор, в течение долгого времени невозможно, так как контрольный газ реагирует с остатками растворителя, имеющимися в установке. Поэтому для очистки надо применять растворители, не содержащие в составе частиц галоидов.

В удлиненных установках рекомендуется отмечать время между обдуванием контрольной течи и срабатыванием индикатора, составляющее многие секунды. Знание этого времени позволяет установить, вызваны ли показания индикатора обдуванием течи или другими непредвиденными причинами.

В) Очистка галоидно-платиновых индикаторных трубок

Если в результате неправильного обращения масло из ротационного насоса попало в контрольную трубку, то ее следует промыть в бензине. Затем трубку надо некоторое время откачивать при помощи газобалластного насоса, после чего ее обрабатывают при полном накале в течение нескольких минут при атмосферном давлении.

Г) Методы обнаружения течи при помощи гелия

Применение в качестве контрольного газа гелия, а в качестве индикатора масс-спектрографа [14] обеспечивает наибольшую чувствительность метода обнаружения течи контрольным газом. Это, конечно, очень дорого, с одной стороны, из-за дороговизны гелия,

с другой стороны, из-за необходимости пользоваться масс-спектрографом. Последний, однако, может быть упрощен настолько, чтобы он только отделял линию гелия от других линий и постоянно был установлен на линию гелия. Можно также применять простые масс-спектрографы, например, в форме омегатрона. Чувствительность, достигаемая этим методом, лежит между 10^{-8} — 10^{-9} мм рт. ст. л/сек.

Д) Методы обнаружения течи при помощи водорода

В другом методе в качестве контрольного газа применяется водород [15], в качестве индикатора — ионизационный манометр или манометр Пеннинга; их отделяют от остальной вакуумной аппаратуры палладиевой трубкой. Вследствие этого манометр показывает некоторое давление только тогда, когда в аппаратуру через течь проникает водород. Недостатком метода является требование хорошего вакуума, не менее 10^{-4} мм рт. ст., так как иначе палладиевая трубка может окислиться кислородом и стать непроницаемой для водорода.

Аналогичная трудность имеет место и при применении масс-спектрометра, так как и в этом случае недопустимы давления выше 10^{-4} мм рт. ст. Если давление в аппаратуре выше, то необходимо между ней и масс-спектрометром поместить дроссель, например в виде вентиля, обеспечивающий падение давления.

§ 6. Вакуумпроводы

А) Предварительные замечания

Очень часто производительность насоса значительно уменьшается вследствие очень малого сечения вакуумного трубопровода или вакуумной линии. Если обозначить через S_0 производительность насоса, замеренную у его патрубка (гарантируемую фирмой), через S — производительность насоса, замеренную на конце вакуумной линии, а через W — отношение длины вакуум-провода к кубу радиуса его труб, или сопротивление линии (W = длина/радиус³), то для области молекулярного потока (т. е. при условии, что длина свободного пробега молекул велика по сравнению с радиусом линии) имеет место следующая зависимость:

$$S = \frac{1}{W + \frac{1}{S_0}}$$

(S и S_0 — в л/сек, длина и радиус — в мм). Пусть газ откачивается через трубопровод длиной 1 м в одном случае (А) насосом с производительностью $S_0 = 1$ л/сек, а в другом случае (Б) насосом с производительностью $S_0 = 10$ л/сек. В табл. II,5 показано, на сколько процентов понижается производительность насосов в том и другом случае в зависимости от диаметра D трубопровода.

Только при более высоких давлениях (спектральные трубки!) можно применять трубы малого сечения, однако в этом случае не принято пользоваться насосами такой большой производительности.

Таблица II,5

D, мм	80	40	20	8
A, %	100	50	12	2,4
B, %	75	10	1,2	0,3

При выборе размеров вакуумных линий следует руководствоваться таким правилом: сечение соединительного трубопровода ни в коем случае не должно быть меньше, чем сечение, указанное заводом в формуляре насоса, длина же линии должна быть малой, не более 0,5 м, и только в крайнем случае — до 1 м [16].

Б) Охлаждающие ловушки

Если, применяя парортутный насос, стремятся получить в приборе давление ниже 10^{-3} мм рт. ст. или вакуум, свободный от паров ртути, то необходимо вводить ловушку для вымораживания ртутных паров между ртутным насосом (и манометром Мак-Леода), с одной стороны, и откачиваемым прибором, с другой. С этой целью применяются различные по форме охлаждающие ловушки:

1. Так называемый «охлаждающий палец», который выступает внутрь вакуумного трубопровода и для охлаждения наполняется жидким воздухом.

2. U-образная трубка.

3. Две концентрически расположенные трубки.

Если применяются два последних типа ловушек, то их охлаждают, пользуясь сосудом Дьюара с жидким воздухом; в него опускают оба колена U-образной трубки или нижний конец ловушки третьего типа. Конденсирующуюся влагу, которая при испарении жидкого воздуха, возможно, будет оставаться в сосуде Дьюара, следует тщательно удалять, так как в противном случае сосуд при наполнении жидким воздухом может треснуть. Кроме того, наполняя сосуд Дьюара и вводя в него ловушки, следует строго следить за тем, чтобы жидкий воздух не переливался через край сосуда. Сосуды Дьюара из иенского стекла хотя и дороже, чем из обычного, однако значительно выносливее.

Охлаждающие ловушки изготовляют из стекла или металла в зависимости от того, имеют ли дело со стеклянной или металлической аппаратурой. Металлические ловушки в большинстве случаев делают только в виде охлаждающего пальца.

Вследствие хорошей теплопроводности металлов расход жидкого воздуха при металлических ловушках, которые для металлической аппаратуры являются единственно пригодными, оказывается значительно большим, чем при стеклянных ловушках. Выход из этого неприятного положения находят, изготовляя наружную часть охлаждающей ловушки из металла, а ее внутренний палец из стекла.

Расход жидкого воздуха для металлических и стеклянных диффузионных насосов с охлаждающими ловушками среднего диаметра ($D \approx 65$ мм) составляет:

охлаждающий палец, металл	100 см ³ /час
охлаждающий палец, стекло	35 см ³ /час
охлаждающая стеклянная ловушка в стеклянном сосуде Дьюара	20 см ³ /час

Если хотят с уверенностью задержать в ловушке все количество ртутного пара, то рекомендуется применять в качестве охлаждающего средства только жидкий воздух (важно для предотвращения образования на металлических деталях в вакууме амальгамы, в особенности «ртутной болезни» алюминиевых электродов).

Для получения сверхвысокого вакуума целесообразно применение даже двух ловушек, включенных последовательно и охлаждаемых жидким воздухом.

Хотя давление ртутного пара при более высоких температурах так незначительно, что практически не оказывает вредного влияния, все же рекомендуется применять иное охлаждение, например при помощи смеси сухого льда и спирта. Вопрос об охлаждении с помощью ртути возникает только в том случае, если нет необходимости полностью освободить вакуумное пространство от ртути или если невозможно получить жидкий воздух.

Различные другие иногда рекомендуемые методы устранения паров ртути, например с помощью металлического натрия или калия или с помощью активированного угля, имеют малое практическое значение и здесь не рассматриваются.

Несмотря на то, что давление насыщенного пара воды при температуре жидкого воздуха равно всего 10^{-16} мм рт. ст., при образовании в вымораживающем сосуде следов льда достижение высокого вакуума становится невозможным. Поэтому ошибочно вводить охлаждение, если вакуумная проводка еще находится при атмосферном давлении. Если для охлаждения имеется только смесь спирта с твердой углекислотой, то, так как давление насыщенных паров воды при -80°C равно еще 10^{-4} мм рт. ст., их следует удалить с помощью фосфорной кислоты¹⁾.

В) Л о в у ш к и м а с л я н ы х д и ф ф у з и о н н ы х насосов

Сходны по конструкции с охлаждающими ловушками для ртутных насосов. Они должны оказывать возможно меньшее сопротивление. Ловушка простейшей формы состоит из охлаждающей пластинки в радиальной части линии, причем пластинка устанавливается в поперечном направлении. Охлаждается ли пластинка только водой или до более низких температур, зависит исключительно от условий в данном исследовании. При охлаждении до низких температур рекомендуется между этой пластинкой и насосом включить вторую ловушку, охлаждаемую водой.

Г) Д р у г и е к о н с т р у к т и в н ы е э л е м е н т ы в а к у у м - п р о в о д а

а) *Стеклопанельная проводка* (шлифы, краны, ртутные запоры). Как уже было отмечено выше, при работах с высоким вакуумом отверстия шлифов и кранов должны иметь возможно большее сече-

¹⁾ Последние следы влаги, согласно Кёнигу (Nachr. d. Akad. d. Wiss. in Göttingen, Math.-Physik. Kl. 1942, S. 1), могут обнаруживаться в электронной дифракционной аппаратуре. Эта влага неожиданно выделяется на охлаждаемой жидким воздухом коллоидной пленке в виде кристаллов с кубической решеткой. Вымораживающие ловушки этого не устраняют. Необходимо применять P_2O_5 . Может также наблюдаться орторомбическая дифракционная картина, вызванная парами смазки крана; однако ее нетрудно устранить, если охладить патрубков.

ние. Шлифы целесообразно применять только таких размеров, которые соответствуют стандартам. Наиболее целесообразная форма кранов для вакуумных работ изображена на рис. II,36; при такой форме крана (в противоположность их обычным образцам) его пробка прижимается действием атмосферного давления. Эти краны монтируются в вакуумном трубопроводе таким образом, что отверстие полной пробки направлено в сторону вакуума.

Для соединений в стеклянных линиях фирмами предлагаются плоские шлифы (аналоги металлических фланцев) и сферические шлифы. Последние допускают некоторое взаимное перемещение частей линии. Концы шлифов на протяжении от 5 до 10 мм не следует смазывать жиром с тем, чтобы предотвратить возможность попадания жира [17] внутрь трубок при длительной эксплуатации установки (рис. II,37).

Смазанный жиром кран или шлиф должен быть прозрачным: тонкие непрозрачные полоски дают основание предположить наличие неплотности. На шлифах, смазанных несколько больше, чем это необходимо, часто видны разветвленные фигуры, подобные следам электрических искр. Последнее обычно является свидетельством чрезвычайно большой неплотности. Нажимая на кран, несколько прогревая его и вращая пробку, можно устранить неплотность, однако часто только ненадолго. Если не помогают

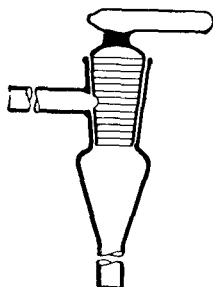


Рис. II,36. Высоковакуумный кран.

даже сильный нажим и вращение, или помогают ненадолго, то кран необходимо лучше пришлифовать. Для этого с помощью бензола или спирта с него смывают большую часть жира, смазывают тонким слоем смеси, состоящей из мелко размолотого порошка полировального наждака и воды, и притирают, сильно надавливая на пробку.

Если кран проворачивается слишком туго, то его можно слегка ослабить, нагревая горячей воздушной струей (или горелкой Бузена).

Большие требования предъявляются к смазывающему веществу, или смазке, которая, помимо хороших смазочных качеств, должна обладать также малой упругостью паров. Наиболее распространенной (вплоть до настоящего времени) является каучуковая смазка Рамзая. Она состоит примерно из равных весовых частей каучука и вазелина.

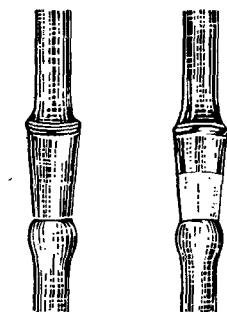


Рис. II,37. Смазывание конических шлифов, справа правильное, слева неправильное.

При изготовлении смазки следует не весь каучук сразу прибавлять к вазелину. Можно рекомендовать следующий способ приготовления смазки Рамзая. Заготавливают чистый, не содержащий песка, невулканизированный сырой каучук и разрезают его на маленькие кусочки. Химический стакан с 300—400 г белого вазелина ставят на паровую баню и, бросив в вазелин «горсть» кусочков каучука, накрывают стакан. Через два-три дня каучук растворяется.

Смазке дают остыть и затем проверяют ее консистенцию. Если смазка оказывается слишком жидкой, в ней растворяют таким же способом еще некоторое количество каучука. Упругость паров смазки Рамзая составляет около 10^{-3} мм рт. ст. Если смазку удерживать в расплавленном состоянии в круглой колбе под вакуумом весьма продолжительное время, то летучие составляющие отгоняются, и упругость ее пара уменьшается до $1 \cdot 10^{-5}$ мм рт. ст. при 20°C .

Упругость пара в несколько десятков раз меньшую имеют азеозовая смазка и соответствующая ей смазка фирмы Лейболд, но они очень дороги. По Зейделю [18] эти смазки после их распаковки имеют (относительную) упругость паров около 10^{-5} мм рт. ст., но при нагревании до 90°C она падает (иногда быстро, а иногда в течение нескольких часов) значительно ниже, до 10^{-7} мм рт. ст. Силиконовые смазки отличаются очень низкими упругостями пара и очень высокой температурой каплеобразования ($> 200^\circ \text{C}$).

Большим постоянством свойств при изменении температуры по сравнению с силиконовой смазкой обладают так называемые дителеновые жиры, содержащие частично неорганическую основу.

Несмотря на все это, смазанные краны с их малыми сечениями отверстий, с их склонностью к появлению случайных течей, с их органической смазкой являются до некоторой степени только крайним средством. Поэтому многие из физиков отдают предпочтение (при работах с высоким вакуумом!) ртутным запорам типа изображенного на рис. II,38; такие запоры позволяют полностью воспользоваться преимуществами современных диффузионных насосов, однако их можно применять только при разности давлений не выше нескольких сантиметров.

Рис. II,38.
Ртутный запор.

Некоторые из употребительных запоров описаны и зарисованы Мёнхом. Недостатком запоров, управляемых с помощью магнитов, в большинстве случаев является значительное нагревание катушек при продолжительном пропускании через них электрического тока. Поэтому мы приводим здесь только один из новых типов таких запоров, предложенный Шмиттом [19].

Железную крышку *D* (рис. II,39) с помощью магнита можно поднимать до места *R*, где ее можно задержать.

В качестве запирающих устройств, в особенности в областях высокого и сверхвысокого вакуума, широко применяют стеклянные вентили (рис. II,40). Их преимуществом является возможность самопрогрева. Уплотнение этих вентилях производится тремя различными способами: или две оптически плоско отшлифованные стеклянные поверхности прижимаются друг к другу (плоские шлифы), или сдавливаются два сферических или два конических шлифа. Во всех случаях соприкасающиеся поверхности стекла не должны покрываться жиром. Подвижная часть вентиля прочно

прикрепляется к помещенному в вакуум куску железа, передвигаемому магнитом. В другом варианте подвижная часть подвешивается на проволоке, уравновешенной на другом конце (блок) грузом, который перемещается магнитом. Преимуществом этого варианта является возможность остановить подвижную часть в любом положении. Такие стеклянные вентили не позволяют перекрывать линии при слишком больших перепадах давления, но пригодны при давлениях не больше 10^{-3} мм рт. ст.

Для впуска атмосферного воздуха в установку применяют вентиль или игольчатый клапан (см. ниже). В стеклянной аппаратуре вместо этого можно пользоваться тонкостенным стеклянным капилляром, кончик которого для впуска воздуха отламывается. С этой

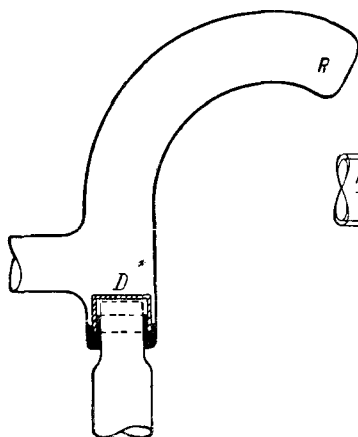


Рис. II,39. Магнитный запор.

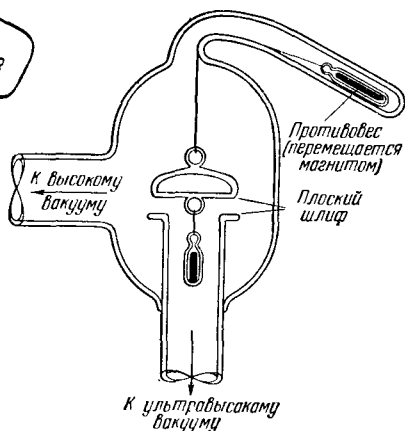


Рис. II,40. Стеклянный вентиль.

целью при монтажке установки расплавляют в подходящем месте стеклянную трубку и вытягивают из этой ее части капилляр. Затем небольшое отверстие на его конце снова заплавляют.

б) *Металлические вакуумпроводы* (фланцевые соединения, вентили). Вследствие того, что металлы обладают свойством выделять большое количество газов при высоком вакууме, раньше для изготовления высоковакуумных трубопроводов и аппаратуры применялось почти исключительно стекло. В настоящее время, в связи с большими скоростями откачки современных диффузионных насосов, стало возможным изготавливать высоковакуумную аппаратуру целиком из металла.

Для монтажа трубопроводов применяются преимущественно цельнотянутые стальные трубы, соединение которых между собой и с другими элементами (например, фланцами) выполняется с помощью сварки. В случае применения нежелезных металлов также можно говорить только о цельнотянутых трубах, которые лучше всего соединять с помощью твердой пайки. Однако не было случаев применения труб из чугуна или так называемых газовых труб. Герметичность (см. ниже) указанных двух сортов труб для высоко-

вакуумной техники отнюдь не достаточна. Для соединения одной металлической трубы с другой можно пользоваться тем же приемом, как и в стеклянных трубопроводах: при помощи нормальных плиффов, хорошо смазанных; однако вместо соединений на шлифах лучше применять так называемые фланцевые соединения.

Соединение труб с помощью фланцев производится следующим образом: к металлическим трубам, которые должны быть соединены между собой, привариваются или припаиваются (пайка твердым припоем) фланцы; один из них имеет концентрический выступ, а другой — канавку, в которую вставляется резиновое кольцо, обеспечивающее уплотнение соединения.

Еще лучше на концах линий применять два одинаковых гладких металлических фланца с третьим, несущим уплотняющий элемент, фланцем или дистанционным кольцом между ними. В качестве уплотняющих колец применяют кольца с круглым сечением, а для соединений, которые должны часто демонтироваться, — кольца с трапециевидным сечением; их вставляют в соответствующие канавки. Рекомендуется пользоваться стандартными размерами фланцев, при этом для проводов, в особенности форвакуумных, выгоднее применять соединения с фланцами небольших размеров. Материалом для колец может служить натуральный каучук, синтетические каучуки — буна, пербуна и каучук на силиконовой основе.

От резиновых колец, кроме устойчивости по отношению к маслам и органическим растворителям, требуется прежде всего возможно малая газоотдача [20]. Кольца из пербуна выдерживают рабочие температуры до 100° , а из силиконового каучука — до 180° С. При еще более высоких температурах в качестве уплотняющих материалов применяются искусственные вещества тефлон и хостафлон. Наконец, при особенно высоких температурах в качестве уплотнителей применяют металлические кольца из свинца, меди, алюминия, серебра и др., имеющие перед уплотняющими кольцами из органических веществ еще и то преимущество, что они выделяют значительно меньшее количество газов; это особенно важно при низких давлениях.

Применять краны для перекрытия металлических трубопроводов, в противоположность стеклянным, не рекомендуется. Лучше пользоваться вакуумными вентилями, в которых перекрытие достигается тем, что подвижная часть вентиля прижимает к его седлу резиновое кольцо (см. стр. 50, 146, 176).

Д) Гибкие соединения и передача движений в вакуум

«Вакуумным шлангом» называется толстостенный резиновый шланг, который применяется только для соединения форвакуумного насоса с остальной частью установки. Для высококачественных вакуумных работ такой шланг непригоден: после некоторого времени работы шланг становится пористым. Так как, надевая шланги на трубки, приходится в большинстве случаев пользоваться минеральным маслом, то следует выбирать шланги такого качества, чтобы они не разбухали ни в минеральных маслах, ни в органических растворителях. Этим требованиям удовлетворяет прежде всего пербуна. Резина, содержащая небольшое количество серы

и имеющая малую упругость пара, вынускается под названием «мягкая резина 223W».

В настоящее время поставляются также шланги из искусственных прозрачных материалов, пригодные для форвакуумных линий. Стенки этих шлангов настолько прочны, что при небольших диаметрах выдерживают внешнее атмосферное давление. В более толстые шланги, чтобы они не сжимались, вставляют металлические спирали. Преимуществом этих шлангов по сравнению с пербуановыми является их прозрачность, что позволяет легко обнаруживать загрязнения.

Для рассматриваемых целей наиболее пригодными являются подвижные томпаковые шланги. При откачке такие гибкие шланги под действием давления наружного воздуха становятся несколько короче.

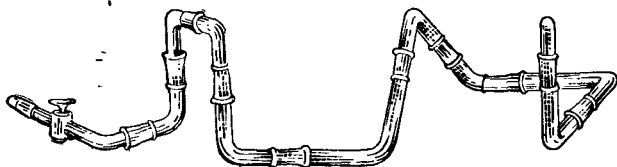


Рис. П,41. Подвижная стеклянная цепочка из уголковых деталей со шлифами.

В линиях, где существует опасность коррозии, надо применять гибкие металлические шланги и пружинящие части из наплавленного в вакууме материала. Применение этих материалов рекомендуется также при наличии паров ртути. Для передачи поступательных (прямых и обратных) движений в вакууме пригодны также мембранные конструкции, изготовляемые в зависимости от требуемого диапазона давлений из металла, искусственных веществ и резины (см. стр. 198).

Перед употреблением гибкого шланга необходимо его освободить от жира, который мог попасть в процессе изготовления; для этого шланг нагревают над пламенем (но не прокаливают) и продувают струей воздуха. Концы шланга можно затем закрыть, вставив в них запаянные трубки. Для соединения шлангов со стеклянной аппаратурой обычно применяют замазки (что, к сожалению, делает невозможным использование нагревания при дегазации). Вследствие этого целесообразнее спаивать металлические штуцера шлангов с подходящими стеклянными трубочками. Возможность изготовления гибкой стеклянной линии иллюстрируется рис. П,41, где показана цепочка соединений на шлифах.

Различные возможности передачи движения в вакуум наиболее полно рассмотрены в упомянутой книге Мёнха. Здесь мы укажем только на самые важные из них.

а) Для поступательно-возвратных движений в различных частях вакуумного объема можно применить названные выше эластичные тела. При этом следует обращать внимание на то, чтобы они в случае, если не приняты каких-либо специальных мер предосторожности, не сплюсывались при откачке газа под действием наружного давления воздуха. Кроме того, необходимо следить за тем, чтобы при случайных движениях не выходило за пределы изменения

длины эластичных тел, допускаемые заводскими инструкциями, так как в противном случае может произойти разрыв эластичных соединений даже после небольшого числа движений.

б) *Вращательные движения* передаются в вакуумных аппаратах при помощи вала, который уплотняется смазкой, введенной между двумя сальниками. Для уплотнения при поступательно-возвратных движениях сальники обычно не применяются. Для передачи вращательных движений через стенку откачиваемого сосуда можно пользоваться магнитными взаимодействиями. Этот метод особенно пригоден для аппаратов, работающих при очень низких давлениях.

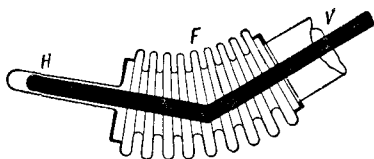


Рис. П.42. Вакуумное колено.

в) Известны *подвижные высковакуумные трубопроводы* в виде цепей, составленных из угольников; последние представляют собой короткие куски трубопровода, согнутые под прямым углом; каждый из них имеет на одном конце конус шлифа, а на другом — соответствующую муфту. Такие угольники можно соединить друг с другом. Такая цепь в зависимости от числа угольников (их должно быть не меньше трех) имеет некоторую степень подвижности.

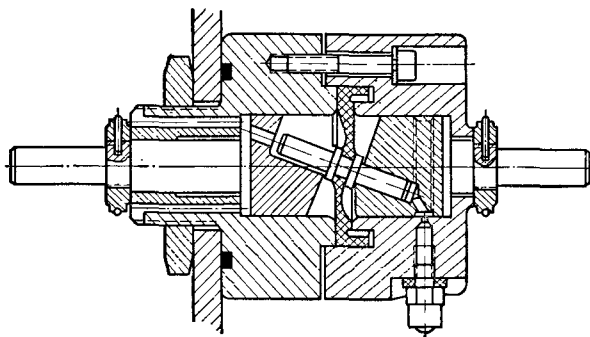


Рис. П.43. Соединение с пластической мембраной для передачи вращательного движения в вакуум.

г) Для передачи движения в вакуумной аппаратуре применяются также шаровые шлифы, уже рассмотренные выше.

д) Для осуществления небольших точных перемещений (например, электрода) в вертикальной стеклянной трубке служит расположенный горизонтально шлиф с длинными цапфами. Электроды подвешены на тонкой проволоке, которая при вращении шлифа наматывается на цапфы. Это приспособление может быть применено и для управления описанными выше стеклянными вентилями.

е) Для осуществления больших перемещений применяют U-образную стеклянную трубку, в одном колене которой подвешен электрод, уравновешиваемый железным цилиндром в другом запаянном колене. Последний можно передвигать действием магнита,

жс) Очень надежным является предложенное медиками *вакуумное колено* (рис. II,42). Левый конец согнутого валика свободно входит в гильзу *H*, которая посредством эластичного тела *F* соединяется с вакуумной аппаратурой *V*. При вращении отогнутый конец валика описывает конус и проворачивается при этом в гильзе *H*. Вместо эластичного тела можно использовать также достаточно длинную тонкостенную стеклянную трубку, которая может выдерживать изгиб. Для передачи вращательных движений в вакуум могут применяться также мембраны из искусственных веществ (рис. II,43).

Е) Вакуумные сосуды

Вакуумные сосуды, которые раньше изготовлялись почти исключительно из стекла, в настоящее время в большинстве случаев представляют собой металлические резервуары [21].

Для изготовления металлических вакуумных сосудов применяют только вальцованное железо или другие вальцованные металлы. Применение чугунных резервуаров во всех случаях исключается. Для соединения отдельных частей из вальцованных металлов, как, например, листов, труб, фланцев и т. п., служит сварка или твердая пайка. Так как эти операции возможны только для небольших сосудов, то для их изготовления рекомендуется применять только плавленные в вакууме металлы.

Каждый резервуар перед применением его в работе всегда следует испытать на герметичность. При этом допускается течь $< 5 \times 10^{-5}$ мм рт. ст. *л/сек.* Места с течью завариваются или запаиваются. В крайних случаях, при обнаружении в уже готовых сосудах небольших негерметичностей или волосных трещин, можно применять специальные уплотняющие лаки. Для склейки стекла и металла, а также металлических частей между собой пригодны десмодур или аральдит (см. стр. 66).

Для крышек в металлических сосудах применяются фланцы с резиновым уплотнением, описанные выше в разделе «Фланцевые соединения». Для изготовления окон (крышек) применяются преимущественно стеклянные пластины. Толщина стеклянной пластины должна быть равной по крайней мере $\frac{1}{14}$ диаметра ее свободной поверхности, в этом случае пластина будет надежно выдерживать атмосферное давление. Прежде крышки часто приклеивали; такая приклеенная крышка показана на рис. II,44. При этом важно, чтобы не оставалось капиллярных щелок, выходящих внутрь откачиваемого сосуда. Поэтому здесь рекомендуется возможно большая аккуратность [21а].

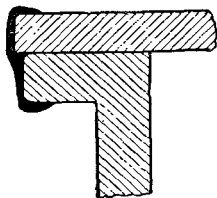


Рис. II,44. Уплотнение фланца замазкой.

§ 7. Впуск малых количеств газа

А) Предварительные замечания

Если желательно провести измерения при определенном давлении (например, около $5 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст.), то недостаточно откачать аппарат до желаемого давления. Напротив, необходимо прежде всего эвакуировать его до возможно малых давлений и дегазировать

стенки, после этого можно ввести газ до желаемого давления. Для этого необходим точный вентиль, особенно важный в том случае, если хотят делать измерения в постоянно возобновляющемся текущем газе. Такие вентили употребляются, например, для измерений скорости откачки на диффузионных насосах.

В последние годы предложено такое большое количество соответствующих приемов и вентилях, что нет возможности их все здесь описать (ср. стр. 187 и 195). Укажем из них лишь следующие.

Б) СтеклЯнные капилляры

Количество протекающего газа можно регулировать: во-первых, регулируя соответствующим образом давление газа в особом запасном сосуде; во-вторых, применяя несколько капилляров с разными внутренними диаметрами; в-третьих, изменяя сопротивление потоку газа в капиллярной трубке, вводя в нее проволочки или стеклянные нити на различную глубину. В последнем случае можно магнитом перемещать припаянные к проволоке железные цилиндрики, которые располагаются в горизонтальной трубке. Такая регулировка может нарушаться при сотрясениях (при работающем насосе) или при большой разности давлений. Более точно работает устройство, предложенное Хиби [22]. Здесь капиллярная трубка установлена вертикально и проволока (натянутая с помощью свинцового грузика) висит на нитях, которые, как это было описано на стр. 197, наматываются на цапфы горизонтального шлифа.

Кроме того, свободное сечение канала между проволокой и стенкой капиллярной трубки можно изменять, нагревая проволоку электрическим током, в результате чего проволока будет расширяться. Все подобные устройства обладают тем общим недостатком, что их весьма малые отверстия легко засоряются.

В) Игольчатый вентиль

Конический стержень с малым углом заострения (толстую швейную иглу) можно вводить в отверстие на большую или меньшую глубину. Опасность представляет резьба, которая может, во-первых, оказаться негерметичной и, во-вторых, выделять пары масла. Но тщательно обработанный, смазанный аьезоновой смазкой игольчатый вентиль оправдывает, по данным Ангерера, самые лучшие ожидания.

Этот конструктивный принцип получил дальнейшее развитие в работах Джозефи [23], который исключил возможную негерметичность винта, введя между ним и игольчатым конусом сплошную металлическую мембрану, герметически закрепленную по краям; Дурау [24] вместо конуса применил шар, а вместо мембраны — эластичное тело. К этому же типу вентилях относится вентиль, разработанный Стронгом и Бриком [25]. Мейерен [26] изготовил вентиль целиком — включая иглу и конус — из стекла. Шпиндель игольчатого вентиля хорошо уплотняется также с помощью обычных колец. Пригодными в качестве уплотнителей оказались также индий [26а] и резиновые кольца [26б].

Капиллярный метод впуска газа был применен также Блехшмидтом [27]: кран типа изображенного на рис. II,36, пробка кото-

рого на уровне ее бокового отверстия имеет канавку. Ее глубина увеличивается вдоль внешней стороны пробки от нуля (вентиль закрыт) до некоторого максимума (поворот крана на 270° соответствует максимальной величине открытия). Кунц и Славик [28] применяют вертикальную стеклянную трубку, имеющую продольный прорез, перекрывающийся в большей или меньшей степени ртутью, высота мениска которой может изменяться. Фаулер [29] предлагает пользоваться мельхиоровыми трубочками диаметром 6 мм и толщиной стенки 0,5 мм; их средняя часть делается сплюснутой и затем изгибается, так что трубочки получают U-образную форму. Тогда чем больше сближать концы трубочки, тем меньше количество газа она будет пропускать. Этим приспособлением можно пользоваться для разницы давлений от атмосферного и до $5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст.

Г) Другие конструкции

Другие конструкции основаны на принципе, предложенном Притцем [30]. В горлышко колбы *A* (рис. II, 45) вплачивается пластинка *T* из пористого материала (керамики). Пластинка с налитым на нее слоем ртути запирает вентиль, обеспечивая совершенную герметичность относительно проникновения газа снаружи (атмосфера) внутрь сосуда. Однако, если (сняв предварительно крышку *S*, предохраняющую ртуть от пыли) опустить в ртуть до соприкосновения с пластиной *T* трубку *g*, отверстие на конце которой также закрыто пористой пластинкой, то газ пройдет сквозь поры обеих пластинок в колбу. Величина пор выбирается, естественно, такой, чтобы пластинки при атмосферном давлении были в состоянии удерживать ртуть. Можно приготовить этим приемом ряд колб *A*₁, *A*₂, ..., наполненных различными газами, трубку *g* соединить с вакуумным аппаратом; затем, переходя от одной колбы к другой, можно быстро вводить в аппарат последовательно один газ за другим. При помощи маленьких глиняных шариков, прикрепленных к стеклянным стерженькам, можно также вводить в вакуум всегда точно одинаковое количество газа. Предложенный Притцем метод был использован в конструкции вентиля Бауэра для регенерации рентгеновских трубок. Клозе [31] пользовался этим методом, как вентилем без смазки: он вплавлял пористый стерженец в дно стеклянного стакана, в который наливал ртуть. Чем выше уровень ртути, тем короче выступающая над ней часть стерженька и тем меньше количество газа в секунду проходит в вакуум. Вольф и Рейхель [32] применяли с той же целью глиняный конус, погружавшийся на различную глубину в ртуть. Из новых конструкций упомянем приспособления Дорна и Глокера [33], Смита [34], а также Бузони [35],

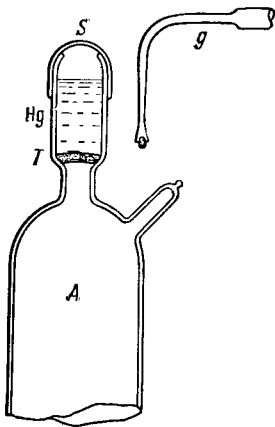


Рис. II, 45. Затвор Притца.

Рис. II, 45. Затвор Притца.

хорошо выполненные; однако, по мнению автора, эти приемы не дают существенных преимуществ по сравнению с рассмотренными выше.

Следует обратить внимание на то, что во всех рассмотренных в пункте Г устройствах газ будет загрязняться парами ртути.

Поток водорода (достаточно мощный для вакуумных работ) получают, пользуясь раскаленным палладием (см. стр. 38), а кислорода — раскаленным серебром (см. стр. 40).

Укажем еще на две важные группы вентиляей, а именно: прогреваемые [35a] и разборные и сменные [35b].

§ 8. Откачка с помощью адсорбирующего угля или силикагеля, геттера и т. п.

А) Предварительные замечания

Газы исключительно эффективно адсорбируются сильно охлажденным древесным углем и силикагелем. Эти вещества применяются как вспомогательное средство при откачке или для достижения максимально высокого вакуума, а также для сохранения вакуума в резервуарах, которые отключены от насоса [1].

Б) Адсорбция

а) Гель кремниевой кислоты (называется также силикагелем) имеет перед углем то преимущество, что его смесь с жидким воздухом не является взрывчатой, поэтому применение силикагеля безопасно.

Силикагель перед употреблением необходимо дегазировать, нагревая его в вакууме до 300°C . Во всех случаях следует избегать превышения этой температуры, так как иначе гель изменяет свою структуру, и его поры спекаются, что, естественно, приводит к значительному ослаблению адсорбционной способности.

б) Активированный уголь (адсорбирующий уголь). Адсорбирующая способность угля возрастает с понижением температуры. Вследствие этого для наиболее сильной адсорбции уголь в большинстве случаев помещают в сосуд, который охлаждается снаружи жидким воздухом. При этом требуются некоторые меры предосторожности, так как пропитанный жидким кислородом древесный уголь представляет собой сильное взрывчатое вещество; оно очень легко может образоваться, если сосуд с углем при охлаждении треснет и жидкий воздух, пройдя внутрь него, смешается с углем. Адсорбирующая способность активированного угля объясняется очень большой величиной его поверхности. Однако адсорбирующая способность угля для различных газов оказывается весьма различной. Например, 1 см^3 активированного угля при -185°C адсорбирует следующие количества различных газов (приведенных к нормальным условиям):

He — 15 см^3	Ar — 175 см^3
H ₂ — 135 см^3	CO ₂ — 190 см^3
N ₂ — 155 см^3	O ₂ — 230 см^3

Адсорбирующая способность угля для инертных газов и водорода меньше, чем для кислорода и CO₂. Этим свойством часто пользуются

для очистки газов; очищаемый газ, пользуясь насосом, пропускают через активированный уголь, в результате этого содержащиеся в нем O_2 и CO_2 адсорбируются, в то время как благородные газы и водород остаются в значительном количестве.

Принимая во внимание высокую адсорбирующую способность активированного угля, рекомендуется дегазировать его перед употреблением в вакууме при высокой температуре ($300^\circ C$). В результате такого процесса дегазации, продолжающегося в течение одного или нескольких часов, получают свободный от адсорбированных газов уголь. Если теперь уголь сильно охладить, то его адсорбирующая способность становится максимальной.

В) Г е т т е р ы

При изготовлении радиоламп применяют для удаления газов некоторые металлы; их называют геттерами; они дают возможность улучшать вакуум в лампах, уже заплавленных. Для этого, например, наносят на держатель электрода в усилительной лампе небольшое количество магния, затем откачивают ее, прогревают и, наконец, отсоединяют от насоса. При прогревании магний испаряется и осаждается на стенках лампы, образуя зеркальную поверхность. При этом будет поглощаться значительное количество газов, однако впоследствии при работе лампы эта зеркальная поверхность может поглощать еще некоторое количество газов, выделяющихся в процессе действия лампы. Это и имеется в виду, когда говорят, что с помощью геттера можно улучшать вакуум в уже готовой лампе.

Из других металлов, пригодных для геттеров, можно назвать барий [35c], кальций, стронций, торий, уран и так называемый мишметалл, а также цирконий и титан.

Г) Г а з о п о г л о щ е н и е

Дивно известным эффектом постоянного уменьшения давления в откачанном сосуде, где имеет место электрический разряд, можно воспользоваться для значительного уменьшения давления в этом сосуде. Необходимым условием применения этого метода является предварительное разрежение при помощи насосов до примерно 10^{-8} мм рт. ст., кроме того, необходимо прогреванием очистить стенки сосуда хотя бы от главных загрязнений. При выполнении этих условий откачка посредством газопоглощения при электрических разрядах имеет некоторые преимущества. Важнейшим из них является отсутствие паров парообразующей жидкости насосов. Кроме того, при тщательном выполнении всех условий и достаточно долгом прогревании этим методом можно получить предельно получаемые в настоящее время давления до 10^{-12} мм рт. ст. При этом трубка ионизационного манометра может быть использована в качестве газоразрядной откачивающей трубки [35d]. Простым и эффективным насосом подобного типа является широко известный манометр Пеннинга.

Д) И о н н ы е г е т т е р н ы е н а с о с ы [36]

Эффект откачки с помощью поглощения можно усилить и распространить на области большего давления, если дополнительно к этому методу воспользоваться описанным в пункте В) геттерным эффектом. При наличии разряда геттерный эффект усиливается.

§ 9. Отделение (отпайка) откачанных трубок (ламп) от установки

А) Предварительные замечания. Небольшие толстостенные «места отпайки» осторожно нагревают пламенем маленькой ручной горелки (величина ее пламени равна примерно величине пламени спички); нагревание продолжают до тех пор, пока стенки в этом месте под действием наружного давления воздуха не сплавляются вместе, так что внутренний канал заливается. При этой операции стекло должно оставаться достаточно вязким, чтобы оно в месте отпайки не оказалось втянутым внутрь трубки. Затем вытягивают трубку на 3—4 см, нагревают получившийся стерженек до яркого каления, пока он не разорвется на две части и на его конце не образуется маленький шарик. После этого заплавленный кончик тщательно охлаждают в копытце пламени. Отпайку (отделение) следует производить по возможности быстро и за один прием; при этом необходимо обратить внимание на следующие обстоятельства.

Б) В расплавленных местах будет выделяться немного газа, так как они во время откачки не прогревались так сильно, как при отпайке. Поэтому их следует заранее несколько раз нагреть почти до размягчения; при отпайке высоковакуумных радиоламп нагревание надо производить по возможности медленнее, и при этом должен работать насос. Можно привести в качестве примера следующие цифровые данные. В одной лампе давление, равное до отпайки $1 \cdot 10^{-6}$ мм рт. ст., поднялось после быстрой отпайки до $2,5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст. В другом случае место отпайки предварительно очень тщательно обрабатывалось, оно прогревалось несколько раз почти до расплавления стекла, затем стекло в месте отпайки очень медленно было оттянуто, причём насосы во время этих операций продолжали работать, давление в откачанной лампе, равное до отпайки $5 \cdot 10^{-10}$ мм рт. ст., изменилось не более чем на $(1 \div 2) \times 10^{-10}$ мм рт. ст. Поэтому даже не оказалось необходимости прибегать к помощи геттера для понижения давления.

В) При монтаже аппаратуры, которая откачивается и затем отпайвается, необходимо иметь в виду, что при последней операции она оттягивается в сторону на несколько сантиметров. Так как возможны случаи, когда обеспечить это окажется очень трудным (например, при отпайке большого шара), то приходится монтировать насос так, чтобы его можно было несколько отодвигать назад. Если это не предусмотрено, то в начале процесса отпайки следует приплавить в месте отпайки перпендикулярно к трубке стеклянный стерженек и с его помощью оттянуть стекло в сторону.

ГЛАВА VII

НАПОЛНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ТРУБОК

Спектральные трубки перед наполнением надо очистить, а в процессе откачки прогревать (стр. 170). В большинстве случаев вакуумные насосы настолько эффективны, что специальная интенсивная очистка является излишней. Если она, однако, все же необходима, то применяют сначала раствор едкого кали или едкого натра

(разъедает алюминиевые электроды, которые травятся до блеска), затем хромовую смесь (если необходимо, горячую) или азотную кислоту (при дальнейшем споласкивании водой соблюдать осторожность вследствие сильного нагревания). Хорошим средством очистки является 1—2% плавиковая кислота; она разъедает, однако, стекло (и алюминий) и может применяться поэтому только в течение нескольких минут. Затем следует прополоскать трубку дистиллированной водой. Спирт и эфир оставляют следы и не могут поэтому применяться как жидкости для окончательного споласкивания. *Высушивание*, в особенности сложных деталей или таких, где имеется хотя бы одно узкое отверстие, требует много времени. В этих случаях лучше всего двухходовым краном подключать трубку попеременно то к водоструйному насосу, то к источнику воздуха, высушенного хлористым кальцием и освобожденного от пыли. Подогревание трубки ускоряет высушивание. Этот метод можно применять и в тех случаях, если трубка присоединена к вакуумной установке. Прокаливание является решающим средством (стр. 170). Для введения чистых газов в определенных количествах разработаны специальные аппараты (стр. 199). Об отдельных газах см. стр. 38. Еще одно указание о введении Hg см. [1]. Это специальный «петардный метод» (реакция: $2\text{HgO} + \text{Zr} \rightarrow \text{Hg} + \text{ZrO}_2$, предохраняющим от взрыва средством является Fe). В связи с этим укажем еще на различные возможности воспользоваться подобными процессами как источниками света [2], которые служат особым целям, например: спектральному анализу [3], как стандарт длины волны [4], в качестве мгновенных вспышек [5], для освещения помещений [6].

ГЛАВА VIII

МАГНЕТИЗМ

§ 1. Экранирование магнитных полей

Часто возникает необходимость экранировать магнитное поле во избежание ошибочных показаний измерительных приборов, нежелательного преждевременного намагничивания магнитных материалов, неприятных влияний в измерительных линиях и т. п. Действие статического магнитного поля можно исклЮчать двумя способами.

Во-первых, его можно компенсировать с помощью противоположного поля той же интенсивности (см. также ниже — блок катушек Гельмгольца), но при этом, естественно, сохраняются в полной мере влияния изменений поля. Во-вторых, поле можно экранировать при помощи железной замкнутой защиты; этот способ является наиболее распространенным. Материал и геометрические параметры экрана зависят от напряженности экранируемого поля и желательной степени экранирования. По возможности надо применять такой материал, магнитная проницаемость которого при данной напряженности поля является большей. При экранировании переменных магнитных полей низкой частоты следует добиваться высоких значений магнитной проницаемости при перемагничивании, в то время как при высоких частотах качество экранирования определяется

глубиной проникновения магнитного поля. На рис. П,46 приведены графики зависимости глубины проникновения магнитного поля от частоты для $\mu=1000, 500, 100, 50$ и 10 . При этом под глубиной проникновения понимается такое расстояние от поверхности, на котором амплитуда магнитного переменного поля уменьшается в e раз.

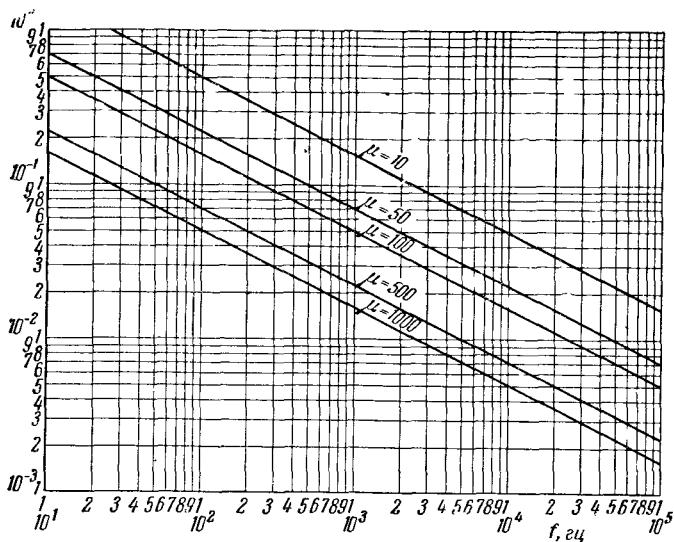


Рис. П,46. Зависимость глубины проникновения магнитного поля в см от частоты.

Экранирование статических полей для полого эллипсоида и полого шара можно рассчитать. Если H обозначает напряженность экранируемого поля, H^* — напряженность поля, остающегося в полом шаре с наружным радиусом r_a и внутренним r_i , то

$$H^* = \frac{1}{1 + \frac{2}{9} \left(\frac{\mu - 1}{\mu} \right)^2 \left[1 - \left(\frac{r_i}{r_a} \right)^3 \right]} H = \frac{1}{\lambda} H.$$

Остаточное поле при увеличении μ будет уменьшаться тем быстрее, чем толще экран. На рис. П,47 представлен коэффициент экранирования λ как функция магнитной проницаемости для полого шара. Параметром служит отношение толщины стенки к диаметру. В особых случаях рекомендуется применять экранирование с помощью слоистого панциря из различных материалов. Начальная магнитная проницаемость материала должна увеличиваться в направлении от наружных слоев к внутренним.

Магнитное экранирование измерительных помещений представляет большие трудности и может быть достигнуто только с помощью толстых железных панцирей. Хорошо экранировать помещение

объемом в несколько кубических метров, так чтобы в нем магнитное поле Земли ослаблялось до нескольких процентов, можно, применяя

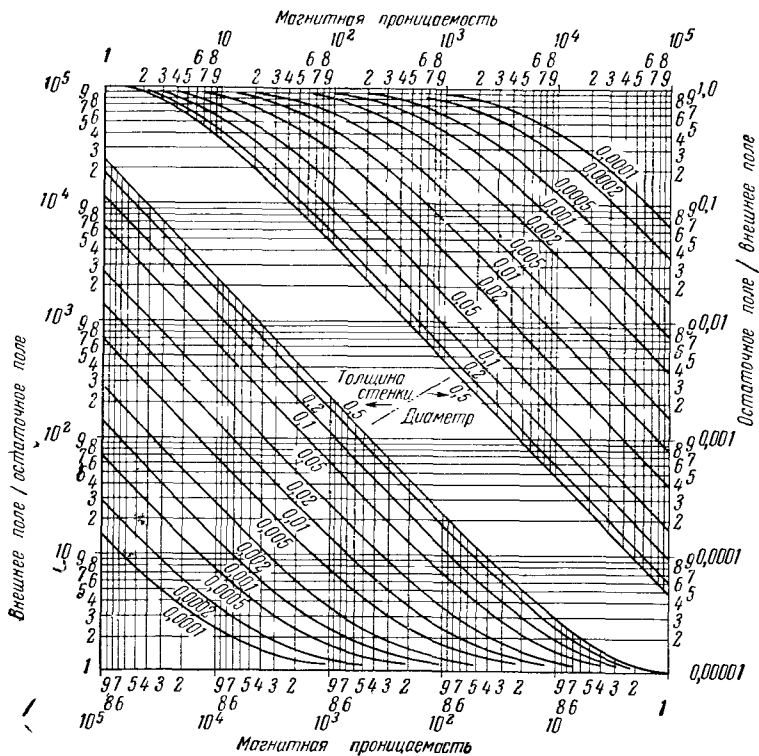


Рис. II,47. Коэффициент экранирования в функции магнитной проницаемости.

бочкообразный кожух из нескольких слоев тонкой трансформаторной стали, который намагничивается переменным магнитным полем [1].

§ 2. Получение однородного магнитного поля

Магнитное поле чаще всего получают при помощи катушек, через обмотку которых пропускается электрический ток. Если отношение длины катушки к ее диаметру не очень мало, то поле в средней части катушки можно считать однородным. Напряженность его по мере приближения к концам катушки падает сначала очень медленно, а затем быстро и на концах катушки имеет значение, равное половине напряженности в ее средней части. Напряженность поля не очень короткой катушки подсчитывается по формуле $H=ni$ (n — число витков/см, i — сила тока в амперах). Удобный способ получать однородное поле в легко доступном пространстве

дает блок катушек Гельмгольца [2]. Он состоит из двух одинаковых тороидальных катушек, установленных коаксиально на расстоянии, равном их радиусу, и равномерно нагруженных током одинаковой силы. Посередине между катушками

$$H = \frac{0,715 Ni}{R},$$

где H — напряженность поля в $a/cм$, N — число витков на каждой катушке, i — сила тока в амперах, R — расстояние между катушками в сантиметрах.

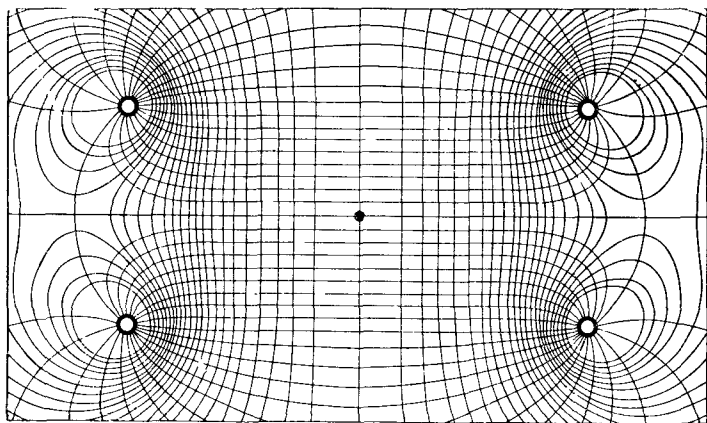


Рис. 11,48. Распределение поля в катушке Гельмгольца.

Такой блок катушек отличается тем, что поле оказывается практически однородным в большой области между ними (рис. 11,48).

§ 3. Размагничивание

Нежелательное намагничивание можно устранить при помощи переменного магнитного поля с непрерывно уменьшающейся амплитудой. Начальную амплитуду поля следует брать достаточно большой (в два-три раза большей значения коэрцитивной силы), причем у коротких образцов наблюдается ослабление действия их свободных концов. Частоту переменного поля выбирают так, чтобы глубина проникновения (см. рис. 11,46) охватила весь образец. Для железа при 50 гц эта глубина лежит между 1 и 2 мм в зависимости от величины магнитной проницаемости. Затем следует обращать внимание на то, чтобы из-за постоянного влияния магнитного поля Земли размагничивание не оказалось только воображаемым эффектом. Поэтому с целью исключить влияние земного магнитного поля размагничивающие катушки следует располагать в направлении восток — запад.

Для размагничивания небольших предметов, например часов, во многих случаях бывает достаточно поместить их в катушку, включенную в цепь переменного тока, и постепенно выводить их из катушки.

Для получения переменного магнитного поля с различной частотой можно применять простой прием — равномерное вращение постоянного магнита. При толстых образцах рекомендуется производить размагничивание сначала при помощи коммутированного постоянного тока с уменьшающейся амплитудой, а затем при помощи переменного тока.

Если необходимо получить магниты с равными магнитными моментами, то целесообразно воспользоваться размагничивающим переменным полем, подбирая соответствующую амплитуду. Рекомендуется, чтобы больший по величине момент постепенно приближался к меньшему. При этом необходимо измерять момент магнита после каждой обработки его в переменном поле, например, сравнивая его момент с моментом другого магнита. Методом сравнения, простым и достаточным во многих случаях, является следующий. Стрелке компаса дают установиться в плоскости магнитного меридиана. Оба магнита помещают с двух сторон компаса на одинаковом расстоянии от него, устанавливая их так, чтобы их магнитные оси были направлены по одной горизонтальной прямой, проходящей через центр тяжести компаса нормально к плоскости магнитного меридиана. Если магниты обращены друг к другу противоположными полюсами, то при равенстве магнитных моментов магнитов и их расстояний до компаса его стрелка остается в плоскости магнитного меридиана. Если магнитные моменты не равны, то они относятся приближенно, как кубы тех расстояний, при которых стрелка возвращается к нулевому положению, если один из магнитов сдвигать в направлении к плоскости магнитного меридиана.

§ 4. Изготовление постоянных магнитов

Изготавливаемый магнит следует намагничивать по возможности до насыщения. Практика показала, что магнитное поле, применяемое для намагничивания, должно быть по крайней мере в четыре-пять раз сильнее коэрцитивной силы. Продолжительность действия поля может быть малой. Если получение необходимой напряженности поля вызывает затруднения, то можно получить более высокое намагничивание, накладывая на постоянное поле переменное. Намагничивать изготавливаемый магнит следует по возможности в полностью смонтированном виде, применяя в особых случаях специальные полюсные наконечники (башмаки); последнее необходимо, чтобы избежать возможного размагничивания в дальнейшем в результате появления больших воздушных зазоров. Это тем более важно, чем больше относительная магнитная проницаемость в рабочей точке магнита. Магниты с относительной магнитной проницаемостью μ , меньшей 3, при значении остаточной индукции в рабочей точке, равной B_a :

$$\mu = \frac{1}{\mu_0} \left(\frac{dB}{dH} \right)_{B_a} < 3,$$

(μ_0 — начальная проницаемость, B — индукция, H — напряженность магнитного поля) могут без ущерба монтироваться и в намагниченном состоянии. Это является большим преимуществом, так как для намагничивания некоторых материалов (например, феррит бария) требуются очень сильные поля, не всегда имеющиеся в распоряжении.

§ 5. Стабилизация постоянных магнитов

Качество магнитов-эталонов, магнитных систем для измерительных приборов и т. п. оценивается в зависимости от того, насколько долго сохраняется неизменной величина их магнитного момента. Срок службы должен исчисляться многими годами. Углеродистые стали обычно не отвечают этому условию. Вольфрамовые и кобальтовые стали, соответственно закаленные, значительно лучше отвечают указанному требованию, если предварительно искусственным путем устраняется их естественное старение. По данным Гумлиха [3] магнит после намагничивания следует в течение 24 часов выдерживать при температуре 100°C (старение структуры); после этого его стабилизируют небольшими сотрясениями, например легкими ударами деревянным молотком, или, заставляя его падать с высоты около полметра на деревянный пол. Магниты после такой обработки изменяли свои магнитные свойства на 0,1% за 25 лет. Другой способ [4] стабилизации магнитов состоит в попеременном нагревании их до 100°C и охлаждении до 0°C ; для этого их погружают в соответствующие ванны около десяти раз, каждая продолжительностью в 1 минуту. Новейшие стали альни и альнико почти нечувствительны к старению. В особых случаях все же рекомендуется повышать их стабильность при помощи небольшого размагничивания. Этого можно достичь, изменяя несколько раз величину воздушного зазора или подвергая магнит действию переменного магнитного поля постоянной амплитуды. При этом амплитуда переменного поля может приниматься равной половине коэрцитивной силы. После достаточно большого числа циклов (около 50) процессы намагничивания приобретают постоянный режим, и магнит более не обнаруживает нежелательных последствий при временных воздействиях на него внешних полей.

Температурная устойчивость магнитов проще всего достигается их шунтированием; для этого вводят параллельно магниту боковую ветвь из сплава, магнитная пропускательность которого сильно зависит от температуры, например из термомагнитного сплава железо-никель (термоперм). Выбрав соответствующим образом длину и сечение шунта, можно в определенной области устранить влияние температуры.

§ 6. Изготовление магнитных стрелок для гальванометров

Хотя магнитные стрелки для гальванометров, выпускаемых промышленностью, изготавливаются соответствующими фирмами, все же физики сами с успехом изготавливают магнитные стрелки и различными способами совершенствуют их [5].

Если с помощью данной системы желательно добиться большой чувствительности прибора, то необходимо конструировать ее возможно более легкой. Для крепления магнитных стрелок применяются преимущественно тонкостенные стеклянные трубочки с наружным диаметром около 0,5 мм, которые изготавливают, вытягивая их из тонкостенных стеклянных трубок большего диаметра. Необходим совершенно прямой кусок такой трубочки длиной около 10 см; выправить его можно, прокатывая на зеркальной поверх-

пости или нагревая в электрической печи в вертикальном положении с грузиком на нижнем конце.

Для изготовления маленьких магнитиков превосходно подходят кусочки «волосков» часовых балансиров различной ширины и толщины. Они должны быть по возможности сильнее закалены. Для этого, выпрямив кусок волоска, вносят его конец на несколько секунд в пламя бузеновской горелки и, как только он нагреется до белого каления, быстро опускают в холодную воду; затем отламывают от волоска кусочки длиной от 3 до 6 мм. Еще лучшая закалка получается при охлаждении ртутью, в особенности помещенной в охлаждающую смесь. Для этого выпрямленный часовой волосок укрепляют над поверхностью ртути и нагревают его, пропуская в течение нескольких секунд электрический ток такой силы, чтобы волосок раскаливался добела; как только это достигнуто, ток выключают и немедленно опускают раскаленный волосок в ртуть.

Весьма эффективно применение маленьких магнитов из платины-железа или платины-кобальта. Эти кусочки длиной от 3 до 5 мм намагничиваются одновременно между полюсами электромагнита. Их полюсы отмечают. Закрепление магнитиков на стеклянных держателях, например, с помощью синтетикона целесообразно проводить в определенной последовательности. Таким путем на той и другой стороне стеклянного держателя укрепляется от 2 до 5 одинаково ориентированных магнитиков. Размеры зеркала подвижной системы должны быть таковы, чтобы оно не слишком сильно увеличивало момент инерции системы, но в то же время обладало хорошими оптическими свойствами. Фолькманн [6] указывает, что максимум чувствительности имеет место, когда момент инерции зеркала равен $1/5$ общего момента всей системы.

Толщина зеркала должна составлять $1/50$ его диаметра. Отсюда определяется диаметр зеркала. (Изготовление гальванометрических зеркал см. стр. 111, 113.)

Расстояние от шкалы до зеркала не представляется возможным делать произвольно большим, так как на основании выводов теории дифракции за пределами определенного расстояния лежит бесполезное «холостое увеличение».

Диаметр наиболее светлых частей дифракционных полос

$$\delta = \frac{\text{расстояние до шкалы} \cdot \text{длина световой волны}}{\text{диаметр зеркала}} \quad [6].$$

Для обычных размеров (расстояния 2 м и диаметра зеркала 10 мм) $\delta = 0,1$ мм.

§ 7. Техника порошкового метода Биттера

А) Изготовление суспензий

Порошковый метод Биттера занял важное место в ферромагнитных структурных исследованиях. Однако успешное применение метода существенно зависит от применяемой суспензии и обработки поверхности образца. Биттер [7] использовал суспензию тонко размолотой окиси железа в этилацетате. При этом размеры частиц не должны быть слишком малыми, так как в противном случае может иметь место нежелательная коагуляция. Размеры частиц

должны лежать в верхней области коллоидальных величин. Эльмор [8] дает следующий рецепт суспензий, который он применял с хорошим результатом. Растворяя в 300 см³ горячей воды 2 г FeCl₂·4H₂O + 5,4 г FeCl₃·6H₂O (или такое же количество сульфата железа) и добавляя при постоянном помешивании 5 г растворенного в 50 см³ воды NaOH, получают грубый, в виде хлопьев осадок магнетита. Его отфильтровывают, промывают несколько раз водой, затем 0,01*N* раствором соляной кислоты и размешивают в 1 л 0,5% раствора мыла. Полученная таким путем суспензия подвергается кратковременному кипячению. За исключением малой части недиспергированной окиси, которую можно отделить горячим фильтрованием, осадок становится полностью коллоидальным. Следует отметить, что успешное применение суспензии в значительной степени зависит от обработки осадка до его помещения в раствор мыла с соляной кислотой.

Б) Обработка поверхности образца

Прежде всего образец полируется механическим способом. Однако для того, чтобы наблюдать невозмущенную структуру поверхностного слоя, надо электролитическим путем удалить верхний слой, разрушенный при механической обработке. Электролитическая полировка осуществляется в ванне из 100 г твердой хромовой кислоты и 900 г 85% раствора фосфорной кислоты; образец включается в качестве анода, катодом служит медь. Ванна нагревается до 90° С. Для обработки 1 см² поверхности образца необходим ток примерно 10 а в течение 1 минуты. При этом уничтожаются паразиты, вызванные механической обработкой. На обработанную таким путем поверхность наносят 1—2 капли коллоидального мыльного раствора, после чего ее закрывают стеклом. Через 10 минут в общем случае частички теряют подвижность. Этот момент легко определить по исчезновению броуновского движения.

ГЛАВА IX

ОПТИКА

§ 1. Изготовление оптических поверхностей [1]

Оптические поверхности необходимы для того, чтобы на границе между двумя различными средами световые лучи оказались отраженными или преломленными. Для этого, как правило, применяются плоские или сферические поверхности, которые относительно просто можно изготовлять; только в особых случаях применяются несферические поверхности, например при изготовлении параболических зеркал, коррекционных пластинок Шмидта и цилиндрических линз. Стекла подбираются по их качествам и свойствам в зависимости от предъявляемых требований. Для зеркал и осветительных линз в большинстве случаев в качестве исходного материала подходит зеркальное стекло или дешевый крон, в то время как для мощных оптических систем, применяемых в сложных линзах или призмах, необходимо применять специально подобранные оптические стекла. Для устранения остаточных внутренних напряжений их еще раз отжигают и осторожно охлаждают. Это относится и к плавленому

кварцу, который также применяется для оптических целей. Возможно также применение естественных кристаллов. Необходимость этого возникает в тех случаях, когда желательнее повысить прозрачность оптики в ультрафиолетовой или в инфракрасной областях спектра, а также воспользоваться двойным преломлением или оптической активностью, свойственными многим веществам. Весьма различная твердость таких материалов, а также иногда их растворимость в воде позволяют применять методы, существенно отличные во многих отношениях от методов обработки стекла. Если оказывается необходимым получить оптическую поверхность у металлов и некоторых искусственных материалов, то можно применять обычную шлифовку и полировку; для той же цели можно применять и другие методы, о которых будет сказано ниже.

А) Ш л и ф о в к а и п о л и р о в к а

В процессах шлифовки и полировки различают грубую и тонкую шлифовку, а затем собственно полировку. Грубая шлифовка должна по возможности быстро придать обрабатываемой поверхности желаемую плоскую или сферическую форму. В качестве абразивного материала применяют, как правило, карборунд, наждак (окись алюминия) или другие подобные твердые материалы в измельченном виде с различным зерном (например, № 80). К обрабатываемой поверхности стекла прижимают так называемую шлифовальную форму, которую делают или также из стекла, или из серого чугуна, или из латуни. Абразивный материал, смешанный с водой до кашецеобразной консистенции в пропорции $\frac{1}{2}$ чайной ложки на 1 дм^2 поверхности, подается между обрабатываемой поверхностью и шлифовальной формой. Весь шлифовальный процесс можно выполнять как вручную, так и механически. Важно лишь, чтобы, например, при шлифовке плоских поверхностей обрабатываемая поверхность была горизонтальной. Находится ли шлифующий слой сверху или снизу поверхности, это имеет второстепенное значение. При обработке больших поверхностей, как правило, оказывается более удобным подвижную форму помещать над обрабатываемой поверхностью, в то время как для очень малых объектов удобнее, если обрабатываемая поверхность находится над формой. При собственно шлифовальном процессе необходимо, например, чтобы шлифовальная форма двигалась возвратно-поступательно относительно обрабатываемого предмета, оставляя короткие или длинные «полосы». Направление движения должно каждый раз несколько изменяться, чтобы при процессе шлифовки не наблюдалось какого-либо преимущественного направления. Только таким путем можно получить обрабатываемую поверхность с постоянным радиусом кривизны. При шлифовке необходимо время от времени смачивать шлифовальную форму несколькими каплями воды, чтобы обработка не шла всухую. Кроме того, периодически следует добавлять абразивный материал, чтобы восполнять его расход. Силу, с которой следует надавливать на форму при шлифовании, можно установить только практически, она зависит, естественно, от размеров шлифовальной формы и обрабатываемой поверхности. Время от времени поверхность следует промывать и просушивать. После этой стадии обработки поверхность кажется шероховатой. Она должна уже почти соответствовать желаемой форме, так что остается устранить лишь

незначительные перовности. Если сферическую поверхность изготовляют из плоской пластины, так что вышлифовывается большая полость, то грубую шлифовку следует повторять много раз до тех пор, пока не будет получена желаемая сферическая форма. (Контроль производится отшлифованным калибром или сферометром.)

Если поверхности придана желаемая форма грубой шлифовкой, то можно начать тонкую шлифовку, в результате которой должна быть устранена шероховатость, которую сообщили стеклянной поверхности крупные зерна при грубой шлифовке. Таким путем надо снять часть поверхности приблизительно до основания самых больших впадин. Этот процесс следует повторять многократно каждый раз с новой порцией мелкого наждака. Если для грубой шлифовки применяют, например, карборунд с зерном № 80, то тонкую шлифовку можно начинать еще довольно грубым карборундом с зерном № 120, а затем переходить последовательно к №№ 280, 400, 600 и 800. Наконец, закончить тонкую шлифовку можно мелким наждаком зернистостью № 303 $\frac{1}{2}$ (американское обозначение). Однако при этом необходимо обращать внимание на то, чтобы применение материала тонкой зернистости, включая также зернистость № 800, было предварительно проверено надежным опытом. Отдельные зерна абразивного материала при тонкой зернистости уже настолько малы, что шлифовальная форма и обрабатываемые поверхности очень плотно прилегают друг к другу. Подача к абразивному материалу слишком большого количества воды вызывает быстрое вытекание шлифующего слоя по сторонам. Кроме того, возникает опасность непосредственного соприкосновения обеих поверхностей, в результате чего тонкий шлиф на поверхности стекла может оказаться поврежденным. То же самое может произойти, если работать со слишком сухим абразивным материалом. Таким образом, необходимо своевременно добавлять по нескольку капель воды для того, чтобы поддержать благоприятные условия работы. Кроме того, во избежание повреждения поверхности необходимо на протяжении всего процесса шлифовки очень строго следить за тем, чтобы отдельные зерна предыдущего абразивного материала не перемешались с зернами следующего, более тонкого абразивного порошка. Следовательно, в рабочем помещении должно быть очень чисто. После окончания шлифовки абразивом с одним размером зерна шлифовальную форму и обрабатываемый предмет надо тщательно вымыть и очистить, прежде чем продолжать шлифовку следующим абразивным материалом. В связи с этим рекомендуется также, если это возможно, производить полировку в отдельном помещении, специально очищенном от пыли. Это требование будет тем важнее, чем больше размер обрабатываемой поверхности и чем выше требования к ее качеству. После окончания тонкой шлифовки поверхность должна стать уже слабо зеркальной. При рассмотрении ее в лупу на матовой отшлифованной поверхности не должно быть больших впадин. Если же таковые имеются, то это значит, что время, затраченное на шлифовку отдельными абразивными материалами, было недостаточно, так как крупные впадины остались от предшествовавшей шлифовки грубым абразивом, и естественно, что шлифовкой более мелким абразивом их удалить не удалось. В этих случаях для достижения лучшего выравнивания поверхности необходимо весь процесс шлифовки или часть его повторить. Оценка шлифовки с помощью лупы — дело не совсем легкое и требует определенного

опыта. Рекомендуется предварительно отшлифовать несколько образцов зеркального стекла различными абразивными материалами до получения матовой поверхности и посмотреть, как все полученные поверхности выглядят под лупой. На этом основании можно быстро составить представление о качестве той или иной отшлифованной поверхности. Относительно продолжительности шлифовки едва ли можно дать точные рекомендации, так как она зависит, с одной стороны, от давления при шлифовке, а с другой стороны, от величины обрабатываемой поверхности. В рекомендованной выше литературе [1] содержится основательное описание рабочего процесса, придерживаясь которого начинающий шлифовщик может избежать больших огорчений.

Б) Полировка

Процесс полировки дает возможность тонко отшлифованную поверхность стекла еще более сгладить и таким путем в конце концов получить поверхность, пригодную для оптических целей. При шлифовке для повышения гладкости поверхности приходится снимать с нее материал, в процессе полировки, напротив, материал с поверхности почти совершенно не снимается. Вместо этого происходит местное течение стекла вдоль его поверхности под давлением отдельных зерен полировального материала, в результате чего углубления заполняются, а выпуклости сглаживаются. Поверхность становится гладкой, и появившиеся в результате шлифовки микроскопические трещины исчезают. При этом очень важно, чтобы весь процесс производился не слишком быстро. Все исследования процесса полировки показывают, что при различных быстрых способах полировки получаются поверхности, которые при тщательной проверке обнаруживают отклонения от желаемой формы; получаются иногда поверхности, напоминающие по структуре апельсиновую корку. Поэтому необходимо следить за тем, чтобы в процессе полировки прежде всего была сглажена грубая шероховатость; затем должно постепенно улучшаться качество полировки, пока не будет получена возможно более совершенная поверхность. Опыт показал, что так называемая полировка на смоле в этом отношении, по-видимому, превосходит другие методы более быстрой полировки; но с другой стороны, полировка на смоле требует большей тщательности и опыта. Правильный выбор твердости применяемой смолы имеет особенно важное значение. Смола должна соответствовать температуре помещения, в котором производится полировка. Этого можно достичь сплавлением твердой и мягкой смолы в различных соотношениях. Часто рекомендуется добавлять небольшое количество пчелиного воска. Если же в распоряжении имеется только твердая смола, то, добавляя несколько капель скипидара, ее можно сделать мягче. Во время процесса полировки температура обязательно должна поддерживаться постоянной, так как в противном случае едва ли удастся избежать ошибок и неудач.

В США для изготовления оптических поверхностей наивысшей прецизионности очень широко применяется смесь канифоли с 7—9% касторового масла. Эта смесь, по-видимому, применима в более широком интервале температур, чем обычно используемая смола. Важно, чтобы применяемая канифоль была совершенно очищена от загрязнений, могущих создавать царапины. Для полировки

можно пользоваться прежней шлифовальной формой, покрыв ее слоем смолы (например, толщиной 3 мм), однако по возможности смоляная форма должна иметь диаметр на $\frac{1}{6}$ больший, чем шлифовальная. Для того чтобы полировочная жидкость равномерно поступала ко всем частям полируемой поверхности, на поверхности смоляного слоя надо нанести сетку из канавок. Применяются различные способы приготовления сеток и формы их. Для малых поверхностей бывает достаточно впрессовать в смоляной слой кусок смоченного мыльным раствором гардинного материала (тюль для занавесок или маркизет), чтобы таким образом получить одинаковую по глубине сетку. При больших полировочных формах необходима сетка более глубоких бороздок, ее изготовляют, нарезая или накапывая бороздки. При формах с большой кривизной часто значительно легче приготовить из смолы отдельные граненые квадраты и приклеить их к нагретой форме, получая таким образом необходимую сетку. Подробно этот метод описан в литературе, указанной выше [1].

Для полировки стекла, как правило, применяется крокус или окись церия различного качества, т. е. различных размеров зерен. Для получения зерен различных размеров крокус взмучивается с водой, затем ему предоставляется возможность свободно отстаиваться в высоких стеклянных цилиндрах. Приступая к полировке, следует в совершенно чистом стеклянном сосуде смешивать несколько ложек крокуса с водой, получая таким образом жидкую кашицеобразную массу, которую удобно наносить на полировочную форму или на полируемую стеклянную поверхность кисточкой для акварельной краски. Излишки крокуса стекают в канавки, а зернам крокуса дают некоторое время, чтобы укрепиться в смоле полировочной формы. Через $\frac{1}{2}$ —1 минуту можно уверенно начинать полировку. Давление должно быть, как правило, значительно ниже, чем при шлифовке. Процесс полировки следует выполнять короткими круговыми движениями. Через несколько минут (до $\frac{1}{4}$ часа) можно почувствовать, что смоляной слой начинает работать. Теперь следует продолжать полировку медленнее под более высоким давлением, делая прямые движения. Практически все движения могут быть такими же, как и при выполнении тонкой шлифовки. Для контроля зеркало можно периодически вытирать. Мыть его нет необходимости. Затем необходимо убедиться в том, что глянec появился и равномерно распределен по всей поверхности. Если на ней замечаются неравномерности, то, внося изменения в сетку канавок, можно усиливать или ослаблять действие отдельных мест полировальной формы. Сила давления, как правило, пропорциональна величине поверхности. Для контроля самой поверхности можно применить метод исследования при помощи лезвия ножа. Если работу необходимо прервать, то обрабатываемую поверхность можно покрыть тонким слоем глицерина и затем наложить шлифовальную чашку. В результате этого поверхность сохраняется влажной, что исключает возможность прилипания к ней чашки и позволяет в любой момент возобновить полировку. Если на поверхности появляются царапины, то необходимо еще раз возвратиться к тонкой шлифовке и затем снова начать процесс полировки. Собственные опыты на небольших поверхностях позволяют очень быстро установить причины ошибок, которые могут иметь место при полировке. Методы полировки, которые позволяют получить желаемую пло-

скую или сферическую поверхность, подробно и наглядно описаны в литературе [1].

Если желательно сократить время полировки, то шлифовальную чашку можно тщательно покрыть хорошей чертежной бумагой, которая должна быть совершенно свободна от песка. Эта бумага с помощью пемзы делается шероховатой, тщательно очищается (щеткой), и затем в нее всухую втирается крокус или трепел. После этого можно начать сухую полировку и получить значительно быстрее, чем другими методами, все же достаточно хорошую для многих целей поверхность. Можно также быстро и надежно произвести влажную полировку, наклеив на шлифовальный диск искусственные соты со смолой. Кроме этого, при изготовлении дешевой оптики охотно применяется так называемая полировка на фетре, при которой подложкой для полировального крокуса служит фетр.

Кроме крокуса (Fe_2O_3) в качестве полировального материала находят применение также другие материалы, например трепел, окись церия, окись алюминия, окись хрома, окись цинка и др.

Укажем здесь также на метод электролитической полировки, который в некоторых случаях может с успехом применяться вместо обычных процессов шлифовки и полировки.

При обработке растворимых в воде кристаллов [2], например каменной соли, необходимо вместо чистой воды применять другие жидкости, например насыщенный раствор поваренной соли или спирт. Так как другие щелочные галоиды тоже частично растворяются в спирте, то в таких случаях необходимо воспользоваться или насыщенным раствором, или подходящим углеводородом, в котором этот материал практически не растворяется. Кристаллы галоидных соединений щелочных металлов можно быстро и хорошо полировать только на шелк со спиртом без применения полирующих средств. Для этого натягивают шелк на матовую плоскую пластинку и полируют непрерывно, добавляя спирт так, чтобы кристалл все время был достаточно влажным. По-видимому, при этом растворяются острия неровностей, имеющих на шлифуемой поверхности, возможно также, что вещество из раствора, который благодаря испарению всегда является концентрированным, осаждается на поверхности, заполняя углубления. В настоящее время показано, что этим методом также можно отполировать плавиковый шпат, если в качестве полирующей жидкости применять насыщенный водный раствор двузамещенной натриевой соли этилендиаминтетрауксусной кислоты, которая, по-видимому, в состоянии освобождать ионы кальция.

Для начального обучения шлифовке и полировке стекла рекомендуется воспользоваться тремя круглыми дисками зеркального стекла диаметром 40 мм и толщиной 10 мм. В качестве опыта можно изготовить на одной их стороне плоскую поверхность, пробуя вначале получить грубо и тонко шлифованную плоскую поверхность по схеме: 1 на 2, 2 на 1, 1 на 3, 3 на 1, 2 на 3, 3 на 2, 1 на 3, 3 на 1, 1 на 2, 2 на 1, 3 на 2, 2 на 3.

Если изготавливаемые диски должны быть плоскими до самого своего края и потом будут применяться каждый в отдельности, то в вышеописанном методе рекомендуется при шлифовании и полировании дисков окружать их такими же вспомогательными кольцами, по возможности той же жесткости или из того же материала. Эти кольца служат направляющими и будут точно так же при этом

отшлифованы и отполированы, однако оптически они неприменимы из-за образующихся на их внешних краях закруглений.

Затем каждый диск полируется отдельно на особой смоляной форме и отполированные диски испытывают на плоскость ньютоновским интерференционным методом. Смоляной слой можно наложить на стеклянный диск диаметром 5 см. Всем начинающим знакомиться с этой техникой обычно рекомендуется, если это возможно, установить связь с очень хорошим техником по точной оптике.

Во многих случаях изготовления оптических поверхностей можно частично или полностью отказаться от относительно сложных операций шлифовки или полировки. Некоторые из методов, позволяющих это сделать, будут здесь описаны, однако без претензий на полноту.

В) Иммерсионные методы

Если кусок стекла или кристалл имеет неправильную поверхность, и необходимо исследовать, нет ли внутри него дефектов, таких, как помутнения, шлиры, изменение цвета, то это нетрудно сделать иммерсионным методом; достаточно погрузить этот кусок в жидкость с таким же, как и у него, коэффициентом преломления, которую предварительно наливают в сосуд прямоугольной формы с плоскими прозрачными стенками.

Стеклянные поверхности с тонкой шлифовкой можно сделать на время оптически прозрачными, протерев их водой, лучше маслом, ксилолом или глицерином; это дает возможность очень точно оптически исследовать их радиус кривизны, а также их отклонения от сферической формы. В кинопромышленности принято исцарапанные поверхности старых пленок оптически улучшать, покрывая их лаками. Стеклянные цилиндрические линзы можно очень быстро и просто изготавливать из стеклянных стержней, хороших по качеству; для этого на куске стеклянного стержня сошлифовывают плоскость, параллельную его оси, и, отказавшись от полировки, наклеивают вместо этого на нее пластинку из зеркального стекла канадским бальзамом или кедаком. Практически клей имеет такой же показатель преломления, как и поделочное стекло. Поэтому неравномерности матовой плоскости на стеклянном стержне будут практически совершенно незаметными. Цилиндрические линзы такого типа выгодно применять в регистрирующих приспособлениях и в спектрографах для уменьшения экспозиции.

Кроме кедакса, который поставляется различного качества, в последние годы стало известно большое число искусственных смол, которые могут применяться вместо канадского бальзама. Обычно не бывает особых оснований для применения этих новых замазок. Однако в некоторых специальных случаях рекомендуется применение материалов с другими свойствами. Иногда может оказаться желательным применить материалы с большим или с малым коэффициентами преломления; иногда можно применять отвердевающие искусственные смолы [3], если место соединения не должно расплавляться даже при повышенных температурах. Наконец, при изготовлении сложных систем призм или линз иногда желательно облегчить юстировку при последовательном соединении деталей. В этом случае применение замазок с различными точками плавления или затвердевающих замазок служит большим облегчением.

Г) Терморреактивные (резольные) и термопластичные искусственные материалы

Они могут застывать на плоских и сферических полированных поверхностях, стеклянных или металлических; поверхность получаемых отпечатков является весьма качественной.

Для предотвращения слипания искусственной смолы с матрицей последнюю покрывают в высоком вакууме слоем серебра. Это позволяет получать литые детали также и из отвердевающих смол типа аральдита. Слой серебра обеспечивает легкое разделение, остатки серебра легко смываются разбавленной азотной кислотой. На слой серебра можно нанести испарением в вакууме еще зеркальный слой алюминия, очень прочно соединяющийся со смолами типа аральдита (эпоксидные смолы).

Желатиновые пленки и клинья можно готовить, позволяя желатиновым растворам затвердевать в соответствующих формах (матрицах), стеклянных или металлических. Для того чтобы обеспечить отделение желатина от стекла, последнее можно обработать разбавленным раствором бычьей желчи, сабунита или разбавленными растворами коллодия. Тщательно приготовленная желатиновая пленка является оптически настолько безупречной, что ее можно безоговорочно устанавливать на пути лучей мощного репродукционного объектива.

§ 2. Способы изготовления плоских и параболических поверхностей

Поверхность всякой неподвижной жидкости представляет собой весьма точное приближение к хорошей плоской поверхности (радиус кривизны равен радиусу Земли); эта поверхность только по краям изменяет свою форму вследствие сил поверхностного натяжения. Если такую жидкость вращать с постоянной угловой скоростью, то образуется параболическая поверхность, которая, как впервые показал Р. В. Вуд, может достигать качества астрономического параболического зеркала. Досадные помехи при работе создаются только крайней чувствительностью такой поверхности к сотрясениям и воздушным токам. Однако несомненно, что, применяя жидкости с высокой вязкостью, в некоторых случаях этот недостаток можно в значительной степени устранить.

Другой способ применяет Бюннагел [4]. Он пользуется ртутью в тонком слое, порядка десятой миллиметра (до 0,2 мм), на плоской подложке из посеребренной меди. Благодаря этому достигается хорошее смачивание ртутью. Внутреннее трение в таких тонких слоях жидкости, вместе с высоким поверхностным натяжением ртути, способствуют тому, что вся поверхность зеркала в целом приобретает очень хорошую стабильность, которая даже при сотрясениях нарушается только на короткое время и затем снова восстанавливается. При этом, как правило, нет необходимости применять обычные демпфирующие установки, свободные от сотрясений. Для того чтобы ртуть не расплзлась через края, внешнюю поверхность чашки и часть внутренней покрывают твердым лаком или слоем никеля. Так как при медленном изменении положения ртуть движется, и ее поверхность становится перовой, то вся аппаратура должна

быть установлена на твердом основании, самое лучшее на фундаменте, отделенном от здания.

Медь перед амальгамированием обезжиривают (см. стр. 84), обрабатывая ее недолго в азотной кислоте плотностью $1,1 \text{ г/см}^3$, затем ее промывают несколько раз в тщательно очищенной ртути до тех пор, пока стекающая ртуть более не обнаруживает загрязнений.

§ 3. Изготовление черных поверхностей

А) Для большинства целей достаточно покрыть поверхность с а ж е й (копотью), которая выделяется при горении маленького кусочка камфары. Отражение такого слоя сажи составляет для коротких длин волн ($0,8 \text{ мк}$) только $0,8\%$, оно возрастает с увеличением длины волны. При 51 мк отражается $1,6\%$.

К. Гоффманн [5] рекомендует смешивать сажу, продающуюся в виде «минеральной черни», с жидким стеклом (состав из 5 г черни, 15 см^3 спирта, 10 см^3 воды испаряется до тех пор, пока весь спирт не удалится; затем добавляется 3 см^3 натрового (жидкого) стекла). Отражение такого слоя в очень широкой области длин волн равно $4\text{—}5\%$. Картрайт [6] считает добавление жидкого стекла нецелесообразным.

Б) Платиновые и серебряные поверхности можно электролитически покрыть глубоким черным слоем платиновой черни. Люммер и Курлбаум применяли для этого раствор 2 г хлористой платины (хлороводородная платина H_2PtCl_6) в 50 см^3 дистиллированной воды, к которому добавляли 8 см^3 раствора уксуснокислого свинца в 200 см^3 дистиллированной воды. Затем этот раствор подвергали электролизу при комнатной температуре в течение нескольких минут током плотностью около 30 ма/см^2 . Платиновая чернь выделяется на катоде. Анод (платина) не поддается действию кислоты, и поэтому раствор постепенно расходуется. Очистить поверхность перед электролизом очень легко: достаточно вначале дать току на короткое время обратное направление. Черный осадок содержит по данным Хевеши и Сомия [6а] $1,5\%$ свинца. Отражение составляет: при длине волны $0,8 \text{ мк}$ $0,1\%$, а при 51 мк $1,1\%$.

В) Черные слои можно получить путем испарения металлов при пониженном давлении ($0,5\text{—}3 \text{ мм}$ рт. ст.) [7,8]. Из металлов, пригодных для этого (Ві, Zп, Au), в последнее время предпочитают пользоваться золотом, позволяющим получить слои с сильной поглощающей способностью при малой теплоемкости [9—12]. Различают два вида «черных» золотых слоев:

а) *Поглощающие слои*, которые получают испарением при давлении $1\text{—}3 \text{ мм}$ рт. ст. в атмосфере, совершенно не содержащей кислорода (N_2 , Ar), имеют в интервале волн $0,3\text{—}3,9 \text{ мк}$ приблизительно постоянный коэффициент отражения ($< 2\%$).

б) *Фильтрующие слои*, при получении которых золото испаряют в атмосфере, содержащей около 1% O_2 , пользуясь вольфрамовым нагревателем. Предполагают, что под влиянием образующейся окиси вольфрама WO_3 получаются слои, прозрачность которых в спектре $1\text{—}39 \text{ мк}$ постоянна.

в) *Слои висмута*. Испарение при $0,25 \text{ мм}$ рт. ст. в атмосфере водорода. Этот вид черных слоев можно безопасно получать даже

на тонких пленках. Целлулоидные пленки (см. стр. 128) можно получать на поверхности ртути. Вследствие мелкозернистости частички висмута при наклонном освещении придают поверхности блеск. Если желательнее иметь при всех углах отражения сильное поглощение, то поверхность чернят камфарной копотью до тех пор, пока она не станет серой, а затем уже отлагают на ней испарением слой висмута¹⁾.

Г) Для изготовления экранов, поглощающих свет, или для чернения деталей тех приборов, работа которых нарушается отражением, в настоящее время применяются матовые лаки, которые обеспечивают очень хорошее поглощение и матовость. Они изготавливаются почти всеми лаковыми фабриками и после нагревания до температуры около 150° С становятся очень прочными.

Д) Для имитации бархата можно на поверхность, покрытую бесцветным или черным лаком, нанести черные волокна, пользуясь соответствующими методами.

§ 4. Изготовление белых поверхностей

Если в пары сгорающего магния поместить белую пластинку (гипс или покрашенный в белый цвет металл), то можно получить матовую белую поверхность окиси магния [13]. Покрываемая пластинка не должна помещаться слишком близко к пламени, так как в противном случае матовость ее поверхности может быть нарушена. Толщина поверхностного слоя должна быть около 1 мм. Надо заметить, что при такой толщине слой сравнительно легко отделяется.

Мюллер и Рёслер исследовали отражательную способность *R* окиси магния, которая по точному рецепту была разведена в натровом жидком стекле. Они нашли, что для длин волн

	7000	4358	3341	3022	2536 Å
<i>R</i> поверхности, покрытой ZnO		71	19	2	%
<i>R</i> » » MgO	92	95	88	88	86 %

§ 5. Изготовление копий дифракционных решеток

Копии дифракционных решеток, правда, значительно уступают оригиналу (плоская отражательная решетка) в четкости, светосиле, но вместе с тем дают спектры, совершенно достаточные для качественных исследований. Их изготавливают по рецепту Уэллеса [14] следующим образом. В 64 см³ амилацетата, покачивая сосуд, в котором он находится, растворяют постепенно 2,5 г бездымного пороха. Раствору дают отстояться в течение 24 часов и затем его наливают тонкой струей в большой наполненный водой сосуд. При непрерывном взбалтывании воды выпадает коллоид. После вторичного отстаивания в течение 24 часов плавающий на поверхности воды в виде мелких чешуек коллоид собирают на фильтр и сушат. Затем из полученного коллоидия еще раз готовят такой же

¹⁾ Температура испарения должна быть возможно более низкой, чтобы не вызвать никаких следов окиси даже при испарении в воздухе.

раствор, т. е. 2,5 г высушенного коллодия растворяют в 64 см³ амилацетата. После этого раствор фильтруется, и его можно считать готовым к употреблению.

Дифракционную решетку, с которой снимают копию, тщательно очищают от пыли и наливают на нее небольшое количество указанной жидкости, давая ей возможность равномерно растечься по всей поверхности решетки. Количество жидкости определяют, исходя из расчета одной капли на квадратный сантиметр. Если сделать слой более толстым, то после высыхания получится шероховатая поверхность, а при малом количестве жидкости пленка будет слишком хрупкой; между этими крайностями лежит широкая область правильных решений. Установив решетку в горизонтальном положении, ее оставляют на один день для сушки в помещении, свободном от пыли. Стеклоянную пластинку, на которой предполагается закрепить копию, тщательно очищают и покрывают с одной стороны очень тонким слоем желатина; эту пластинку высушивают также в горизонтальном положении.

После просушки решетку и стеклянную пластинку кладут в чашку с дистиллированной водой. Через несколько минут по краям решетки начинает отделяться пленочка. Решетку вынимают из воды и, несколько помогая ногтем, осторожно сдвигают слой (копию) параллельно штрихам решетки. Вынув из воды стеклянную пластинку, тотчас же накладывают на ее желатиновый слой снятую с решетки копию, при этом необходимо тщательно избегать воздушных пузырьков. Лишней воде дают стечь, плотно прижимают края копии к стеклу и сушат. В заключение края высушенной копии можно еще раз покрыть клеем, чтобы надежнее закрепить ее на стекле.

При высыхании копия решетки несколько сжимается, поэтому ее постоянная меньше постоянной оригинала. Если наложить готовую копию на оригинал так, чтобы направления их штрихов совпадали, то будут видны темные полосы, которые при удачной копии должны быть прямолинейны и отстоять на равных расстояниях.

Если применяемый амилацетат совершенно не содержит кислоты, то изготовление копий не наносит никакого ущерба оригиналу решетки, даже, напротив, оно является лучшим средством для очистки решетки от загрязнений.

Вебер [15] нашел, что копии с большей светосилой можно получить, применяя 2% раствор целлулоида в (не содержащем кислоты) амилацетате. Слой должен в течение 48 часов сушиться под стеклянным колпаком, затем его можно снять. В продаже имеются копии дифракционных решеток, не уступающие оригиналу.

§ 6. Очистка дифракционных решеток из зеркального металла

Имеющийся в продаже раствор аммиака разбавляют водой, сливают жидкость на решетку и стирают ее очень мягкой льняной тряпкой в направлении штрихов решетки. Поражает количество грязи, которое удаляется таким путем с решетки, если она долгое время не употреблялась; одновременно после чистки наблюдается сильное увеличение яркости спектров. Глазер [16] рекомендует производить очистку коллоидальным раствором глинозема,

ГЛАВА X

ФОТОГРАФИЯ

Предварительное замечание. Читателя, который хочет познакомиться с основными положениями и техническими проблемами фотографии, мы отсылаем к книге «Научная фотография» Ангерера [1].

§ 1. Устройство темной комнаты

Целесообразно иметь место для «сухих» работ (заряжение пластинок, пленок, копирование и т. д.) и место для «мокрых» работ (проявление, фиксирование и т. д.). Для последних работ необходимы три ванны из белого фаянса, расположенные друг за другом в ряд, к ним должна быть подведена вода и раковина. В левой ванне промывают, в средней проявляют, в правой фиксируют. Таким образом все эти процессы можно производить на одном рабочем месте.

Над рабочим местом, в особенности для мокрых работ, располагается полка для необходимых растворов (проявителя, фиксажа и т. д.). Для удобного оперирования со светочувствительными материалами следует иметь светонепроницаемые кассеты (9×12 см², 13×18 см² и т. д.). Их крышки, благодаря трехкратному ступенчатому фальцу, являются вообще светонепроницаемыми.

Для освещения темной комнаты применяется обыкновенная лампа со светофильтром и с выключателем на шнуру. При выборе светофильтра необходимо уделять внимание спектральной чувствительности применяемых материалов. Следует заметить, что обычные бромосеребряные слои, чувствительные от ультрафиолетовых лучей вплоть до 500 мкм (собственная чувствительность AgBr), можно сделать чувствительными и за областью 500—1200 мкм (инфракрасные слои), если применять сенсибилизирующие красители. Хлористое серебро чувствительно от ультрафиолетовых лучей приблизительно до 420 мкм (собственная чувствительность AgCl). Темная комната должна быть освещенной, насколько это не представляет опасности засвечивания обрабатываемых фотослоев (белая окраска стен темной комнаты!) [2]. Безопасную освещенность можно установить из опыта, если ослабить в 10 раз освещенность, при которой появляются следы засвечивания. Вместе с тем также замечено, что физиологическое ощущение яркости связано со спектральной чувствительностью. Следует предпочитать, между прочим, физиологически яркий свет темному, хотя и спектрально чистому свету, если в физиологически ярком свете активных лучей не содержится (или содержится небольшое количество) [3].

Соответственно этому для фильтрации света ламп накаливания поставляются, например, светофильтры [4] разных окрасок: так, желтые стекла для бумаги [5], красно-коричневые стекла для несенсибилизированных слоев (сопоставляют физиологическую яркость глубоко красных и красно-коричневых стекол), красные светофильтры для ортохроматических слоев, зеленые стекла для панхроматических слоев. Прозрачность таких светофильтров лежит часто в минимуме спектральной чувствительности фотослоев, если только сенсибилизатор имеет интервал, в котором он является не-

чувствительным. Панхроматические слои, применяемые на практике, лучше всего обрабатывать в полной темноте. При обработке без светофильтров в практике пользуются дозировкой проявления (см. также следующий раздел). В этом случае можно проявлять, фиксировать и промывать в полной темноте и без прикосновения к пленке. Естественно, при этом пленку следует заряжать также в полной темноте. Одним покачиванием проявляющей ванны обычно не удается получать при повторных проявлениях одинаковых результатов (хотя время и температура проявления остаются теми же). Но этого можно легко достичь, пользуясь искусственным приемом, предложенным Раулингом; он применяется в различных формах. Проявление ведется в сосуде Дьюара. Его заполняют на $\frac{3}{4}$ объема проявляющей жидкостью и поддерживают при достаточно постоянной

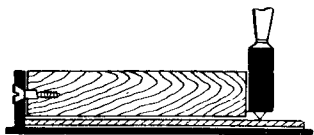


Рис. П,49. Линейка для резания пластинок.

температуре. К проявляемому объекту прикрепляют полоску из плексигласа, которая вклеена в пробку сосуда. (Быть осмотрительным при применении металлов, в особенности меди.) Для перемешивания проявляющей жидкости равномерно покачивают сосуд, наклоняя его в вертикальной плоскости до угла около 45° . При этом сосуд Дьюара вращают около его оси. Так избегают стоячих волн, влияние которых иначе становится легко заметным на проявленном объекте в форме оптических неоднородностей.

Далее, в фотокабине целесообразно иметь часы, полезные при проявлении и экспозиции, самое лучшее — со светящимся циферблатом; точно так же следует иметь приспособление для нарезания продажных пластинок и пленок (рис. П,49).

§ 2. Пластинки и пленки (бумага)

Так как пластинки, пленка или бумага находят общее применение, то можно говорить вообще о фотографических слоях на пластинках, пленках или бумагах. При одинаковых чувствительных слоях продукция различается своими размерами: большие форматы, свыше $4,5 \times 6$ см² (кратные 9×12 см²), малые форматы; 24×36 мм² (соответствующие нормальному кинокадру), и наименьшие форматы, 16 мм или 8 мм ширины. Негативы формата 24×36 или 16×8 мм² целесообразно увеличивать.

Фотобумага для увеличения в основном является бромосеребряной, фотобумага для контактной печати [5], как правило, является хлоросеребряной, но иногда и хлоробромосеребряной (требует специальных фильтров! См. также [4] и [1]).

Особой областью является скоростная киносъемка [7], [8]. Различают три области скоростной съемки: 275—20 000 снимков в секунду — скоростная съемка, 20 000—500 000 снимков в секунду — высокоскоростная съемка, свыше 500 000 снимков в секунду — сверхскоростная съемка. «Глянцевые пленки» имеют глянцевую основу, «матовые пленки» для лучшего ретуширования — матовую.

А) Ф о т о ч у в с т в и т е л ь н ы й слой имеет следующие характеристики:

а) *Общая чувствительность*, т. е. чувствительность к белому свету, в большинстве случаев стандартизируется [6], [8], [9]. По немецким нормам [10] чувствительность определяется количеством энергии, которое при максимальном проявлении вызывает почернение в 0,1 сверх вуали (поглощение света 20,6%), и измеряется в градусах; наибольшая чувствительность равна примерно 23°. В англосаксонских странах чувствительность характеризуется индексом экспозиции, который устанавливается также по определенному стандарту. Чувствительность по индексу экспозиции растет вообще пропорционально его величине, но иногда (если это указывается) и по логарифмическому закону. Чувствительность 20° по немецким нормам соответствует 100 по англосаксонскому индексу экспозиции¹⁾.

б) *Контрастность*. Кривая почернения, жестко и мягко работающие слои (фактор контраста). Этот параметр и величина зерен слоя, от которой зависит разрешающая способность, в известной степени взаимосвязаны: трудно изготовить высокочувствительные и в то же время сколь угодно мелкозернистые слои.

в) *Спектральная чувствительность* [9], [11], [12]. Распирение спектральной чувствительности фотослоев посредством сенсibilизации, т. е. введения в галоидные соединения серебра красящих веществ (соответствующие фильтры!), оптимум спектральной чувствительности во всех областях видимого спектра. Относительно собственной чувствительности AgBr и его сенсibilизации см. [1].

В области ультрафиолетовых лучей спектральная чувствительность ограничена примерно 100 ммк вследствие поглощения таких лучей слоями желатины, окружающей бромистое серебро. Распирить спектральную чувствительность обычных слоев можно, пропитывая их растворами, которые флуоресцируют в ультрафиолетовой области спектра (бензол с небольшим количеством парафинового масла, рамзаевская замазка, растворенная в эфире, или 5% раствор салициловокислого натрия в спирте) [13].

В области рентгеновских лучей надо различать [4], [14]:

1. Фотографические слои с усиливающими флуоресцирующими экранами; на такие слои действуют как кванты видимого света, так и кванты рентгеновских лучей.

2. Фотографические слои без усиливающих экранов; на эти слои действуют только кванты рентгеновских лучей.

Вообще же применяемые материалы необходимо выбирать, имея в виду следующее обстоятельство.

Рентгеновские лучи поглощаются с эффективностью около 1%, а лучи видимого света — около 50%. Поэтому при фотографировании в рентгеновских лучах без усиливающего экрана двойной фотослой имеет преимущество (одновременно повышается контрастность) [2]. Один поглощенный квант рентгеновского излучения расщепляет около 10^3 (и более) молекул AgBr в одном зерне, в то время как поглощенный квант света — примерно 1 молекулу AgBr. Поэтому при съемке в рентгеновских лучах без усиливающего экрана максимальная чувствительность достигается при большой величине зерен (остальдовское созревание), но при относительно менее химически созревших зернах.

¹⁾ Сравнение показателей различных сенситометрических систем, которые основываются на неодинаковых критериях чувствительности, вообще не может быть точным.

Авторадиографией [8] называют фотографирование в рентгеновских лучах без промежуточного поглотителя. Снятый с подложки фоточувствительный слой накладывается непосредственно на облучаемый объект.

г) *Разрешающая способность* [15]. Возможно меньшие размеры зерен (но не слабодиффузные слои) при возможно больших значениях фактора контраста. Связь между величиной зерен и почернением (покрывающая способность, фотометрический эквивалент).

д) *Противоореольная защита* [15]. Надо различать:

1) Ореол в результате отражения (отражение от подложки, т. е. стеклянной пластинки или пленки). Средства защиты: окрашивают обратную сторону подложки или наносят слой из красящего вещества между чувствительным слоем (высокая чувствительность) и подложкой. Такие слои могут содержать малочувствительную эмульсию (пластинки или пленки с двойными слоями) или также могут быть подкрашены (MnO_2 ; розоловая кислота). Обесцвечивание происходит в процессе фиксирования. Все современные фоточувствительные слои имеют подобную противоореольную защиту. При больших форматах чаще всего окрашивается обратная сторона, иногда применяются еще и промежуточные слои; пленки малых форматов почти всегда имеют окрашенную подложку.

2) Ореол от диффузного рассеяния [15]. Фотографически слой является не прозрачной, а диффузной средой. Для уменьшения диффузного рассеяния уменьшают толщину слоев (тонкослойные пленки и пластинки).

е) *Регистрация корпускулярного излучения* (пластинки для ядерных исследований). Применяются очень богатые серебром слои толщиной 400 *мкм* («сэндвич»). Микроскопически измеряется длина следов и глубина проникновения частиц [7]. Эмульсия может быть составлена таким образом, что один слой ее регистрирует определенный вид излучения и не реагирует на другие.

Надо обращать внимание на эффект ослабления (регрессии)! Проявление толстых фотослоев производится следующим образом:

1) Проявление при примерно 5° С. Весь слой пропитывается проявителем, однако еще не действующим.

2) Собственно проявление при примерно 20° С. Для предотвращения деформации слоя надо пытаться обеспечить равномерное нагревание проявителя.

В соответствии с этим имеются в продаже (обзор всех имеющихся в продаже фотослоев см. в [4]):

1) Слои для художественной фотографии с различной контрастностью, зернистостью и чувствительностью: нечувствительные слои в 10° DIN, слои средней чувствительности в 17° DIN, высокочувствительные слои свыше 18° DIN, в основном панхроматические. Диапозитивные слои для копирования и передачи фотографий на прозрачных подложках в большинстве случаев состоят из хлорбромосеребряных слоев (мелкозернистые нечувствительные; имеются двух контрастностей, нормальные и жесткие).

2) Репродукционные слои [4]:

а) для глубокой печати, средней чувствительности; контрастность по возможности 45°;

б) для штриховой репродукции — очень высокая контрастность при малой чувствительности; как несенсибилизированные так и сенсибилизированные слои;

γ) слои для регистрационных целей. Возможно более высокая чувствительность, возможно более высокая контрастность, нормальные или сенсibilизированные слои.

3) Спектральные пластинки (см. также [4]):

α) для научной фотографии с различной чувствительностью, зернистостью и контрастностью;

β) пластинки для ультрафиолетового света с малым содержанием желатины [9], чувствительные примерно до 200 мкм; пластинки, не содержащие желатины, т. е. «пластинки Шумана» для регистрации излучения между 250—100 мкм;

γ) пластинки для инфракрасных лучей до 1150 мкм [4], [9];

δ) астрофизические пластинки [9] с возможно большей чувствительностью и возможно мелким зерном;

ε) слои для исследования эффекта Рамана [16];

ζ) электронные пластинки для регистрации электронов с энергией свыше 15 000 эв (электронный микроскоп, электронный осциллограф, корпускулярные излучения).

4) Рентгеновские слои [4]:

α) для медицинских целей с усиливающим экраном;

β) зубные пленки (без усиливающего экрана);

γ) рентгеновские пленки для просвечивания материалов с фильтрами или без них;

δ) рентгеновские пленки для структурного анализа;

ε) слои для автордиографии и рентгеноспектроскопии (см. также стр. 225).

5) Слой для регистрации корпускулярных излучений.

Об изготавливаемых типах эмульсий см. [17] и [8] (табл. II,6).

6) Слой с большой разрешающей способностью. Пластинки «Микрат» с максимальной разрешающей способностью [15], [18]; оба типа свободны от опалесценции; пластинки «Перути» (немного затененные).

Б) О с в е щ е н и е

Фотографические пластинки, применяющиеся для получения обычных снимков, далеко не так чувствительны к изменению времени экспозиции, как обычно думают начинающие. Если допущена ошибка во времени экспозиции, равная $1:10^4$, то выбором соответствующего проявителя можно исправить даже такую ошибку [4]. При спектральных съемках, например, для определения времени экспозиции целесообразно изменять ее от снимка к снимку в отношении $1:3:10:30\dots$ Если на первом снимке после достаточно долгого проявления появляются только самые сильные линии, то время экспозиции следующего снимка (если это только возможно) берут в 10 раз больше. Чтобы сфотографировать зеленые спектральные линии, которые (без матового стекла) еще сносно видимы в окуляр неустоленным глазом, необходима выдержка от 10 до 20 часов.

Надо обращать внимание на зависимость почернения при проявлении от экспозиции (кал·см⁻²)¹). Этот эффект зависит от типа слоя, и его трудно заранее рассчитать. В последнее время было сконструировано большое количество аппаратов, с помощью которых эта зависимость легко и быстро измеряется [9], [19].

¹) Обычно эрг/см². — Прим. ред.

Типы эмульсий [17]

Тип частиц	Регистрируемая энергия в Мэв								Истман	Кодак	
	Алфа		Ильфорд		Кодак (англ.)		NTA			NTB	NTB3
	K2	E1	C2	G5	NT1a	NT2a	NT4	NTA			
Электронны	0,08	—	0,03	все	—	0,1	все	—	0,8	0,4	
α-мезоны	16	2	5,5	все	2	20	все	1	16	85	
Протоны	150	20	5,50	все	20	200	все	10	150	750	
Дейтроны	300	40	100	все	40	400	все	20	300	1500	
Любые другие частицы	все	500	1500	все	500	все	все	250	все	все	

См. также NTB2 и NTC3 [8] (стр. 108) для регистрации α-лучей и протонов малых энергий.

Таблица II,7
Сокращение фотослоев на различных подложках (по Калкману), [7] стр. 184. Приведены приближенные ориентированные значения; L — сокращение по направлению действия поперечной машины, W — в перпендикулярном направлении

Сокращения	Стекло	Сталь	Алюминий	Подложка				
				нитроцеллюлоза	ацетатцеллюлоза	поливинилхлорид	искусственная смола	водостойчая бумага
Коэффициент линейного расширения в интервале между 10 и 30° С ¹⁾ (× 10 ⁶)	0,9	1,2	2,4	5,6	7,8	7,0	1,4L 4,0W	—
Действие относительной влажности в интервале между 20—70% на линейные размеры слоя (× 10 ⁶)	0	0	0	6,7	8,2	1,0	0,6L 1,8W	6L 16W
Сокращение (в %) при фотобработке	0	0	0	0,03	0,04	0,01	0,03W 0,05W	0,09L 0,12W
Сокращение (в %) при хранении (после фотобработки) в течение 7 суток при 50° С и 20% относит. влажности	0	0	0	0,15	0,11	0,30	0,01L 0,02L	—
То же + хранение в течение 1 года при 20° С и 50% относит. влажности	0	0	0	0,07	0,09	0,04	0,05W	—

¹⁾ Фотослой теряют стабильность при температуре выше ~40° С.

Время экспозиции может быть сокращено посредством гиперсенсбилизации [4], [20] слоя. Она может осуществляться следующими операциями:

а) *подсвечиванием* до, во время или после экспозиции;

б) *воздействием паров ртути*: подвешивание пленок на 30—40 часов над чашкой с ртутью;

в) *погружением в ванну*; либо удалением излишней соли брома ванной в основных растворах (NH_4OH или Na_2CO_3), или ванной в вольфрамите серебра, образующем растворы.

При подходящих эмульсиях можно достигнуть 5—20-кратного повышения чувствительности.

Надо иметь в виду малое время сохраняемости этих пластинок. Результаты не гарантированы и сильно зависят от примененной эмульсии. Сильное увеличение чувствительности оспаривается с разных точек зрения [21]. Говорят об увеличении глубины почернения примерно на 50%.

§ 3. Проявление

Имеются следующие типы проявителей [4]:

А) **Быстрые проявители**. Проявители, которые при примерно 20° С дают через 5—7 минут четкие снимки. В качестве проявляющего вещества часто применяется метол (высокое начальное почернение) или гидрохинон (высокое значение контрастности). Сюда относятся также и рентгеновские быстрые проявители. Другой, часто употребляемый родиналовый проявитель содержит в качестве основного проявляющего вещества параамидофенол. Это вещество трудно получить в твердом виде; в нейтральном состоянии оно не сохраняется. Поэтому для такого проявителя трудно указать рецепт. Щелочь, часто поташ (K_2CO_3), может заменяться трехосновным фосфорнокислым калием.

Б) **Выравнивающие проявители**. Главным образом мелкозернистые метоловые проявители.

В) **Медленно работающие и бачковые проявители**. Время проявления при разбавлении проявителей доходит при 20° С до 10—30 минут. По другим свойствам они схожи с быстрыми проявителями.

Г) **Быстродействующие проявители для репродукционных целей**. Очень жесткие и прозрачные. Время проявления 40—50 сек. В качестве щелочи применяется едкое кали.

Д) **Тропический проявитель** (для работы при высоких температурах). Добавляется сернокислый натрий.

Е) **Мелкозернистые проявители**. Классическим проявляющим веществом является парафенилендиамин [22]. В последнее время это ядовитое и легко образующее пятна вещество заменяется другими. Весьма рекомендуемым мелкозернистым проявителем является проявитель «Агфа-атомал».

Ж) **Проявители для бумаги и позитивов**. Аналогичны проявителям группы А). Щелочь (поташ) в большинстве случаев заменяется содой. К проявителям для бумаги относится и коричневый проявитель (для получения коричневых тонов). При передержке применяется разбавленный проявитель и удлиняется время проявления.

Пожалуй, следует обратить внимание на различие между Na_2SO_3 , указанным здесь как консервирующее средство, и нейтральным сернистым натрием (Na_2SO_4). В продаже имеется два сорта сернистокислого натрия: «сухой» или «безводный» (Na_2SO_3) в виде белого порошка и «кристаллический» ($\text{Na}_2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$) в виде бесцветных кристаллов. Если в рецепт проявителя включено определенное количество «безводной» соли, то это количество надо удвоить в случае применения «кристаллической» соли. Оба сорта на воздухе постепенно окисляются, образуя сернокислый натрий (Na_2SO_4). Безводная соль более устойчива, чем кристаллическая, но по виду кристаллической соли можно определить, насколько сильно она окислилась, так как по мере увеличения окисления ее кристаллы покрываются белым слоем или совсем распадаются до белого порошка.

Устойчивость растворов проявителей в каждом случае можно существенно увеличить, если отдельно составить два раствора (первый с проявляющим веществом, в особенности в присутствии метабисульфата, и второй с сульфитом, щелочью и бромистым калием).

Рецепт для метолгидрохинонового проявителя (см. А):

1 л дистиллированной воды
5 г метола
8 г гидрохинона

В раствор, состоящий из указанных веществ, добавляется:

120 г кристаллического сернистокислого натрия
75 г углекислого калия
3 г бромистого калия

Перед употреблением 1 часть этого раствора разбавляется 2—5 частями воды.

Рецепт проявителя для репродукции чертежей:

5 г метола
40 г сернистокислого натрия (безводного)
6 г гидрохинона
40 г углекислого калия
6 г бромистого калия

Рецепт быстродействующего проявителя.

Раствор 1:

2,5 г метабисульфата калия
25 г гидрохинона
25 г бромистого калия, растворить в 1 л.

Раствор 2:

50 г едкого кали, растворить в 1 л.

Непосредственно перед употреблением смешать равные части растворов 1 и 2. Очень жесткий и четкий. Время проявления для репродукций 2—3 мин, для обычных фотоснимков 30—40 сек.

Весьма энергичен проявитель лаборатории Кодак [23]:

- 12 см³ метилового спирта
- 3,5 г метола
- 13,1 г безводного сернистокислого натрия
- 3,5 г гидрохинона
- 2,2 г едкого натра
- 2,2 г бромистого калия и разбавить водой до 250 см³

(для очень быстрого проявления (1 мин) можно в этот рецепт ввести еще дополнительно 2,5 г едкого натра).

Люппо-Крамер обнаружил, что определенные красящие вещества настолько снижают чувствительность уже экспонированных пластинок, что их можно проявлять при желтом свете (десенсибилизация). В продаже имеется три из таких веществ: пинакриптол зеленый, пинакриптол желтый и пина белая. Наиболее слабый краситель пина белая [4] поступает в продажу в виде белых таблеток, легко растворяется и применяется к проявителю, с которым она взаимодействует лучше других красящих веществ.

§ 4. Фиксирование

Когда проявление закончено, пластинка по крайней мере в течение 10 сек основательно промывается в проточной воде и затем уже погружается в фиксаж. Фиксажная ванна растворяет невосстановленное бромистое серебро.

Нейтральная фиксажная ванна, которую получают растворением в воде гипосульфита натрия, нестойка и при употреблении быстро распадается с выделением серы. Значительно более стойкой является кислая фиксажная ванна.

«Кислую фиксажную ванну» готовят, растворяя 1 кг гипосульфита и 0,1 кг метабисульфита калия ($K_2S_2O_5$) в 5 л воды. Раствор выделяет немного газообразной сернистой кислоты, которая может повредить расположенным вблизи инструментам. Можно ограничить выделение газа, для этого следует применять для фиксажа не плоские ванночки, а очень практичные ванны с пазами, в которые вставляется вертикально значительно большее число пластинок. Если закрыть такую ванну крышкой из пропитанной парафином древесины, то фиксаж может сохраняться очень долгое время. Быстрофиксирующая соль — тиосульфат аммиака. Она фиксирует в два раза быстрее, чем гипосульфит, однако действие ее ослабевает значительно скорее, чем действие последнего.

Пластинки должны находиться в фиксаже не менее 10 минут и не более 1 часа. Во всяком случае фиксирование следует продолжать вдвое дольше того времени, в течение которого пластинка становится прозрачной, так как сначала образуется труднорастворимая двойная соль, которая с течением времени превращается в сернистое серебро.

В 1 л раствора кислого натрового фиксажа можно обработать не более 50 пластинок размером 9×12 см².

§ 5. Промывание и сушка

Принимая во внимание сказанное выше, необходимо очень основательно вымывать фиксирующую соль. Эту операцию следует продолжать самое меньшее в течение получаса в проточной воде.

При промывании можно удалить появляющуюся известковую вуаль при помощи кратковременной ванны из двухпроцентного раствора уксусной кислоты.

Сушку готовых снимков лучше всего совершать в потоке подогретого воздуха (фён, сушильные шкафы). Фотослой на пластинках или плевках плавятся при температурах от 35 до 40° С. Вследствие этого необходимо иметь в виду, что сырые фотослои не следует нагревать слишком сильно; температура потока воздуха при сушке должна определяться в зависимости от температуры их плавления. Вместе с тем охлаждение слоя вследствие испарения может быть настолько сильным, что его плавления не происходит. В особенности не следует ускорять просушку еще сырых пластинок посредством каких-либо внешних воздействий, так как иначе могут появиться пятна.

Но все же сушку можно ускорить, применяя ванны в этиловом или метиловом спирте. Более благоприятный результат достигается в последнем случае. Однако при этой обработке может наступить молочное помутнение слоя. Далее можно ускорить просушивание при помощи формалиновой ванны (5 минут в двухпроцентном растворе формалина); при этом устраняются упомянутые опасности при просушке, так как формалин разлагает натровый фиксаж; применять это рекомендуется только после промывания.

Не подвергая опасности (ценный) негатив, просушивание можно ускорить путем короткого, но все же эффективного промывания в 50% метиловом или этиловом спирте.

В последнее время для сушки фотографических слоев применяют также инфракрасные лучи [24].

§ 6. Различные рецепты

А) Удаление фотослоев

Вместо общеизвестного смывания с пластинок или пленок желатинового слоя горячей водой можно рекомендовать опускать их в 1—2% раствор плавиковой кислоты (на 5 сек), или в раствор фтористого аммония (действует медленнее), или в щелочный раствор роданистого калия (200 г KCN₅+150 г едкой щелочи на 1000 г воды). Фотослой можно при этом снимать в виде цельной пленки, в особенности если их предварительно обработать в дубильной формалиновой ванне.

Б) Чертежи на фотоснимках

Венельт описывает следующий прием изготовления чертежей (в особенности сложных, необходимых для клише): снимают фотобъект на полуматовой бромосеребряной бумаге (негатив или позитив). После высыхания отпечатка обводят тушью (несмываемой) те линии, которые необходимо воспроизвести на клише. Если затем все серебро удалить при помощи фермеровского ослабителя, то на белой бумаге остается только чертеж.

В) Усиление отпечатков

Свежий фотослой накладывают на флуоресцирующий экран, свечение которого возбуждают, освещая его через негатив (кварцевой лампой с кварцевым фильтром). Благодаря этому контраст-

ность отпечатка удваивается. Можно также фотографировать экран, освещая его через негатив; необходимо применять жестко работающую пластинку.

Таким путем можно получить контрастные отпечатки со слабых негативов, не применяя усилителей.

Г) Измерение расстояний на фотоотпечатках

Фирма «Агфа» изготовляет особую фотобумагу, проклеенную алюминиевой фольгой (устойчивую бумагу), которая служит для точного измерения расстояний по позитиву на бумаге. Линейные размеры этой бумаги после ее фотообработки сокращаются только на 0,01%, тогда как обычная копировальная фотобумага сокращается на 0,3—0,6%. Сокращение фотослоев на различных подложках дано в табл. II,7 (см. стр. 228).

§ 7. Цветная фотография

Особую область составляет цветная фотография. Обработка (проявление и т. д.) в большинстве случаев производится изготовителем, а не потребителем. По вопросу об изготовлении таких пленок мы отсылаем читателя к подробным монографиям по цветному фотографированию [7], [8], [25], [26].

Укажем, что в Германии чувствительность цветных пленок по необходимости оценивается в градусах по шкале, принятой для черно-белых пленок. Такая оценка чувствительности в данном случае допустима, так как до настоящего времени непосредственное определение чувствительности цветных фотопленок еще невозможно.

Качество передачи цветов такими пленками очень чувствительно к ошибкам экспозиции. Поэтому правильный выбор экспозиции при цветном фотографировании имеет несравненно большее значение, чем при черно-белом [27].

ГЛАВА XI МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ [0]

§ 1. Число оборотов

А) Изменение числа оборотов электродвигателей

а) *Шунтовой коллекторный двигатель.* Число оборотов двигателей этого типа можно увеличить, включая в обмотку статора St переменное сопротивление R (реостат с подвижным контактом), см. рис. II,50. С возрастанием сопротивления R число оборотов ротора L увеличивается.

б) *Серийный коллекторный двигатель.* Число оборотов этого двигателя, статорная обмотка которого St соединяется последовательно с обмоткой ротора L , можно постепенно уменьшать, включая добавочное сопротивление R . При увеличении R число оборотов

ротора падает. При этом уменьшается также и крутящий момент, так что при определенном наименьшем значении числа оборотов двигатель легко останавливается. Схема включения двигателя и добавочного сопротивления приведена на рис. П,51.

Недостаток, связанный с уменьшением крутящего момента при падении числа оборотов, устраняется, если применять метод регулирования Баркгаузена [1]. Как показано на рис. П,52, ротор L серийного двигателя соединен с переменной частью r регулируемого сопротивления R . Наибыгоднейшая величина R определяется отношением:

$$R = \frac{\text{напряжение сети}}{\text{сила тока при полной нагрузке}}$$

Тогда число оборотов ротора L почти пропорционально сопротивлению r , включенному параллельно L . Для электродвигателя мощностью в 1/6 л.с. R было равно 255 ом. Это позволило регулировать число оборотов в пределах от 3200 до 100 об/мин.

Рис. П,50. Шунтовой коллекторный двигатель.

е) *Бесступенчато регулируемый двигатель Пфейффера.* Фирма А. Пфейффер (Ветцлав) выпускает маленький бесступенчато регулируемый двигатель, который может находить широкое применение в лабораториях. Он представляет собой двигатель переменного тока с подвижными щетками. Перестановка щеток осуществляется рукояткой, расположенной на лицевой стороне двигателя. При среднем положении рукоятки двигатель вообще не вращается. При повороте рукоятки влево двигатель вращается влево, при повороте рукоятки вправо двигатель вращается вправо. При увеличении угла поворота рукоятки число оборотов двигателя возрастает.

Число оборотов ненагруженного двигателя может постепенно меняться от 0 до 5000 об/мин. При увеличении нагрузки уменьшается верхнее предельное значение числа оборотов. Двигатель выпускается двух размеров мощностью 1/25 л.с. и 1/8 л.с. при напряжении сети 127, 254 или 220 вольт.

Б) Постоянство числа оборотов

Говоря о постоянстве числа оборотов, имеют в виду или длительную работу при постоянном числе оборотов, или некоторые допустимые отклонения от постоянства числа оборотов. Маленькие хорошо сконструированные синхронные двигатели переменного тока продолжительное время работают с исключительным постоянством числа оборотов. Далее, для обеспечения постоянства

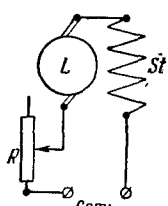
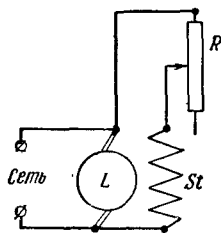


Рис. П,51. Серийный коллекторный двигатель.

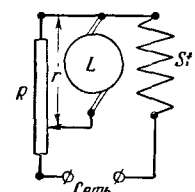


Рис. П,52. Регулирование числа оборотов по Баркгаузену.

числа оборотов в течение большого периода времени, весьма пригодны сконструированные по принципу фониического колеса ¹⁾ медленно вращающиеся моторы и хорошие электромоторчики для проигрывателей пластинок. Для менее продолжительной работы годятся патефонные пружинные часовые механизмы, число оборотов которых регулируется упругой силой пружины и центробежным регулятором. Маленькие шунтовые электромоторчики с таким же центробежным регулятором вращаются также с удивительно постоянным числом оборотов.

Келзал [2] дает обзор (без указания подробностей) различных методов контроля постоянства числа оборотов, особенно приводных машин в промышленных условиях. Некоторые упомянутые им методы регулирования пригодны и в лабораториях для поддержания с большой точностью данного числа оборотов. В основе этих методов лежит следующий принцип: регулируемый привод непосредственно соединен с маленькой динамомашинкой, называемой также тахогенератором. Можно пользоваться динамомашинками как постоянного, так и переменного тока. Напряжение, снимаемое с динамомашинки, подается на регулирующее устройство, иногда после предварительного усиления ламповым усилителем.

В другом аналогичном устройстве применяется управляющая динамомашинка переменного тока. Частота вырабатываемого ею тока равна числу оборотов регулируемой машины в единицу времени. Этот ток протекает по катушке, индуктивно связанной с колебательным контуром, настроенным на требуемую частоту. Переменный ток, возникающий в контуре и достигающий максимума при резонансе, выпрямляется и подается на регулирующее устройство [3].

§ 2. Давление (мано- и вакуостаты)

А) Маностаты

Маностатами называются приборы, в которых поддерживается постоянное давление, большее атмосферного. Регулирование давления может производиться вручную или автоматически с помощью специальных приспособлений. Ниже в основном рассматриваются именно эти приспособления.

Для регулирования давления газа [4] применяются при не слишком больших давлениях редукционные вентили, при условии, что газ вообще сохраняется в достаточно сжатом состоянии. Такие приборы не обеспечивают большого постоянства давления; так, например, если в системе установлено давление в 2 атм, то редукционные вентили при некоторых условиях могут допускать в течение $\frac{1}{4}$ часа превышение этого давления на 0,3 атм и даже более. Это в большинстве случаев обуславливается загрязнением седла клапана. Для обеспечения безопасной работы маностат снабжается предохранительным вентилем, или его корпус снабжается соответствующей разрывной мембраной.

Для поддержания постоянства давления во многих случаях применяется гидравлический аккумулятор [5] либо в форме известной воздушной камеры [6], либо в виде нагруженного поршня. В первом из упомянутых вариантов гасятся также и ударные

¹⁾ Старинный электродвигатель системы Поль ля Кура. — Прим. ред.

волны, вызванные работой насоса. Во втором варианте давление определяется весом нагрузки и поперечным сечением поршня. Давление остается постоянным до тех пор, пока поршень при падающем давлении имеет возможность двигаться вниз. Движение поршня по вертикали ограничено — у имеющихся в продаже приборов оно около 2 см для давлений до 2000 кг/см^2 ; поэтому такие приборы можно применять для поддержания постоянного давления только в системах с небольшими объемами, в которых не происходит значительных изменений давления.

Из приборов, регулирующих давление, следует описать установку Коэн-Шутта [7], которая позволяет в жидкой среде долгое время поддерживать постоянными давления вплоть до 1500 атм . Прибором, создающим давление, является винтовой пресс, в котором, как обычно, приточенный плунжер с помощью винта вдавливается внутрь объема жидкости, где создается высокое давление. Давление, возникающее в этом объеме, контролируется манометром Бурдона, который имеет еще подвижный контактный указатель. Если давление падает, то реле включает мотор, движение которого заставляет плунжер дальше проникать в сжимаемое пространство и повышать в нем давление. Мотор автоматически выключается, как только установленное на манометре давление будет достигнуто. Во избежание поломки винтового пресса предусмотрено устройство, с помощью которого мотор выключается, когда плунжер достигает в винтовом прессе определенного предельного положения.

Поршневые манометры, если они работают под непосредственной нагрузкой, могут служить как контактные приборы, если дополнить их соответствующими контактами или фотоэлементами и реле. Поршневой манометр работает в этом случае против упругих сил пружины [8], [9]. Таким образом достигается соответствие между значениями давления и положениями пружины, т. е. изменения давления в определенных пределах вызывают пропорциональные им смещения пружины; изменяя нагрузку поршня, можно смещать нулевую точку прибора. Дифференциальные поршневые манометры [10] применяются как приборы для записи давления в различных интервалах. Эти приборы позволяют поддерживать давление, если к ним добавить соответствующие контактные устройства.

Описан новый метод поддержания постоянства давления в гидравлических разрывных машинах; этот метод позволяет при помощи соответствующего устройства (нагруженная пружина, включенная в перепуск, клапан новой конструкции) устанавливать в машине любое усилие, т. е. любое значение давления. Благодаря этому проведение опытов на разрывных машинах значительно облегчается.

Б) Вакуостаты

Вакуостатами называются устройства, в которых поддерживается постоянным давление, меньшее атмосферного. Регулирование давления осуществляется вручную или специальными регулирующими устройствами, описание которых следует ниже. Некоторые вакуостаты применяются для дистиллирования при пониженных давлениях.

Поддерживать давление в вакуостате постоянным можно, пользуясь двумя следующими методами:

а) Откачивающая установка, соединенная с вентилем, периодически включается и выключается.

б) Откачивающая установка работает непрерывно. Давление в вакуостате регулируется путем впуска необходимого количества воздуха. В этом случае предполагается, что мощность откачивающего устройства достаточно высока, так что оно способно поддерживать давление на значительно более низком уровне, чем это требуется.

Если пониженное давление лежит в пределах, доступных изменению мембранным манометром [11] или манометром Бурдона, то эти приборы также можно применить в соединении с контактными устройствами. Часто применяются U-образные трубки, наполненные ртутью, со впаянными или подвижными контактами. Следует также указать на кольцевые весы.

Хантресс и Херсберг [12] применяют укороченную заполненную ртутью U-образную трубку и впрессованную в нее вольфрамовую проволоку. Изменяя наклон этой трубки, можно точно устанавливать рабочую точку. В интервале от 2 до 30 мм рт. ст. давление поддерживается постоянным в пределах $\pm 0,15$ мм рт. ст.

Включение и выключение вакуумного насоса производится автоматически электронным устройством.

Кульсон и Варме [13] описывают вакуостат, применявшийся ими при дистилляции. Он работает в интервале от 700 до 70 мм рт. ст., причем колебания давления не превышают 0,1% от установленного значения. Вакуумный насос с электродвигателем, управляемый ртутными контактами, дает форвакуум с меньшим давлением, чем применяемое при дистилляции; этот вакуум приблизительно регулируется. Между форвакуумом и дистилляционной камерой включается вентиль с кагушкой. Для точной регулировки желаемого вакуума служит U-образная трубка, наполненная серной кислотой, снабженная контактами и соединенная с дистилляционным объемом. Сигнал контактов, проходящий через усилитель, открывает вентиль форвакуума.

Херсберг и Хантресс также пользуются U-образной трубкой, наполненной H_2SO_4 [14]. Применяется серная кислота плотностью $1,71$ г/см³ (кислота плотностью $1,84$ г/см³ при низких давлениях выделяет газ); заполненная кислотой трубка откачивается до давления 0,1 мм рт. ст. При этом давлении дают кислоте в течение пяти минут кипеть, после чего ее охлаждают. Стеклообразные шлифы смазываются вазелином, так как смазки, содержащие резину, медленно разлагаются.

Палкин и Нельсон [15] также описывают чувствительный вакуостат. Их прибор состоит из двух систем пониженного давления: регулируемой системы и системы, давление в которой ниже, чем в регулируемой, на 4—30 мм рт. ст. В этом простом устройстве колебания давления оказываются малыми. Они также применяют U-образную трубку, заполненную серной кислотой.

Якобс [16] описывает устройство, в котором при включении контакта в заполненной серной кислотой U-образной трубке магнит, соединенный с резиновой трубкой, поднимается и открывает конец узкой трубки, соединяющейся с вакуумным насосом. Колебания давления не превышают $\pm 0,015$ мм рт. ст.

Гильмонт и Отмер [17] с помощью установки, представленной на рис. II,53, поддерживают постоянство давления при малых его значениях с точностью примерно до 2 мм рт. ст.; при атмосферном давлении — с точностью около 5 мм рт. ст. При достижении требуемого пониженного давления в системе уровень ртути в запасном сосуде устанавливается так, что ее поверхность касается оттянутого кончика стеклянной трубки. При повышении давления в системе уровень ртути понижается и через оттянутый конец стеклянной трубки газ начинает высасываться. Увлеченная потоком газа ртуть стекает через вторую стеклянную трубку.

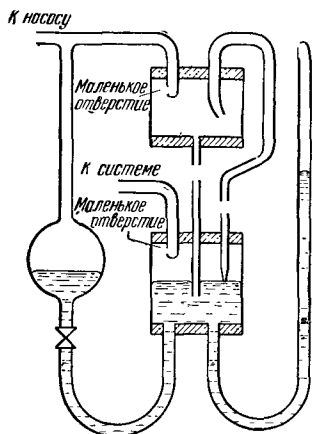


Рис. II,53. Регулятор низкого давления по Гильмонту и Отмеру.

стинка *G* диаметром 10 мм (рис. II, 54); пластинка *G* при повышении давления закрывается ртутью. Разность давлений между сосудами не должна превышать 100 мм рт. ст., так как при большем перепаде давления ртуть будет продавливаться через стеклянную пластинку. Если давление, измеряемое U-образной трубкой в регулируемом сосуде, превысит заданное значение, то срабатывает тиратрон, и через катушку *S* начинает протекать ток. При этом стеклянный стержень с вставленным в него куском железа *Fe* втягивается в катушку, а ртуть, закрывающая стеклянную пластинку, стекает. Рекомендуется через некоторое отверстие в регулируемом сосуде постоянно медленно впускать воздух так, чтобы регулирующее устройство действовало непрерывно.

Клау и Шэнд [19] применяют очень точно пригнанный, безжировый шарообразный вентиль, с весьма незначительной утечкой газа. Надо указать также на устройства Эмерсона и Вудварда [20] и Колдуэлла и Бархэма [21].

Хернинг [22] применяет для смешивающей ячейки индикатор, который состоит из U-образной трубки, заполненной октойлом¹⁾;

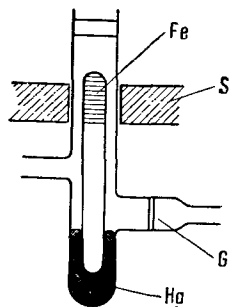


Рис. II,54. Регулятор низкого давления по Томпа со стеклянной пластинкой.

¹⁾ Синтетическое органическое масло, предложенное Хикманом в 1936 г. в качестве заменителя ртути в диффузионных насосах. — Прим. ред.

она служит цилиндрической линзой, проецирующей свет на фотоэлемент. В длинном стеклянном капилляре натянута нагреваемая током нихромовая спираль. Изменение температуры спирали меняет вязкость газа; таким путем регулируется скорость прохождения газа через капилляр.

Дэвис и Розен [23] при измерении скорости реакции компенсируют отклонения давления в реакторе посредством изменения уровня жидкости (силиконовое масло). Это достигается изменением объема погруженного в жидкость металлического стержня.

Регуляторы давления, соединенные с весами или рычагом, описывают Дзелин [24], Байлей [25] и Ширхольц [26].

Основанный на принципе картезианского водолаза регулятор для вакуостатов применяется при вакуумной дистилляции в интер-

вале от нескольких мм рт. ст. до 1 атм [27]. Прибор состоит из стеклянного сосуда с круглым дном (рис. II,55), частично заполненного ртутью. Количество ртути должно быть таким, чтобы резиновая шайба, укрепленная на плавающем колоколе, при одинаковом давлении внутри и снаружи его касалась конца верхней стеклянной трубки, введенной внутрь прибора через резиновую трубку и соединенной с вакуумным насосом. Центральное положение колокола и его движения регулируются небольшими штифтиками. Прибор снабжен вакуумметром; боковой отросток и вторая (вертикальная) трубка с краном также соединяют прибор с вакуумным насосом.

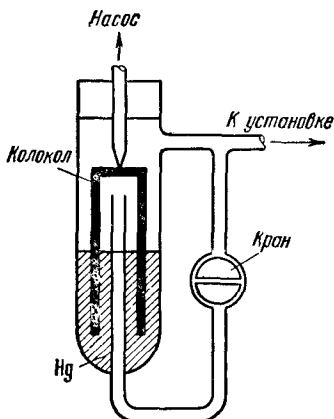


Рис. II,55. Регулятор для вакуостатов.

Сначала откачивают прибор при открытом кране регулятора до желаемого давления, определяя его по манометру. Как только это достигнуто, второй соединительный трубопровод и кран закрывают. Если теперь в испытуемой аппаратуре наступает повышение давления, то колокол начинает перемещаться вниз, вследствие чего аппаратура соединяется с вакуумным насосом. Как только снова достигнуто установленное вначале давление, аппаратура отключается от насоса движением колокола вверх. Для того чтобы регулятор работал безупречно, необходима достаточно большая производительность применяемого насоса.

Манометр Мак-Леода применялся в качестве регулирующего прибора для вакуостатов в интервале от 1 до 0,001 мм рт. ст. [28]. Конденсирующиеся газы не допускались к манометру Мак-Леода при помощи охлаждающих ловушек, помещавшихся в сосуде Дьюара, наполненном жидким азотом. Применялся укороченный манометр Мак-Леода, в измерительные капилляры и в подъемную трубку которого были внапны вольфрамовые контакты; они были частью соответствующего электрического устройства, которое по требованию открывало и закрывало вентиль между вакуумным резервуаром и вакуумным насосом. Посредством контактов в вакуумметре

регулирувалось также поднимание и опускание ртути при изменении давления. Такое устройство позволяло измерять давление в течение одной минуты. Максимальные колебания давления при давлении в 0,001 мм рт. ст. составляли 0,0001 этой величины.

Вакуумметр Пирани [29], основанный на теплопроводности газов, также применяется в качестве измерительного и регулирующего прибора для автоматического поддержания постоянства давления. Сопротивление раскаленной проволочки определяется на автоматическом мостике Уитстона, причем вакуумметр охлаждается в сосуде Дьюара, наполненном сухим льдом и ацетоном. Прибор работает на постоянном токе. Алюминиевый листочек, находящийся на скользящем контакте, действует на электрический колебательный контур, который через реле включает мотор масляного вакуумного насоса, если сопротивление вакуумметра Пирани падает, т. е. если давление в исследуемом объеме возрастает. Насос выключается, как только восстанавливается сопротивление, установленное на мостике Уитстона. Эта установка проверяется манометром Мак-Леода с тем, чтобы установить зависимость между давлением, сопротивлением и положением скользящих контактов.

Пользуясь вакууметром Пирани, можно применять при отчетах изменений давления гальванометр с особым контактом, состоящим из двух перекрещенных платиновых проволочек. Этот контакт автоматически замыкает или размыкает цепь мотора насоса [30]. Слабый ток, проходящий через этот контакт, возбуждает при помощи усилителя и реле электромагнит, который, действуя на железный стерженец, изменяет уровень ртути в U-образной трубке. В результате этого устанавливается капиллярное соединение резервуара, в котором поддерживается постоянное давление, со вторым резервуаром, который предварительно откачивается до более низкого давления [31].

§ 3. Влажность и температура (климостаты)

Климостат в широком смысле слова предназначен для создания различных климатических условий в помещениях; это необходимо для исследования поведения организмов, приборов и материалов при изменении давления, температуры и влажности воздуха, солнечной радиации и т. д. [32].

А) Влажность воздуха можно изменять, пользуясь водными растворами с давлением водяных паров, соответствующим желаемому влажностному содержанию. Во избежание неравномерного распределения влажности необходимо при этом обеспечить соответствующую циркуляцию воздуха. В качестве водных растворов применяются растворы H_2SO_4 или насыщенные соляные растворы [33], см. табл. II, 8. Относительная влажность при применении растворов H_2SO_4 лишь незначительно зависит от температуры.

Б) Вторым способом получения определенной влажности в воздухе является смешивание при циркуляции двух воздушных потоков различной влажности (желательно с крайними значениями влажности 0 и 100%). Этот метод пригоден как для больших, так и для малых помещений, применим для самых различных температур и давлений воздуха [34]

Влажность в процентах над:

а) водными растворами H_2SO_4 при $20^\circ C$:

H_2SO_4 , %	80	70	60	50	40	30	20	10	0
Влажность, %	2	5	17	35	56	75	87	97	100

б) насыщенными растворами некоторых солей при $20^\circ C$:

Соль	$CaCl_2$	$Ca(NO_3)_2$	$NaCl$	KCl	HPO_3
Влажность, %	35	54	75	85	10

(рис. II,56). В этом методе принципиально представляется возможным облучение ультрафиолетовыми лучами [35].

В) О с у ш е н и е [36] помещения (или газового потока) лучше всего происходит под действием пятиоксида фосфора (P_2O_5 , безводная фосфорная кислота, фосфорный ангидрид). Это вещество является

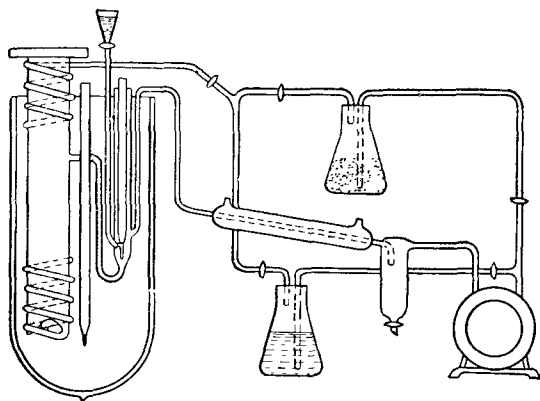


Рис. II,56. Лабораторный климостат.

сильнейшим осушающим средством. Газ, пропущенный со скоростью 2 л/час над 25 см^2 P_2O_5 в осушителе, содержал менее 1 мг воды на 40 000 л. Пятиокись фосфора P_2O_5 не теряет своих осушающих свойств, даже если она выглядит уже совсем влажной. Она не должна содержать низших окислов и не должна образовывать при рассыпании коричнево-красных комочков. (Ее можно очистить, поместив в накалившую фарфоровую чашечку и подвергая действию потока кислорода при постоянном перемешивании.)

Наполнение осушителя порошком P_2O_5 должно происходить возможно быстрее, так как порошок очень скоро начинает прилипать. Для этого готовят бумажную подстилку, воронку из

листочка бумаги или пластика и палочку для проталкивания порошка через горлышко воронки. Последние следует подогреть, чтобы устранить в них окклюдированную водяную пленку. Так как P_2O_5 при растворении в воде сильно нагревается, то следует соблюдать известную осторожность, очищая резервуары (поглотители) от остатков P_2O_5 . Лучше всего вливать в них по каплям спирт с тем, чтобы подводить воду в достаточно разбавленном состоянии. Для осушения различных продуктов можно применять вакуум [37] или инфракрасные лучи [38], токи высокой частоты [39], а также камерные, вагонные, туннельные и конвейерные сушилки [40].

Г) Газы насыщаются парами жидкости путем пропускания их в виде пузырей через соответствующую жидкость, или методом центрифугирования [41].

Д) Индифферентная (инертная) атмосфера. В парах ртути при атмосферном давлении вольфрам можно накаливать до $2400^\circ C$, а восприимчивый к водороду тантал — до еще более высокой температуры [42].

Благородные газы образуют инертные атмосферы. Так как материалы в большинстве случаев испаряются в высоком вакууме, то рекомендуется вместо откачки применять инертную атмосферу таких газов (например, гелия) при давлении 70 мм рт. ст. [43].

§ 4. Электрическое напряжение (стабилизаторы)

Пользуясь измерительными приборами, подключенными к электросети, необходимо поддерживать возможно более постоянным ее выходное напряжение, несмотря на колебания напряжения в сети и изменения в потребляемом токе. Это достигается применением так называемых стабилизаторов.

А) Простейший известный метод стабилизации и напряжений основан на применении последовательного соединения лампы тлеющего разряда и сопротивления. Наиболее употребительный вариант такого стабилизатора состоит из нескольких включенных последовательно участков тлеющего разряда, которые монтированы в одной общей стеклянной колбе. Стабилизация напряжения происходит за счет особого свойства ламп тлеющего разряда, заключающегося в том, что возникающее падение напряжения в некоторых определенных границах не изменяет силы проходящего через эти лампы тока. Главный недостаток стабилизаторов напряжения с тлеющими участками заключается в том, что потребитель может снимать напряжение только скачками, каждый в 70 в.

Б) Устранить этот недостаток и получить устойчивое регулируемое напряжение можно, применяя схемы с электронными лампами. В качестве примера на рис. II, 57а приведена схема включения, предложенная Л. Брюкком [44]. В качестве регулирующей лампы в контур тока потребителя включен триод, представляющий собой переменное сопротивление. Стабилизатор, включенный в катодную цепь пентода, обеспечивает опорное напряжение. Если, вследствие колебания выходного напряжения, падение напряжения на R_4 будет несколько отличаться от этого опорного напряжения, то тогда меняется напряжение на сетке пентода; это изменяет анодный ток и падение напряжения на R_4 , которое

управляет регулирующей лампой. Типы ламп и схемы включения, применяемые в таких стабилизаторах, должны соответствовать мощности приборов. В качестве R_a применяются сопротивления примерно от 100 до 200 ком. Делитель напряжения от R_3 до R_4 можно составить из трех сопротивлений, из которых одно является переменным. Расчет сопротивлений R_1 — R_4 приведен в вышеупомянутой работе [44].

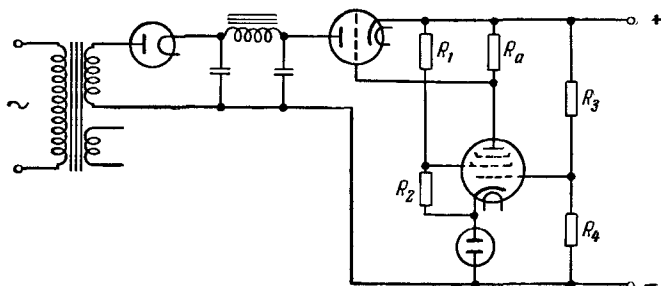


Рис. II,57а. Схема электронного стабилизатора напряжения.

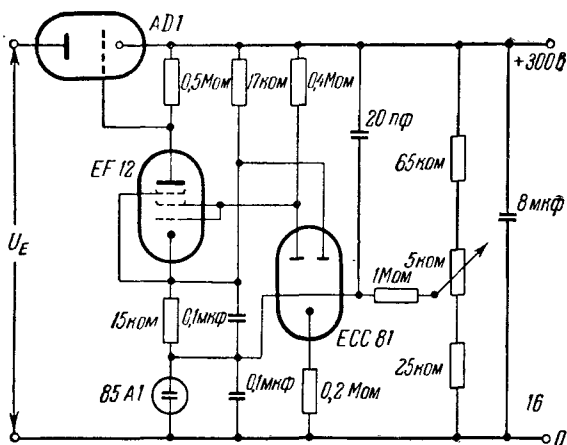


Рис. II,57б. Схема дифференциального усилителя постоянного тока.

Улучшить регулирующие свойства приблизительно в десять раз можно, применяя усиление. В качестве усилителя постоянного тока пригоден так называемый дифференциальный усилитель. Схема такого усилителя с двойным триодом ECC81, заимствованная из работы Дейка [45], дана на рис. II,57б. Цепь питания на схеме не изображена.

Другие методы и схемы включения стабилизаторов, в особенности для специальных случаев, описаны в литературе [46].

§ 5. Температура (термостаты)

При различных исследованиях, если необходимо поддерживать постоянную температуру, обычно применяются термостаты. Здесь указываются некоторые приборы такого рода, которыми очень часто с успехом можно пользоваться в лабораториях. Отчасти описываются также приборы, которые были разработаны для специальных целей.

А) Температуры выше 0° С

В этом случае для получения постоянных температур применяются кипящие жидкости и их пары, что позволяет поддерживать (при атмосферном давлении) определенную температуру. Применяют ацетон (56° С), воду (100° С), анилин (189° С), нафталин (218° С), бензофенон (306° С) и серу (445° С)¹⁾.

На рис. II,58 изображен прибор с кипящей водой для получения температуры 100° С. В медном котле *K* находится чистая вода, которая доводится до кипения электронагревателем *H*. Пар проходит через прибор в направлении, указанном стрелками, и конденсируется в холодильнике *L*, откуда вода вновь возвращается обратно в нагреватель *K*. Через отверстия в крышке прибора *D* исследуемый объект (например, термометр) можно вводить в объем *I*, в котором устанавливается постоянная температура. Небольшой водяной манометр *M* позволяет определять избыток давления в объеме *I* по сравнению с давлением в окружающем воздухе *A*; это необходимо для точного расчета температуры в объеме *I*. Одновременно ртутным барометром измеряют барометрическое давление.

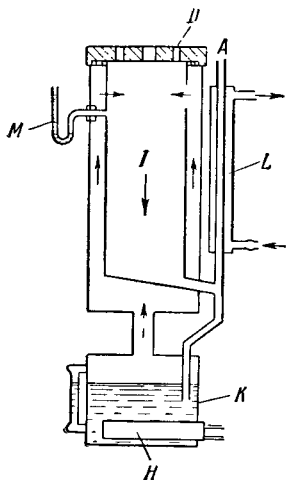


Рис. II,58. Термостат на 100° С.

Прибор с кипящей водой, построенный в Германии в Физико-техническом институте, еще не получил широкого распространения [47].

Бани для различных температурных интервалов.

В качестве жидкостей для бань рекомендуются керосин, парафиновое масло до 40° С, вода [48] до ~95° С, пальмин до 250° С, вязкие масла до 350° С, смесь 25% дифенила с 75% дифенилоксида до 235° С, селитра (85 г $\text{NaNO}_3 + 101$ г KNO_3) от 220 до 630° С, хлористый барий и хлористый натрий (в соотношении 7:2) между 600 и 1400° С. Жидкие силиконы [49] применяются в интервале температур от -30 до +440° С.

При наполнении термостатов жидкостью необходимо иметь в виду, что жидкость при увеличении температуры расширяется. В банях поэтому предусматривают предохранительный сток.

¹⁾ Девятая Международная генеральная конференция по мерам и весам 1954 г. для точки кипения серы при нормальном давлении приняла значение 444,600° С (точно). — Прим. ред.

а) *Нагревание.* Нагревание бани в большинстве случаев осуществляется электрическим током. Целесообразно электрически изолированный подогреватель помещать внутри ванны. В связи с тем, что температурные бани должны иметь возможно меньшие колебания температуры, нагревающее тело должно иметь возможно большую поверхность и меньшую теплоемкость, чтобы тепло быстрее передавалось жидкости. Для этой цели хорошо приспособлены продажные кипятильники, опускаемые в жидкость. Для более высоких температур или очень глубоких ванн с успехом используют беккеровские трубки. В селитровых банях нагреватель следует помещать снаружи, так как расплавленная селитра под действием капиллярных сил поднимается очень высоко и может перелиться через край ванны. Поэтому в них нагреватель заключают в защитный кожух из листового железа, приваренный к верхнему борту бани. Для нагревания бань с электропроводными (расплавленными) солями (например, для закалки сталей) применяются плоские электроды и переменный ток низкого напряжения.

Необходимо заботиться о хорошей теплоизоляции бань снаружи, чтобы обеспечить возможно меньшие потери тепла.

Воздушные бани малоупотребительны. Термостаты подобного рода применяются для поддержания постоянной температуры кварца в кварцевых часах [50]. Воздушные бани применяются также в промышленности при отпуске сталей. В таких случаях, однако, обеспечивается не очень постоянная температура. Небольшой вентилятор внутри установки обеспечивает необходимую циркуляцию воздуха.

б) *Циркуляция.* Жидкостные бани требуют интенсивного перемешивания жидкости. При этом необходимо следить, чтобы жидкость по возможности быстро проходила мимо нагревающего тела во избежание ее местного перегрева, который может неблагоприятно повлиять на постоянство температуры в бане. Кроме того, измерительные приборы следует располагать возможно дальше от источника тепла. Для жидкостных бань доказали свою целесообразность мешалки вида [51], показанного на рис. II,59, которые применялись в термостатах. Мешалка в виде турбинки перегоняет подогретую жидкость кверху внутрь объема, который служит для помещения в него исследуемой аппаратуры. Через боковое (сливное) отверстие жидкость снова попадает в отделение ванны, где находится нагреватель, и снова подогревается [52].

в) *Регулирование температуры.* Применяется обычно автоматическое регулирование температуры, так как при регулировании вручную трудно поддерживать температуру на постоянном уровне. В настоящее время в термостатах применяется почти исключительно электрический подогрев, поэтому можно не описывать регулирования термостатов, нагреваемых газом. В электрических подогревателях рекомендуется предусматривать две секции, основную и дополнительную; последняя берет только часть энергии;

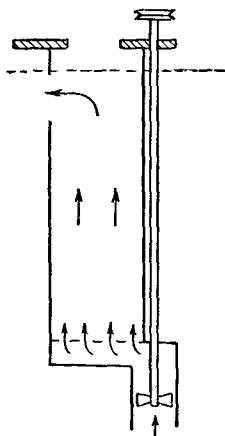


Рис. II.59. Мешалка.

идущей на нагревание, и служит для поддержания постоянства температуры, для чего эта секция автоматически включается и выключается.

Применяются следующие типы автоматического регулирования термостатов: 1) непрерывное, 2) прерывистое, 3) «включено-выключено», 4) «включено-выключено» с обратной связью.

Простое регулирование возможно с помощью устанавливаемых регуляторов мощности, которые работают с биметаллической пластинкой или с реле газового давления [53]. Колебания напряжения сети сглаживаются. Так как при регулировании нагревания по методу «включено-выключено» температура не измеряется, то для ее измерения в термостате надо предусмотреть специальное устройство. Для каждого термостата необходимо особо установить связь между положением ручки регулятора мощности нагрева и температурой.

При подобном методе регулирования в цепь термостата обычно не включают сопротивлений, пользуясь полной мощностью нагревателя.

Регуляторы температуры для электронагревательных приборов часто снабжаются биметаллической пластинкой в качестве измерительного элемента [54].

Известно несколько типов регуляторов температуры, в которых применяется тепловое расширение жидких и твердых тел. К первым относятся известные жидкостные пружинные термометры, снабженные для регулирования контактными устройствами. Вместо упругой пружины могут применяться эластичные камеры

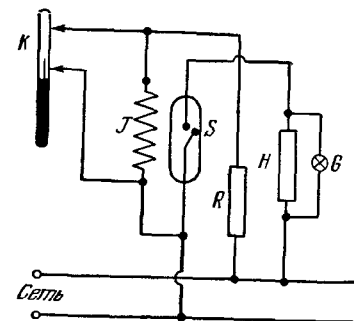


Рис. II.60. Термореле. *H* — нагреватель, *G* — неоновая лампа, *S* — контакт, *J* — катушка индуктивности, *K* — контактный термометр, *R* — сопротивление.

расширения [55], служащие резервуарами давления. Надо упомянуть также и термометр с упругой пружиной и эластичным измерительным элементом [56]. Для поддержания постоянства температуры часто применяются термометры с удлиняющимися стержнями [57]. Стержень и трубка, в которую он вставлен, изготовлены из материалов с различными коэффициентами линейного расширения. Обусловленное температурой изменение длины стержня в большинстве случаев поворачивает ртутный контакт, который при этом замыкает цепь тока нагревателя. В таких терморегуляторах специальное устройство позволяет устанавливать стержни в любой рабочей точке. Терморегуляторы со стержневыми индикаторами температуры известны как с механической [58], так и с электрической [59] обратной связью.

Ртутные термометры широко применяются в термостатах как температурные зонды. Для регулирования пользуются методом «включено-выключено», как, например, в известном жидкостном термостате Гёшлера. Если температура достигает заданного значения, то нагревание выключается при помощи реле. Схема включения дана на рис. II.60. Контактный термометр вновь включает нагревание, как только показание температуры станет ниже задан-

ного значения. В этой схеме через контактный ртутный термометр течет небольшой ток. Еще меньше этот ток в схеме с триодом или, еще лучше, тиратроном (рис. II,61). Срок службы такой установки значительно больше. Вместо ртутного термометра Ёгарао и Папа [60] применяют толуолортутный термометр, к которому присоединено распределительное устройство с электронным управлением. С помощью этой установки оказалось возможным поддерживать температуру водяной ванны с точностью $\pm 0,005^\circ \text{C}$. Вследствие плохой теплопроводности стекла Стокс [61] применял металлический толуолортутный термометр. Эта установка поддерживала температуру 25°C с точностью $\pm 0,002^\circ \text{C}$. Другие простые электронные реле для термостатов описаны в литературе [62].

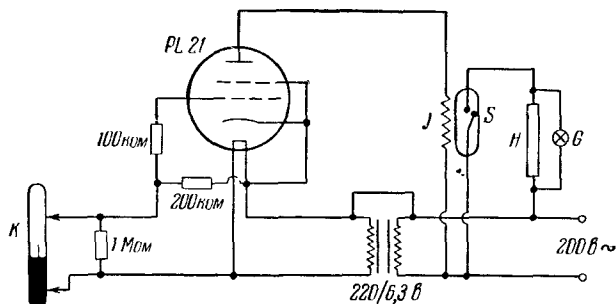


Рис. II,61. Терморегулятор с тиратроном. Обозначения см. в подписи к рис. II,60.

Термометры сопротивления часто применяются в термостатах. В установке непрерывного регулирования [65] термометр сопротивления включается в схему мостика Уитстона, который устанавливается на заданную величину сопротивления. При отклонении от этой величины (понижение температуры) ток в цепи гальванометра усиливается при помощи лампы и служит для дополнительного нагревания. Кристи [64] для автоматического регулирования температуры электрической печи применяет платиновый термометр сопротивления (40 ом при комнатной температуре), включенный в одно из плеч мостика Уитстона. В установке применены усилитель, тиратрон и дроссельная катушка. При обычном напряжении сети температура сохраняется постоянной в течение нескольких часов с точностью до $\pm 0,2^\circ \text{C}$ и в течение нескольких дней — с точностью до $\pm 0,5^\circ \text{C}$.

Для регулирования температуры в 500-литровой водяной ванне Хатчинсон, Пульсфорд и Уайт применяли медный термометр сопротивления (2000 ом). Ванна находилась в помещении, температура которого поддерживалась постоянной с точностью $\pm 0,05^\circ \text{C}$. За 14 суток отмеченные колебания температуры ванны не превышали $\pm 0,001^\circ \text{C}$.

Для очень точного определения плотности ртути Вильсон и Стоун [66] построили 30-литровый термостат с парафиновым маслом. При интенсивном перемешивании масла отклонения температуры, измеряемой платиновым термометром сопротивления, в

течение нескольких часов не превышали $\pm 0,001^\circ\text{C}$. В качестве измерительного элемента служила катушка из медной проволоки, включенная в мостик Уитстона, питаемый переменным током и соединенный с фазочувствительной лампой. Температура ванны примерно на $1,5^\circ\text{C}$ превышала комнатную. Последняя колебалась в пределах $\pm 0,3^\circ\text{C}$.

В термостате для медицинских целей, предназначавшемся для температурного интервала $34-42^\circ\text{C}$ [67], был применен также термометр сопротивления; он был включен в мостиковую схему в катодной цепи четырехкаскадного регенеративного усилителя.

Включение осуществлялось тиратроном.

Платиновый термометр сопротивления W (рис. II,62) в мостовой схеме применялся Мозером [68] в пальминовом термостате, в котором температура 100°C поддерживалась постоянной с точностью до $0,001^\circ\text{C}$. Дополнительное подогревание (лента накаливания в термостате) составляет около 8% общего подогрева. Мост расстраивается посредством высокоомного дополнительного сопротивления Z , параллельного ветви моста W' . Световой луч от гальванометра падает через линзу B на селеновый фотозлемент S . Если луч попадает на линзу, то дополнительное сопротивление Z и дополнительный подогрев через R_1 и R_2 отключаются. Среднее положение, вокруг которого колеблется зайчик гальванометра, изменяется с температурой ванны так, что при по-

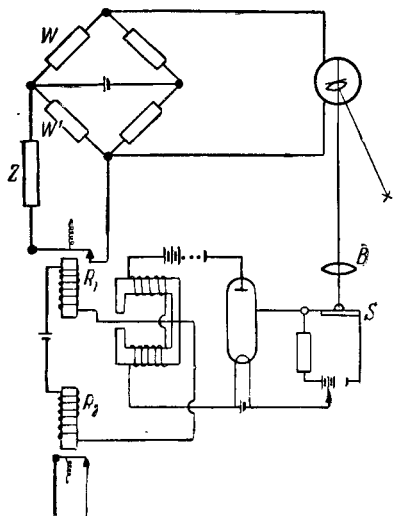


Рис. II,62. Регулирование переключения (схема).

вышении температуры через дополнительный подогреватель посылаются более короткие импульсы тока. В состоянии равновесия дополнительный подогреватель работает достаточно длительное время для того, чтобы сообщать необходимую тепловую энергию для поддержания определенной температуры.

В качестве пополнителя тепла часто применяются термоэлементы в соединении с жесткими или эластичными обратными связями. Следует указать на имеющиеся в продаже регуляторы с падающей дужкой в соединении с термометром сопротивления, а также на программные регуляторы, с помощью которых можно обеспечить заданное изменение температуры во времени.

Полупроводники в настоящее время часто применяются как индикаторы при терморегулировании. Крецман [67] для интервала температур $90-200^\circ\text{C}$ применяет NTC-сопротивление. Для регулирования температуры жидких ванн в интервале от 15 до 75°C Нолтинк и Снеллинг [69] применяют полупроводниковое сопротив-

ление с большим температурным коэффициентом (термистор), включенное в мостик Уитстона, питаемый переменным током. Колебания температуры заключены в пределах $\pm 0,02^\circ \text{C}$. Применяются также транзисторы с температурной компенсацией [70].

Широкое применение для регулирования температуры с большой точностью нашли термисторы [71]. Они применяются в тех случаях, когда точность и, главным образом, чувствительность контактных термометров становятся недостаточными.

Пользуясь в качестве элемента обратной связи термистором с косвенным нагревом, Джемс [72] добился постоянства температуры в диапазоне $500-800^\circ \text{C}$ с точностью $1/4^\circ \text{C}$ в течение нескольких часов.

В быстродействующих термостатах с электронным управлением [73] в качестве термостатной жидкости применяется сильно разбавленный раствор CuSO_4 , непосредственно нагревающийся при прохождении переменного тока благодаря высокому сопротивлению. Концентрацию раствора берут менее 1%. Преимуществом этого термостата является короткое время нагревания. Для регулирования температуры служат контактный термометр и электронное реле. При достижении на контактном термометре установленной температуры целесообразно, чтобы только часть жидкости оставалась в межэлектродном пространстве нагревателя и чтобы только через эту часть передавалось тепло остальной жидкости. В этом случае следует предусмотреть возможность для обратного перехода жидкости. Так как при регулировании температуры ток включается лишь на короткие промежутки времени, то затрата электроэнергии значительно уменьшается. Температура при 50°C остается постоянной с точностью до $0,02^\circ \text{C}$. Термостаты такого типа требуют для нагревания значительно меньше времени по сравнению с термостатами обычного типа, в которых нагреватель вводится внутрь жидкости. Вместо CuSO_4 можно применять поваренную соль [74]. Другие виды циркуляционных термостатов описаны в литературе [75].

Цельнометаллические термостаты изготавливаются из Cu , Al , Ni , никромовой стали, алюминиевой бронзы [76] (10% Al , 90% Cu). Применяют следующие материалы (табл. II,9):

Таблица II,9

Материал	Область применения	Температура плавления
Cu Al Ni Cr-Ni-сталь Al-бронза	500°C и выше до 500°C до 800°C до 1000°C до 700°C в длит. эксплуатации до 800°C кратковременно	Cu чист. 1083°C Al чист. 660°C Ni чист. 1455°C 1050°C

В связи с тем, что при высоких температурах медь быстро покрывается окалиной, она мало пригодна для этих целей. От этого недостатка совершенно свободна алюминиевая бронза.

В качестве материала для термостатов никель более пригоден, чем нихромовая сталь, так как он обладает большой теплопроводностью.

Ввиду того, что витки нагревательной спирали при быстром нагревании могут иметь значительно более высокую температуру, чем металлический блок, необходимо, в особенности в случае алюминия, вблизи верхней границы интервала повышать температуру весьма медленно и осторожно во избежание расплавления блока.

Печи следует делать возможно большей длины для достижения постоянной температуры на достаточной длинном участке. Из этих же соображений обмотку на концах печи необходимо наматывать плотнее.

Термометры сопротивления или термопары можно применять для контроля температуры при ее регулировке в схеме с обратной связью. Отверстия для них следует располагать вблизи нагревательной обмотки, чтобы уменьшить колебания температуры внутри блока, а вместе с тем — и в главном канале. Прибор для быстрого определения температуры плавления органических веществ до температуры примерно 260°C при расходе электроэнергии, не превышающем 150 *вт*, описывают Л. Кофлер и В. Кофлер [77].

Б) Температура 0°C

Можно применять продажные блоки льда, которые перед употреблением необходимо промыть дистиллированной водой для удаления загрязнений. Затем лед разбивается на мелкие куски и, если это необходимо, промывается еще раз. В дьюаре лед во избежание переохлаждения смешивают с дистиллированной водой; обе фазы должны находиться в равновесии. Точки плавления этого льда, вследствие возможных загрязнений растворенными солями, могут лежать ниже 0°C вплоть до $0,1^{\circ}\text{C}$ [78]. Для точных измерений рекомендуется лед получать непосредственно из дистиллированной воды.

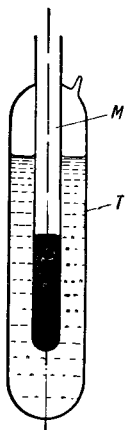


Рис. П.63. Сосуд для работы в тройной точке.

Температура тройной точки [78] воды равна $+0,010^{\circ}\text{C}$). Сосуды для работы в тройной точке изготавливаются из твердого стекла (пирекс) или из кварцевого стекла. Сосуд *T* (рис. П.63) представляет собой цилиндрическую трубку длиной около 30 *см* и диаметром 6 *см*. В нее впаивается стеклянная трубка *M*, в которую вводится контрольный измерительный прибор (например, платиновый термометр сопротивления); для более быстрой передачи тепла к контрольному прибору трубка *M* частично заполняется ртутью. Сосуды очищают насыщенным раствором хромовой смеси, споласкивают водопроводной, а затем дистиллированной водой и в течение нескольких часов очищают водяным паром. При заплывании нижнего

¹⁾ Международная генеральная конференция по мерам и весам 1954 г. присвоила тройной точке воды значение $0,0100^{\circ}\text{C}$ (точно). — *Прим. ред.*

конца широкой трубки на пути воздуха, выдыхаемого стеклодувом, необходимо поставить тонкую резиновую мембрану, чтобы предохранить очищенные стенки трубок от возможных загрязнений. После этого в пространстве между трубками конденсируется водяной пар, который получают из дистиллированной воды, предварительно весьма тщательно очищенной. Когда сосуд почти полностью заполнен водой, его откачивают ротационным масляным насосом (газобалластным насосом с промежуточным включением охлаждаемых сосудов). Для удаления воздуха из воды и из всех полостей сосуда его нагревают в светящемся пламени горелки Бунзена до тех пор, пока при работающем масляном насосе вода в пространстве между трубками не начинает кипеть. Нагревание продолжают, пока уровень воды не опустится примерно на 10 мм. Затем сосуд отпаявают от насоса и помещают в смесь из льда и поваренной соли, температура которой около -20°C . Помещающая в трубку *M* ртутный термометр, наблюдают охлаждение воды в сосуде *T*. После того как охлаждение воды достигает $5-10^{\circ}\text{C}$, легко образуется твердая фаза, равномерно распределенная по всему объему, и одновременно система нагревается до тройной точки. Помещающая сосуд в дьюаровский сосуд с тающим льдом, можно поддерживать температуру в трубке *M* постоянной в течение нескольких часов.

В) Температуры ниже 0°C

Холодильные смеси, например 31 г поваренной соли со 100 г льда ($-21,2^{\circ}\text{C}$) или 143 г хлористого кальция со 100 г льда (-55°C), применимы только при простых опытах. Известный сухой лед (твердая углекислота) при атмосферном давлении имеет температуру $-78,5^{\circ}\text{C}$. Измельченный лед или снег смешивают с таким количеством спирта, чтобы образовалась кашеобразная масса. Содержащийся в ней воздух может способствовать излишнему понижению температуры. Это можно предотвратить, если удалить лишний воздух непродолжительным нагреванием смеси проволочной спиралью. Небольшие количества сухого льда можно получить, наливая жидкую углекислоту, находящуюся в стальной бомбе, в мешок из крепкого материала, привязанный к вентилю бомбы. (Вентиль опускают книзу, если внутри бомбы нет трубки, идущей от вентиля к ее дну.)

Из жидкостей, кипящих при пониженном давлении, пригодны для термостатов [79]: аммиак в интервале температур от -43 до -80°C , метилхлорид от -34 до -80°C , закись азота от -90 до -102°C , этилен от -104 до -160°C , метан от -161 до -183°C , кислород при -183°C .

Для установления постоянной температуры в термостатах целесообразно поддерживать поверхность жидкости на одном уровне. Это можно осуществить, применяя для регулирования уровня газовый термометр и одновременно пользуясь им для измерения температуры [79а].

Низкие температуры легко устанавливаются при помощи следующих устройств. В дьюаровский сосуд *G* (рис. 11,64) налито немного жидкого воздуха. В него опущена медная лопатка *F*, соединенная с сосудом *O*, наполненным охлаждающей жидкостью *K*. Мешалка *B* обеспечивает равномерность распределения температуры

в ванне. Целесообразно при помощи специального устройства поддерживать уровень жидкого воздуха в дьюаровском сосуде постоянным.

Простая установка [80], в которой для охлаждения применяется испаряющийся жидкий воздух или кислород, изображена на рис. II,65. В сосуде Дьюара, наполненном жидким воздухом или жидким кислородом, установлены фарфоровая трубка *P*, в которой помещаются турбинная мешалка *T* и U-образная трубка *U*. В последней испаряется оживаемый газ, который по

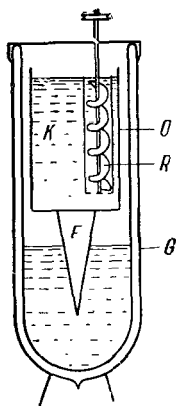


Рис. II,64. Простой криостат.

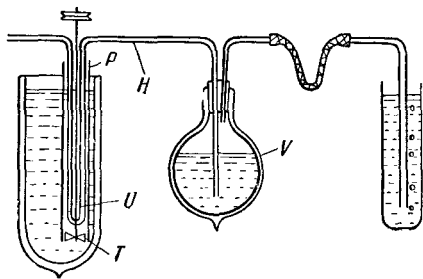


Рис. II,65. Регулятор подачи жидкого воздуха.

каплям подается из резервуара *V* по трубке *H* под действием небольшой разности давлений. Эта разность давлений создается тем, что газ, образующийся в резервуаре *V*, отводится через водяной столб, высоту которого можно изменять.

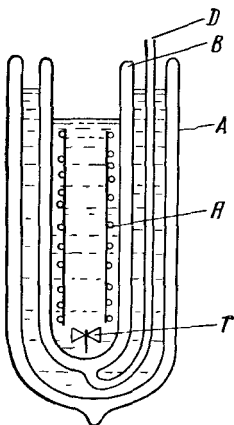


Рис. II,66. Термостат для низких температур.

На термостаты с циркулирующей жидкостью в соединении с холодильной машиной указывается в работе [81], в [82] указывается на термостаты для температур в интервале от $+40$ до -70°C . Если требуется очень большое постоянство температур, в пределах от $0,001$ до $0,002^{\circ}\text{C}$, то можно применять прибор [83], изображенный на рис. II,66. В сосуд Дьюара *B* с отводной трубкой *D* наливают приготовленную для бани жидкость, в которую опускают мешалку *T* и электронагреватель *H*. Этот сосуд помещен в просторный сосуд Дьюара *A*, наполненный охлаждающей жидкостью. Пространство между стенками сосуда *B* можно через трубку *D* наполнять газом, например водородом, под любым давлением. При этом в жидкости, наполняющей сосуд Дьюара,

может возникнуть небольшой перепад температур, который снова выравнивается легким регулируемым нагревом. Для достижения

заданного постоянства температур уровень охлаждающей жидкости в резервуаре должен быть достаточно высок. Это может быть обеспечено соответствующим регулированием [84].

В двух термостатах [85] для температурных интервалов от -40 до -70°C (жидкостный термостат с охлаждением сухим льдом) и от -70 до -150°C (металлический термостат с применением жидкого азота) регулирование осуществляется термоэлементами, играющими одновременно роль датчиков температуры. Напряжения на термоэлементах сравнивается с их номинальным напряжением при заданной температуре. В зависимости от величины отклонения от номинала, усиленного фотоумножителем и электронной схемой, устанавливается значение тока нагревателя. Стабильность температуры поддерживается с точностью до $0,01^{\circ}\text{C}$.

Металлический термостат применяется для любой заданной температуры в интервале между -185 и -223°C [86] или между -195 и 0°C [87]. Последний из указанных термостатов (рис. II, 67) состоит из большого медного блока C , который имеет широкое отверстие A , куда помещается исследуемое тело, и пять отверстий B , где расположен нагреватель H . Медный блок заключен в латунный цилиндр M , никелированный изнутри и припаянный по верхнему краю E . Таким образом создается промежуточное пространство Z шириной примерно в 5 мм , которое может быть либо заполнено водородом при различном давлении, либо откачано до состояния высокого вакуума. Термостат сначала охлаждали до температуры -183 или -195°C . Для достижения более высоких температур полость Z откачивалась до состояния высокого вакуума, сосуд Дьюара D опускался, а блок подвергался сильному электронагреву. Если термометр сопротивления Pt_1 показывал желаемую температуру, то D поднимали настолько высоко, чтобы медный блок C без нагревания несколько охлаждался. Небольшим нагреванием достигалось постоянство температуры, которая контролировалась платиновым термометром сопротивления Pt_2 . Таким приемом достигалось постоянство температуры в пределах нескольких сотых градуса.

Прочие термостаты и криостаты, в особенности для целей измерения температуры, см. в монографии Хепнинга [47], Эберта [79], а также в разделе «Низкие температуры».

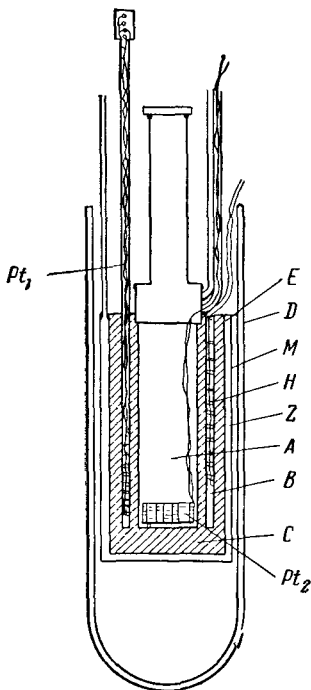


Рис. II, 67. Металлический термостат.

ГЛАВА XII

МЕТОД ТЕПЛЕРА

Метод Теплера дает возможность делать непосредственно видимыми места с незначительными оптическими неоднородностями среды, в которых световые лучи испытывают также незначительные отклонения; эти отклонения лучей можно преобразовать в изменения их яркости или цвета.

§ 1. Теневой метод

Оптические неоднородности среды (шпирь) проще всего можно сделать непосредственно видимыми, применяя очень простой, так называемый теневой метод (рис. II,68). Прозрачный объект освещают лучами источника света L , который должен быть возможно более точным. Тогда на экране PP становятся видимыми все оптические неоднородности объекта вследствие неравномерного распределения

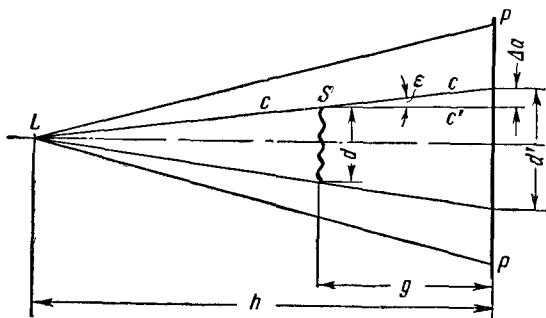


Рис. II,68. Теневой метод. L — источник света, S — объект, PP — экран, d' — тень объекта диаметра d , ϵ — угол отклонения у края объекта, c' — отклоненный луч, Δa — сдвиг на экране.

яркости в его теневом изображении. Чувствительность подобной установки тем больше, чем больше расстояние h от источника света до экрана. При постоянном расстоянии h максимум чувствительности получается, если объект располагается примерно посередине между источником и экраном ($g \approx h/2$). Однако необходимо иметь достаточно яркое освещение экрана, что не позволяет брать очень маленькие источники света; в результате оптическое изображение оказывается тем менее резким, чем больше расстояние g до объекта на экране. Следовательно, объект необходимо помещать в том месте, где удовлетворяются, с одной стороны, требования к резкости изображения и, с другой стороны, к чувствительности к обнаружению оптических неоднородностей.

Точечность источника света простейшим образом достигается тем, что лучи от кратера дуговой лампы или от ртутной лампы высокого давления направляют конденсором на диафрагму с небольшим отверстием. Если приходится исследовать движущиеся

объекты, то пользуются искровой установкой, показанной на рис. II,69; искра обеспечивает очень высокую точечность освещения. Картина, получаемая при теновом методе, не совсем однозначна. С уверенностью можно только сказать, что если на экране имеются места менее яркие по сравнению с его средней освещенностью, то они представляют собой не искаженные изображения оптических неоднородностей объекта. Но более светлые места на экране образуются в тех случаях, когда лучи, отклоненные неоднородностями объекта, попадают на другие места экрана. Поэтому яркие места на экране, несмотря на то что они очень заметны, не дают возможности делать простые выводы. При небольшой чувствительности установки темные и светлые места в большинстве случаев располагаются рядом. В этом случае картина особенно контрастна.

В некоторых случаях, однако, можно указать место в объекте, вызывающее возникновение светлого пятна. Тогда из его положения на экране можно измерить соответствующий угол отклонения лучей объектом. Это дает возможность некоторой количественной оценки [1].

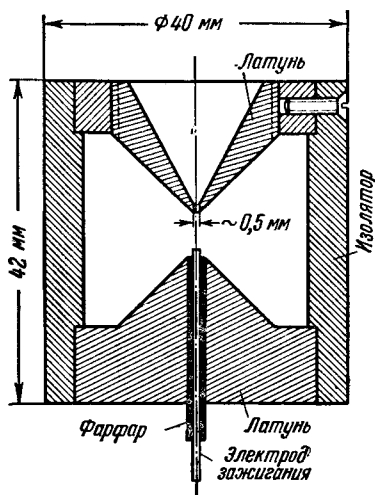


Рис. II,69. Искровой промежуток для точечного источника света. Напряжение (~ 20 кВ) подводится к двум латунным электродам. Зажигание производится импульсом напряжения, подаваемого на электрод зажигания.

§ 2. Метод Теплера с оптическим изображением объекта

Так как при простом теновом методе мы не получаем на экране оптического изображения объекта, то картина, наблюдаемая при этом методе, во всех случаях является не особенно резкой, что объясняется законами геометрической оптики и явлениями дифракции. А. Теплер (1864) в дополнение к методу Фуко с лезвием ножа [2] разработал свой метод с оптическим изображением объекта.

Рассмотрим сначала схему, изображенную на рис. II,70, в которой источником света служит небольшое отверстие в диафрагме L . Его изображение при помощи линзы K проектируется на отверстие во второй диафрагме L' . Кроме того, объектив O дает изображение объекта на матовом стекле P . В том случае, если объект не имеет неоднородностей, весь свет, исходящий из отверстия диафрагмы L , проходит через отверстие диафрагмы L' . Следовательно, на матовом стекле наблюдается равномерное распределение яркости. Однако в том случае, если в какой-либо точке объекта произойдет отклонение лучей, они не попадут в отверстие диафрагмы L' , и соответствующие места изображения на экране окажутся темнее. Полное затемнение наступает в том случае, если отклонение лучей в объекте

достигает величины $\varepsilon \geq D/a$. Если мы будем производить наблюдения, постепенно изменяя яркость, то заметим, что все места объекта, которые преломляют свет под углом, меньшим ε , на экране будут светлыми, те же места, которые отклоняют свет на угол, больший ε (безразлично, в каком направлении), оказываются темными. Этот предельный угол можно варьировать выбором диафрагм.

Если речь идет об объекте, содержащем определенные посторонние включения, которые должны быть раскрыты на изображении, то необходимо принимать во внимание дифракцию, что требует более чувствительной установки. Критический угол отклонения ε дается отношением D/a , и чувствительность, следовательно, тем больше,

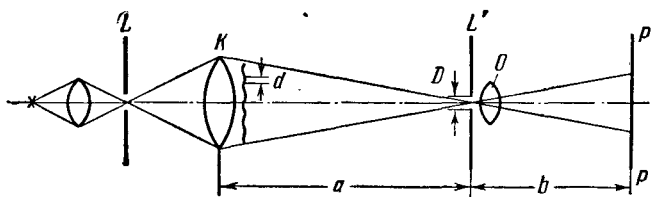


Рис. II,70. Теневая установка Теплера с круглой диафрагмой.

чем меньше D . Нерезкость на экране, обусловленная дифракцией, приближению определяется величиной $\lambda \frac{b}{D}$ или, если ее отнести к объекту, величиной $\lambda \frac{a}{D}$. Если мы обозначим через d соответствующую разрешающую силу установки для этого участка объекта, то должно быть справедливо следующее уравнение:

$$\frac{D}{a} = \frac{\lambda}{d}, \quad (1)$$

иными словами, критический, еще доступный наблюдению угол отклонения определяется только самим объектом, т. е. величиной d (λ — длина волны применяемого света — считается постоянной). Характеристики прибора, в особенности a , не играют никакой роли. Это противоречит прежним данным, полученным, в частности, в работах Теплера. С другой стороны, результаты Теплера получены им из опыта. Объяснение этого расхождения может быть следующим: если речь идет о вполне определенном объекте, для которого требуется разрешающая сила d , то чувствительность этой установки определяется исключительно только соотношением λ/d , а фокусное расстояние линзы K не играет никакой роли (это доказано, в частности, Г. Хансеном).

Во многих случаях, однако, размеры наблюдаемого объекта не могут оставаться неизменными (например, термогидродинамический процесс); тогда при малом a мы наблюдаем явление лишь на небольшой части экрана. Поэтому в силу указанных обстоятельств чувствительность (определяемая соотношением (1)) оказывается весьма ограниченной. Однако, если располагать большим вогнутым зеркалом с значительным фокусным расстоянием, то в этом случае

Таблица II,10

$d, \text{ мм}$	$\frac{\lambda}{d} = \frac{D}{a} (\lambda = 0,5 \text{ мк})$		Диаметр D отверстия в мм для a :						Числовая апертура $A = \frac{D}{2a}$	Возможное требуемое увеличение	
	в радианах	в градусах	5 см	10 см	20 см	50 см	1 м	2 м			5 м
0,005	0,10	$5^{\circ}44'$	5	10	20	50	100	200	500	0,05	50×
0,01	0,05	$2^{\circ}52'$	2,5	5	10	25	50	100	250	0,025	25×
0,02	0,025	$1^{\circ}26'$	1,25	2,5	5	12,5	25	50	125	0,0125	12,5×
0,05	0,01	$0^{\circ}34'$	0,5	1,0	2	5	10	20	50	0,005	5×
0,1	0,005	$0^{\circ}17'$	0,25	0,5	1	2,5	5	10	25	0,0025	2,5×
0,2	0,0025	$0^{\circ}9'$	0,125	0,25	0,5	1,25	2,5	5	12,5	0,00125	1,25×
0,5	0,001	$0^{\circ}3'24''$	0,05	0,1	0,2	0,5	1	2	5	0,0005	0,5
1,0	0,0005	$0^{\circ}1'42''$	0,025	0,05	0,1	0,25	0,5	1	2,5	0,00025	$\frac{1}{4}$
2,0	0,00025	$0^{\circ}0'54''$	0,0125	0,025	0,05	0,125	0,25	0,5	1,25	0,000125	$\frac{1}{8}$
5,0	0,0001	$0^{\circ}0'20''$	0,005	0,01	0,02	0,05	0,1	0,2	0,5	0,00005	$\frac{1}{20}$
10,0	0,00005	$0^{\circ}0'10''$	0,0025	0,005	0,01	0,025	0,05	0,1	0,25	0,000025	$\frac{1}{40}$

наблюдение можно вести в большом масштабе; d возрастает, и чувствительность соответственно становится больше.

В табл. II, 10 представлено это соотношение между разрешающей силой d , критическим углом $\varepsilon = \lambda/d$ (для $\lambda = 0,5 \text{ мк}$) и диаметром отверстия в диафрагме D при различных a . Кроме того, приведена числовая апертура $A = D/2a$ и возможное требуемое увеличение (1000 Å).

По изображению, полученному описанным методом, можно определить в основном только величину отклонения света, т. е. произошло ли оно с углом большим или меньшим критического значения. Можно, однако, в диафрагме L' , кроме центрального отверстия, сделать еще дополнительные отверстия того же диаметра. При сравнении получаемых при этом изображений можно определить, какое из отверстий отвечает изображению определенной точки объекта; становится возможным определение как величины, так и направления отклонения. Сравнение изображений между собой можно осуществлять, например, попеременно закрывая отдельные отверстия или вводя в них различные светофильтры. В последнем случае получают на изображении объекта области с различной окраской в зависимости от величины и направления отклонения лучей. Если применять диафрагму с открытым центральным круглым отверстием и цветными внешними секторами, то величину и направление отклонения лучей можно определить по тону окраски и ее насыщенности. Если речь идет о величине, а не о направлении отклонения лучей, можно применять диафрагмы с концентрическими цветными кольцами.

§ 3. Теплеровский метод с прямой диафрагмой

В схеме, изображенной на рис. II, 70, вместо диафрагмы L с круглым отверстием можно применять диафрагму с прямыми краями; в этом случае, если с помощью диафрагмы L' выделить световую полоску постоянной ширины, то при нормальных условиях поле на экране будет иметь постоянную яркость. При наличии в объекте точек, где лучи испытывают отклонение в плоскости, вертикальной по отношению к краю диафрагмы L' , яркость поля соответственно будет изменяться. Она уменьшится, если свет отклонится на край диафрагмы, и наоборот [3].

В полученном таким образом изображении обнаруживается много ступеней интенсивности. Определенная величина интенсивности соответствует определенному отклонению в направлении, вертикальном к краю диафрагмы; в некоторых случаях этим можно пользоваться для количественной оценки явления. Если падающая на край диафрагмы L' световая полоска очень узка, то отклонение света ε вызывает относительно большое изменение яркости. В этом случае, однако, предел измерения для отклонения света в обе стороны весьма различен; отклонение в сторону края диафрагмы быстро дает полное затемнение, отклонение в противоположном направлении практически не ограничивает освещенности (она может ограничиваться или слишком малой шириной источника света L , или слишком малым отверстием объектива O).

Относительно лабораторно-технического оформления этого принципа можно сделать следующие основные замечания:

А) Если в установке применяется линза K (рис. II,70), то наиболее пригодным в данном случае является длиннофокусный телескопический объектив, или, по возможности два одинаковых объектива при симметричном расположении, причем объект должен находиться в параллельном пучке света.

Б) Можно применять вогнутое зеркало K согласно схеме, изображенной на рис. II,71, причем диафрагмы L и L' следует установить на расстоянии радиуса кривизны вогнутого зеркала, несколько сдвинув их относительно его оптической оси.

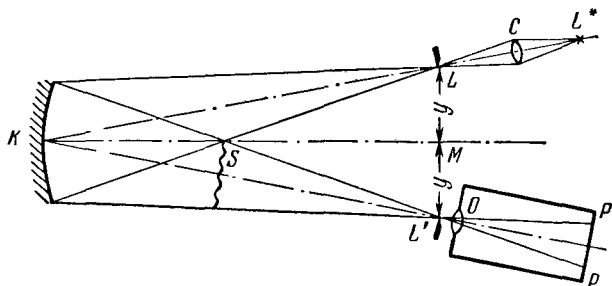


Рис. II,71. Теневая установка Теплера с вогнутым зеркалом.

Это является наиболее обычным расположением. Объект должен находиться в том месте, где падающий и отраженный пучки еще не перекрываются.

В) В некоторых случаях применяется метод совмещения (рис. II,72), при котором диафрагмы L и L' рис. II,71 устанавливаются непосредственно рядом в центре кривизны вогнутого

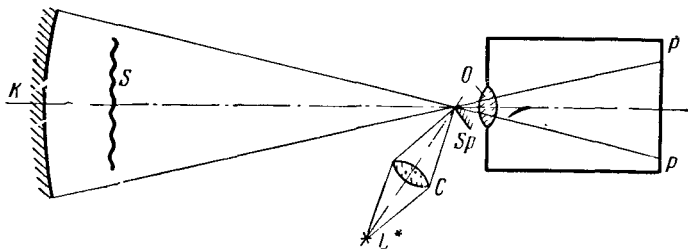


Рис. II,72. Метод совмещения. Зеркало Sp отражает световой поток от осветительной системы на вогнутое зеркало и одновременно служит ширмой.

зеркала. В этом случае объект необходимо располагать очень близко к вогнутому зеркалу во избежание появления двойного изображения. Световые лучи два раза проходят через объект. Следовательно, чувствительность этого метода повышается.

Г) Если необходимо поместить объект в параллельном пучке лучей, то можно применить два вогнутых зеркала по схеме, приведенной на рис. II,73. Вогнутые зеркала следует располагать

на весьма значительном расстоянии друг от друга, так что для такой установки требуется большая площадь. Если применять диафрагму с прямолинейным краем, то влияние дифракционных явлений оказывается значительно более благоприятным, чем в случае диафрагмы с круглым отверстием. Если объект обнаруживает большое количество оптических неоднородностей, для которых надо определить величину d , то в первом случае получается расширение изображения источника света на краю диафрагмы на величину $\lambda a/d$. Но так как подобная диафрагма ограничивает только одну сторону дифракционных пучков, а другая сторона остается вполне свободной (предполагается достаточно большое отверстие проекционного объектива), то при этой схеме с достаточной резкостью по-

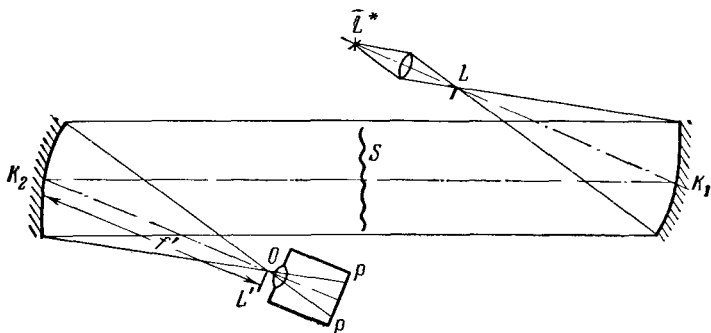


Рис. II,73. Теневая установка Тейлера с двумя вогнутыми зеркалами.

лучаются еще более мелкие детали объекта, как это ясно из табл. II,10. Во всяком случае чувствительность к тонким деталям, вследствие большого размывания изображения источника света, при краевой диафрагме значительно меньше, что, однако, не является большой помехой в том случае, если не требуется производить количественной оценки величины отклонения лучей. Край диафрагмы L' не должен быть непременно прямолинейным.

Можно рассмотреть аналогичную схему, в которой источником света служит круглое отверстие в L и его изображение проектируется на диск (L') так, что прямой свет при этом перекрывается.

При этом методе затененного поля становятся резко заметными в виде просветления поля все отклонения света — безразлично, в каком направлении, что иногда является некоторым преимуществом; однако для этого случая точная установка при большой чувствительности является несколько более сложной.

Прямолинейный край диафрагмы имеет то преимущество, что астигматические ошибки изображения при применении вогнутых зеркал не играют никакой роли.

Далее, яркость можно проще всего регулировать изменением длины источника света (параллельно краю диафрагмы).

При этом, конечно, нельзя брать длину источника света больше диаметра объектива. Можно, однако, пользоваться диафрагмами с несколькими параллельными краями, как это будет описано далее.

§ 4. Метод дифракционных решеток

Если в точке L вместо краевой диафрагмы поместить крупную дифракционную решетку (постоянная решетки равна нескольким м.м.), а в точке L' — решетку, с постоянной, соответствующей размерам деталей изображения, то подобная установка, как только что было сказано, может значительно повысить яркость изображения. В этом случае один край элементов большой решетки должен играть роль прямолинейных краев диафрагм. Однако величина отклонения не должна быть настолько большой, чтобы на соответствующие лучи света могли оказывать влияние и соседние элементы решетки.

Подобная установка может служить также совершенно иным целям, а именно для количественной оценки отклонения дифракционных лучей на изображении, если построить соответствующую кривую. В этом случае полосы света, получающиеся вследствие изображения решетки L в плоскости решетки L' , можно полностью пропустить через щели решетки L' . Если теперь отклонение будет равно половине постоянной решетки, то соответствующие точки изображения будут темными, если же отклонение точно равно постоянной решетки (перпендикулярно к направлению ее штрихов), то наступит просветление и т. д. На изображении получают кривые постоянного отклонения соответственно расстоянию a (рис. II,70), постоянным решеткам L' и порядку отклонения.

Для определения порядка величины отклонения можно поступать следующим образом: в L применяют только одну щель, свет от которой проходит в определенную щель в L' . Остальные щели в L' снабжены фильтрами различного цвета; вследствие этого кривые постоянного отклонения принимают соответствующий цвет, и порядок отклонения определяется вполне однозначно.

Практически решетку для этой цели изготовляют путем копирования решетки на черно-белую фотографическую пластинку, а прозрачные полосы затем закрашивают краской.

§ 5. Применение спектрального разложения для получения цветного изображения оптических неоднородностей

Диафрагмы L и L' представляют собой две одинаковые щели. Тогда согласно рис. II,70 должно получиться черно-белое изображение, однако только при отклонении света, перпендикулярном к щели. Если теперь между L и K поставить призму прямого зрения, то в L' возникнет спектр. Щель в L' пропускает, однако, только некоторую часть этого спектра, так что изображение при нормальных условиях приобретает определенную окраску. Если теперь неоднородности объекта вызовут отклонение света, то часть спектра, пропускаемая через щель, будет различной в зависимости от величины отклонения света в плоскости, перпендикулярной к направлению щели. Получают, следовательно, окрашенное изображение, причем тон окраски соответствует определенному отклонению света [4].

Если яркость этого изображения недостаточна, то, аналогично сказанному в предыдущем разделе, в L и L' можно снова применить решетки, причем щели должны быть достаточно узкими по сравнению с непрозрачными промежутками, а расстояние решеток от

зеркала — достаточно велико с тем, чтобы отклонение лучей было не больше постоянной решетки. В противном случае при больших отклонениях света часть спектра проходит через соседнюю щель, и изменение цвета в изображении становится уже неоднозначным. Вновь следует указать на то, что в этом случае мелкие детали в объекте вследствие того, что лучи от них проходят через много щелей, получаются весьма резкими, хотя их окраска становится при этом неопределенной.

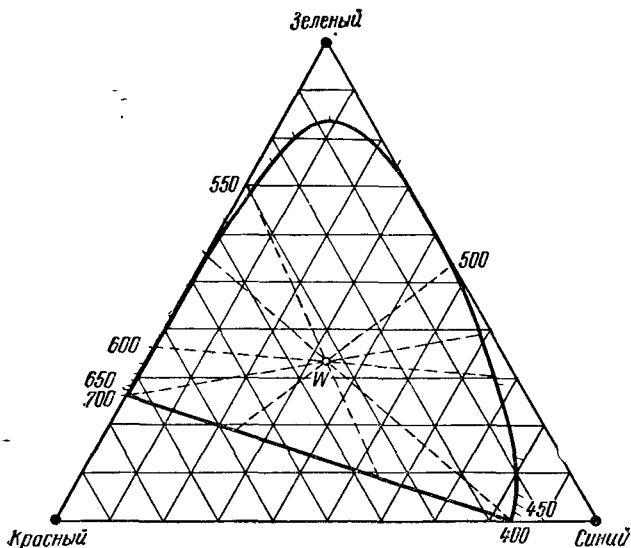


Рис. 11,74. Цветовой треугольник Гельмгольца для демонстрации оптимальных цветовых областей в методе Тейлера.

Применение этого метода дает еще следующее особое преимущество: при работе в синей или красной области спектра, примерно между 490 и 500 *м.м.к* или между 550 и 600 *м.м.к*, щель можно передвигать в определенных границах, и цвет изображения не изменяется. Это происходит вследствие того, что результирующая окраска получается соответственно цветовому треугольнику Гельмгольца (рис. 11,74) из составных цветов по правилу центра тяжести треугольника. В обеих указанных спектральных областях прилегающие к ним концы спектра при увеличении отверстия в диафрагме располагаются симметрично и на одинаковом расстоянии от средней белой точки; вследствие этого результирующая окраска не изменяется. Точно так же изменение окраски при отклонении света в какой-то определенной области не зависит от ширины щели, иными словами, в этом случае щель можно расширить настолько, насколько это необходимо для того, чтобы рассматриваемые детали стали вполне отчетливо видимыми. Далее, дифракция в этом случае в первом приближении не влияет на чувствительность установки. Из рис. 11,74 очевидно, что работа в зеленой области спектра не столь благо-

приятна; при установке щели на эту область насыщенность цвета значительно меньше, и, вследствие связанной с этим меньшей различимости окрасок, система не является столь чувствительной, как в предыдущем случае.

§ 6. Увеличение поля зрения

В то время как при тневом методе величина поля зрения почти не ограничена, все методы, работающие с оптическим изображением, имеют тот недостаток, что величина исследуемого объекта

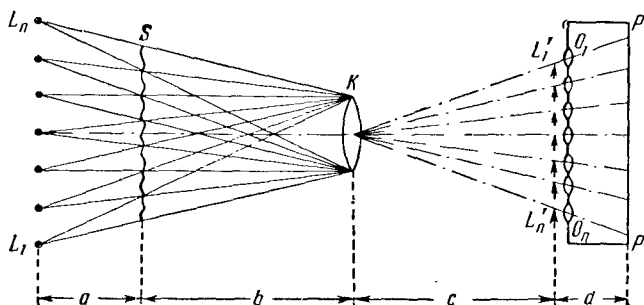


Рис. II,75. Установка Тшнера с несколькими световыми пучками для получения большего поля зрения.

ограничивается отверстием линзы K . Согласно схеме, изображенной на рис. II,75, можно очень просто через обычную линзу K пропу-

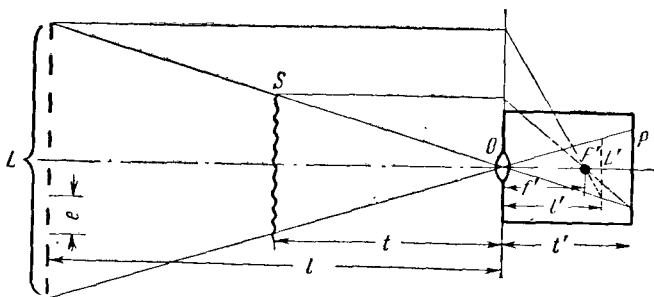


Рис. II,76. Упрощение установки рис. II,75 (изображение объекта получается с помощью линзы O).

стить много пучков лучей, которые посылаются рядом источников света, расположенных на небольшом расстоянии друг от друга; в результате на расстоянии a от источников света L_1-L_n образуется

освещенная область, значительно бóльшая той, которую раньше давала линза K . При этом световые точки могут иметь также некоторое объемное расположение. На матовом экране получаются многочисленные отдельные изображения, которые необходимо соответствующим образом соединить. Схему, представленную на рис. II,75, можно упростить, отказавшись от объективов $O_1—O_n$; в этом случае изображение объекта получается при помощи самой линзы. При этом пользуются схемой, изображенной на рис. II,76, согласно которой отдельные источники света, так же как и соответствующие диафрагмы, заменяют одним источником и дифракционной решеткой соответствующей величины («осветительной решеткой»); технически это можно выполнить таким образом, чтобы решетка диафрагмы представляла собой прямую фотографическую копию «осветительной решетки» [5].

ГЛАВА XIII

ОБРАЩЕНИЕ С РАЗЛИЧНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

Стремление к экономии материала и времени ведет к развитию рационального оформления различных методов исследования, к уменьшению размеров установок и разработке микрометодов [4].

Кроме этого краткого указания далее приводится, без какой-либо определенной системы, ряд особых приемов, известных в настоящее время, которые являются полезными при обращении с различными установками.

§ 1. Электростатические заряды

Они нежелательны, так как большие заряды на поверхностях некоторых искусственных материалов [2], текстиля [3], порошков [4] могут явиться причиной взрыва. Предохранительными мерами являются втирание небольшого количества моющего средства (например, лиссаполя N, стергена) [5], антистатическое препарирование или обмазывание сосудов раствором резины, причем сосуд, пока он не просох, обсыпают соответствующим порошком.

При работе установок высокого напряжения, даже защищенных, на стеклах измерительных приборов (например, миллиамперметров в рентгеновских установках) появляются статические заряды, что вызывает ошибки в показаниях этих приборов. Поэтому амперметры лучше всего подключать к заземленному полюсу цепи высокого напряжения. Можно также обтянуть смотровое стекло проволоочной сеткой или покрыть его тонким слоем глицерина.

Электростатические заряды можно с успехом применять для целей микроанализа [6] — для дозирования количеств вещества менее 10^{-6} г.

§ 2. Отверстия диафрагмы

Особенно узкие отверстия в относительно толстой металлической фольге (например, для получения узкого пучка α -частиц) можно прокалывать в микроманипуляторе тонкими стеклянными или кварцевыми иглами, которые оканчиваются острием с крайне

малым поперечником. Фольгу при этом (например, свинцовую фольгу толщиной 150 мк) необходимо соответствующим образом нагреть [7].

§ 3. Поверхность

Если необходимо на поверхность размерами около 20×7 см² нанести незначительное количество жидкости, около 5 мл, то пользуются инъекционным шприцем. Игла шприца окружается насадкой. Поршень и сам шприц приводятся в движение специальным устройством [8].

§ 4. Пинцеты

Для удобной работы с короткими, тонкими (50 мк) стерженьками из хрупкого материала служит «всасывающий пинцет» [9]. Это трубочка с маленьким щелеобразным отверстием, через которое всасывается воздух. Притянутый воздушным потоком стерженец точно ложится в отверстие и крепко держится. При отключении всасывающего воздуха (отпускании кнопки на ручке пинцета) стерженец освобождается.

§ 5. Ртуть

Шарики разлитой ртути можно собрать целлюлозно-лейкопластовой полоской. При обмывании полоски ацетоном или другим растворителем ртуть снова высвобождается. Прежде чем подметать шарики ртути, их следует посыпать порошкообразным сухим льдом. Наконец, для сбора ртути можно пользоваться небольшим аспиратором [9а].

§ 6. Металлические трубочки

Маленькие металлические трубочки (из Cu, Ag, Ni) диаметром от 1 до 0,05 мм изготавливаются следующим образом. Нейлоновые нити, предварительно опущенные для усиления сцепления с Ag в раствор SnCl₂, затем химически серебрятся сегнетовой солью (см. также стр. 112). После серебрения на них электролитическим способом наносится требуемый металл. При одновременном осаждении двух металлов можно получить трубки из желаемого сплава; нейлоновая нить легко вытаскивается. Слой Ag на внутренней стороне трубочки удаляется разбавленным раствором HNO₃ [10].

§ 7. Защита от перегрузок

Приборы, прежде всего электронные, защищаются от перегрузок включением автоматических выключателей и шунтов [11].

§ 8. Шкалы

Деления можно наносить фотографически, пользуясь делительной машиной и лампой-вспышкой; шпindel необходимо установить определенным образом [12]. Шкалы на рентгенографические пленки наносятся с помощью специальных шаблонов [13].

§ 9. Тушь

С чертежной бумаги тушь можно удалять раствором из спирта, камфары, глицерина и аммиака [14].

§ 10. Методы работы в мастерской

Малогобаритные приспособления для продельвания отверстий, сверления, литья шлифовальных дисков, сглаживания, полировки и др. см. в [15].

А) С в е р л е н и е. Для рационального процесса сверления следует точно контролировать центрирование сверла и симметричное положение обоих главных режущих кромок сверла, а также его угол заточки. Для этого рекомендуется применять специальную контрольную лупу для спирального сверления [16].

Обрабатывать просверленные отверстия и доводить их до требуемого диаметра можно, продавливая через них шар из твердого металла при помощи пресса и пуансона в направлении снизу вверх. Хонингование (правка) при этом становится излишним. Обрабатываемая деталь, однако, должна быть однородной [17].

Металлы, не поддающиеся обработке обычными средствами, лучше всего обрабатывать взрывными зарядами [18]. Тонкие отверстия в металлах продельвают при помощи конического острья из WC, причем образующийся на противоположной стороне выступ сошлифовывается.

О сверлении гуммированных проводов в вакууме см. [18с].

Б) Н а п и л ь н и к и регенерируются химическим путем в различных кислотных ваннах; после регенераций следы кислот надо нейтрализовать; можно применять: водные растворы HCl, затем промыть растворами NH_3 , H_2SO_4 , затем H_2O и протереть в содовой ванне; далее — раствор HNO_3 ($4\frac{1}{2} \text{ л}$) в воде (25 л), затем промыть H_2O ; раствор HCl, затем H_2O и нейтрализовать при помощи NaOH, можно также применять антикоррозийные средства [19].

В) П о л и р о в к а. Полировка стальных шаров достигается их трением друг о друга в смазывающем растворе; в результате этого их поверхностные кристаллы плавятся, и поверхность шаров полируется. Пористые поверхности при этом затягиваются; таким приемом их удобно подготавливать к гальванизации [20]. Таким путем шары из любого металла можно дополнительно обработать с целью приближения их формы к строго сферической даже в воде.

Г) Ц и л и н д р и ч е с к а я о б т о ч к а: для этого служит самоцентрирующееся приспособление [21].

РАЗДЕЛ III

НЕКОТОРЫЕ ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ К НИМ

ГЛАВА I

АКУСТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ [1]¹⁾

§ 1. Звукоизлучатели

А) Громкоговорители

а) Мембраны. По Г. Бухману [2] особенно целесообразно применять бумажные мембраны, причем выбор материала для них позволяет влиять на жесткость и внутреннее затухание мембран. При прямых образующих и больших амплитудах колебаний возникает опасность возбуждения унтертонов [3], появляющихся вследствие изгибных колебаний (рис. III, 1). Можно избежать их появления, придавая мембране форму неразвертывающейся поверхности (неразвертывающаяся мембрана). Практика показала, что лучшая форма мембраны получается при параболической образующей ее конуса, если при этом кривизна максимальна в середине и снижается к краям (Г. Бухман, см. выше). Это позволяет сделать весь громкоговоритель более плоским. Его частотная характеристика постоянна, в области высоких частот она не обнаруживает никакого возрастания, а направленность становится менее резкой.

Иногда с целью экономии места вместо круглых применяются мембраны эллиптической формы.

Для более точного воспроизведения переходных (неустановившихся) процессов [4] рекомендуется вводить дополнительное затухание на краях мембраны, например, с помощью фетра, а еще лучше — наклеивая

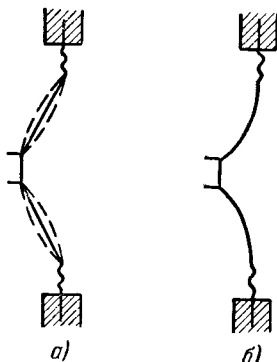


Рис. III, 1. Поперечное сечение мембран динамиков: а) конусообразная мембрана с изгибными колебаниями, б) неразвертывающаяся мембрана.

¹⁾ При акустических исследованиях, особенно в области слышимых звуков, почти всегда необходимы электронные приборы. Если речь не идет о постановке каких-либо специальных опытов, рекомендуется применять имеющиеся в продаже готовые приборы, как, например: микрофоны, громкоговорители, генераторы, усилители, осциллографы, измерители уровня громкости, анализаторы и т. д. В области ультразвуковых колебаний мы встречаем отчасти иные условия, которые подробно разбираются в соответствующем разделе обширного труда Бергмана, далее цитируемом; в последнем издании этой книги автор дает более 5000 литературных ссылок.

эластичный слой из искусственного пластика. Если этим материалом покрыть всю поверхность мембраны, то затухание распространяется и на высокие частоты. Того же эффекта можно добиться, если заклеймить отверстия монтажного конуса громкоговорителя пористым материалом [5].

Более сильное затухание, как известно, достигается и при увеличении индукции магнитного поля в зазоре диффузора. Для ослабления слишком сильного резонанса на низких частотах можно применять также пористые центрирующие мембраны с соответствующим воздушным сопротивлением.

6) *Направленное действие и расширение частотного спектра.* Для получения равномерного распределения звука при высоких частотах на сердечник электромагнита жестко насаживают концентрически отдельный звукораспределяющий конус. Чтобы с одной установкой можно было получать излучение в области частот от 30 до 15 000 гц, В. Бюрк предложил применять добавочный конус

для воспроизведения высоких тонов; он делается из бумажного волокнистого вещества, имеет очень небольшой вес (от 0,6 до 1,32 г) и укрепляется в середине конусной мембраны.

Верхняя граница обычных громкоговорителей лежит при частотах от 5 до 8 кгц; для высококачественных передач частот до

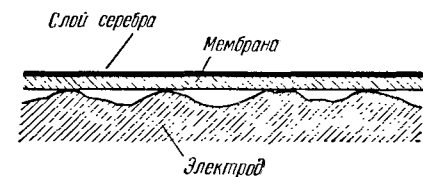


Рис. III,2. Электростатический излучатель.

15 000 гц предусматривают добавочные громкоговорители специально для высоких тонов. Работа этих приборов может быть основана на электродинамическом, электростатическом или пьезоэлектрическом принципах. Звуконаправленность таких излучателей в большинстве случаев сильно выражена, как это следует из отношения длины волны к размеру излучателя. Поэтому располагают несколько излучателей под различными углами или же поверхность излучателя делают выпуклой.

Электростатические излучатели с твердым диэлектриком неоднократно описывались [6]. Колеблющейся мембраной служит полистироловая пленка толщиной около 10 мк, покрытая тонким слоем серебра или алюминия (наносится методом испарения). Поверхность второго электрода обрабатывается пескоструйным аппаратом, или же на ней наносятся концентрические бороздки (рис. III, 2). Преимуществом таких устройств является возможность легко приспосабливать их форму и размеры к любым обстоятельствам.

в) *Применение группы из нескольких громкоговорителей.* Для получения так называемого объемного (стереофонического) звучания Харц и Кёстерс [7] предложили пользоваться группами из нескольких громкоговорителей, что оправдало себя. Несколько громкоговорителей располагаются на поверхностях особой многогранной подставки и излучают во всех направлениях колебания с частотами выше 400 гц. Колебания с меньшими частотами излучаются особым низкочастотным громкоговорителем, расположенным горизонтально, так что его колебания также распространяются по всем направлениям (рис. III,3).

В радиовещании [8] ограничиваются несколькими громкоговорителями, излучающими вперед и в стороны. При монтаже громкоговорителей в закрытых футлярах необходимо принимать во внимание объемные резонансные явления. В данном случае их устраняют применением звукопоглощающих материалов. Необходимо делать стенки футляров возможно толще, выносить громкоговорители по возможности вперед и обеспечивать максимальную звукопроницаемость материи, закрывающей диффузоры [9].

При радиовещании в больших помещениях или на открытом пространстве несколько громкоговорителей устанавливают по прямой линии и получают направленное излучение. Чем ниже частоты, тем длиннее должна быть линия расположения громкоговорителей. Направленное излучение, получаемое таким приемом, схематически показано на рис. III,4. Сильное излучение имеет место в плоскости, перпендикулярной к плоскости расположения громкоговорителей, в двух других плоскостях оно значительно слабее. Нежелательное излучение в обратную сторону, возникающее иногда, можно уменьшить по Калуше [10], помещая за системой громкоговорителей задерживающие устройства из материалов с достаточным акустическим сопротивлением.

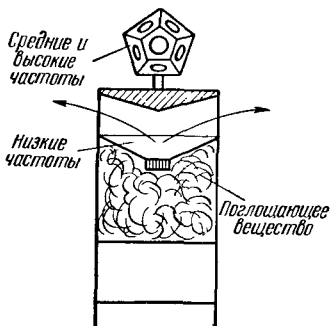


Рис. III,3. Комбинация динамиков по Харцу и Кёстерсу.

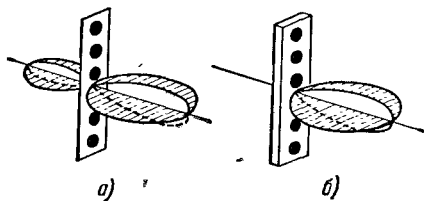


Рис. III,4. Направленное действие групп динамиков: а) ряд нескольких типовых динамиков, б) ряд нескольких типовых динамиков со встроенным за ними акустическим поглотителем.

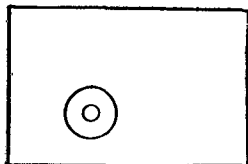


Рис. III,5. Асимметричное расположение динамиков на акустических экранах.

г) *Устройство дек для громкоговорителей.* Громкоговорители на деках следует устанавливать асимметрично (рис. III,5). Для дек выбирается такой материал, который слабо резонирует, как, например, клееная фанера толщиной свыше 1 см. Размеры деки должны определяться самыми низкими частотами излучения (около $1 \times 1,5 \text{ м}^2$).

д) *Рупорные громкоговорители.* Громкоговорители с рупором, сечение которого расширяется по экспоненциальному закону (экспоненциальный рупор), работают, как известно, с коэффициентом полезного действия более высоким, чем при коническом рупоре.

Длину и сечение рупора следует выбирать, принимая во внимание нижнюю граничную частоту. При частоте 50 гц радиус рупора следует брать около 1 м, а длину около 4 м. Если применяется складчатый рупор по Ольсону [11], то можно обойтись меньшим объемом (рис. III,6).

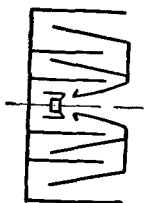


Рис. III,6.
Схема рупора
Ольсона.

Б) Термические излучатели звук а

В качестве нормального излучателя звука оказался пригодным термофон [12]. Его звуковое давление можно относительно просто рассчитать. Если пропускать переменный синусоидальный ток через термофон, то он начнет звучать с частотой, вдвое большей частоты тока. Чтобы устранить это явление, необходимо одновременно пропускать через термофон постоянный ток, сила которого больше силы переменного тока. По данным Бёкеша [13] для термофона можно пользоваться квадратичной характеристикой, если через него пропускать два высокочастотных тока с близкими частотами; возникающие при этом биения звуковой частоты имеют достаточно большие амплитуды. Этим методом пользуются, если необходимо получать медленные синусоидальные колебания давления. В термофоне применяются полоски золотой или платиновой фольги толщиной от 0,01 до 1 мк, площадью от 5 до 10 см² или волластоновские нити толщиной 0,05—1 мк.

Для получения колебаний с частотой выше 1000 гц можно пользоваться поющей электрической дугой [14]. В воздухе этим методом достигаются частоты до 2 мкгц. Вследствие малых размеров источника звука имеет место широкое ненаправленное излучение. В ионофоне [15] нагретый электрическим током раскаленный штифт испускает электроны, которые ускоряются посредством высокого напряжения, образуя в воздухе ионы. Если на ускоряющее напряжение накладывают переменное напряжение, то при этом образуются соответствующие звуковые волны.

В) Звуковые линзы

По Коку и Хэрри звуковые колебания, в особенности ультразвуковые, можно собирать или рассеивать линзами особого вида. Линза (рис. III,7) состоит из жестяных пластин круглой формы, установленных под углом к фронту звуковой волны. Вследствие того, что волны вынуждены распространяться обходным путем l , создается разность хода. Если расстояние между пластинами $s \ll \lambda/2$, то

$$u = \frac{l}{l_0} = \frac{c_0}{c} = \frac{1}{\cos \alpha},$$

где l_0 — толщина линзы и u — коэффициент преломления линзы [16].

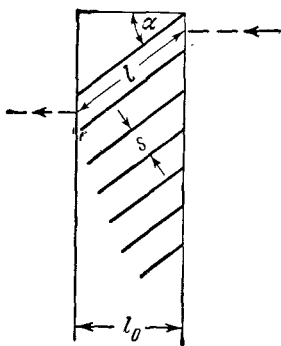


Рис. III,7. Выпуклая акустическая линза; $s \ll \lambda/2$,
 $u = l/l_0 = c_0/c = 1/\cos \alpha$.

Г) Излучатели ультразвуковых волн

а) *Свистки как излучатели.* Для излучения звука с частотами до 40 *кГц* в воздухе употребляют свисток Гальтона [17]. Еще более высокочастотные звуки, до 120 *кГц*, можно получить с помощью газового генератора Гартмана [18] с более высоким коэффициентом полезного действия. При работе с водородом достигают частот в 500 *кГц*. С этим генератором Эрт и Ханеман соединяли мембраны [19] и облучали таким путем жидкости звуковым полем с мощностью 1вт/см^2 .

Яновский и Польшман [20] описывают жидкостный свисток (от 4 до 32 *кГц*); он состоит из форсунки и укрепленной вблизи нее металлической пластинки с острым краем, на который падает струя жидкости, выбрасываемая форсункой (рис. III.8). При правильном

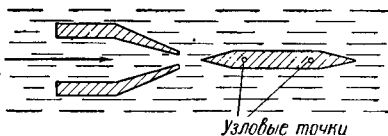


Рис. III.8. Жидкостный свисток для получения ультразвука.

выборе скорости струи и расстояния до острого края пластинки возникают мощные резонансные колебания последней. Левассер и Гавро [21] описывают свисток для ультразвуковых колебаний в воздухе, который состоит из кольцевого лезвия и соответствующей цилиндрической полости.

б) *Сирены.* Для достижения больших мощностей звука (до 35 *вт*) в воздухе можно применять ультразвуковые сирены, которые работают с большим коэффициентом полезного действия (около 70%). В зависимости от скорости вращения можно получить частоты от 1 до 200 *кГц*. Такие приборы применяют для коагуляции взвешенных частиц (тумана, сажи и т. д.) в воздухе [22].

в) *Получение ультразвуковых колебаний в жидкостях.* Для получения ультразвука в жидкостях применяют преимущественно магнитострикционные и пьезоэлектрические звуковые генераторы. Для первых генераторов пользуются стержнями или трубками из никеля или сплавов железа с никелем. Для того чтобы избежать потерь на вихревые токи, трубки или стержни разрезаются. По данным Пирса для этих целей подходит инвар (36% никеля, 64% железа), а также монель (68% никеля, 28% меди с добавлением железа, кремния, марганца, углерода). Коэффициенты колебаний, определяемые выражением $f_1 l$ (f_1 — частота основного тона в *Гц*, l — длина стержня в *см*) равняются: для закаленного никеля 252 400, мягкого никеля 235 300; инвара 209 500, монеля 210 800, цекаса 234 900. Неферромагнитные вещества [23] можно также применять в качестве вибратора, если их покрыть тонким слоем магнитострикционного материала. Нечувствительные к температуре вибраторы [24] можно изготовить, посаживая корпус из материала с температурным коэффициентом одного знака на сердечник с температурным коэффициентом противоположного знака. При этом уменьшают также потери на вихревые токи приемом, аналогичным тому, который имеет место в трансформаторах, где вводится между стальными листами слой изоляции. Листы укладываются в пакеты, в которых делают продольные прорезы для намагничивающей обмотки. Область частот такого вибратора лежит между 20 и 200 *кГц*. Звук излучается перпендикулярно к конечным плоскостям;

направленность излучения будет тем острее, чем больше линейные размеры излучающей поверхности по сравнению с длиной волны. Очень остро направленное излучение можно получить, соединяя несколько излучателей в группы. Вводя элементы, изменяющие разность хода между отдельными волнами, можно изменять в желаемом направлении характеристику направленности излучения (техника гидролокации). Кроме того, придавая излучающей поверхности определенную форму, можно заглушать боковые максимумы диаграммы направленности [25]. Если желательно получить равномерное излучение во все стороны, можно с успехом применять круглый вибратор [26].

Для возбуждения звуковых волн в жидкости колеблющийся стержень закрепляют в узлах стоячей волны [27] и заставляют его возбуждать колебания в жидкости. Для случаев, когда невозможно ввести вибратор внутрь жидкости, Тид [28] предложил применять промежуточный вибратор в виде поршня, который изготовляют из упругого материала и закрепляют на конце пакета вибраторов. Конец этого поршня вводят в жидкость или в расплавленное вещество. Вибратор и поршень можно охлаждать циркулирующей жидкостью. Возбуждение звуковых волн в кислотах, щелочах, горячих жидкостях и расплавленных веществах возможно при температурах до 700° С.

Для того чтобы заставить вибратор колебаться на основной частоте, его необходимо подмагничивать с помощью постоянного тока; в противном случае он колеблется с двойной частотой. Чтобы уменьшить подмагничивание, применяют металлы с высокой остаточной индукцией; Камп [26] применял сплав 2-V-пермендур (2% ванадия, 49% железа, 49% кобальта); можно также установить вблизи постоянный магнит.

Д) Пьезоэлектрический излучатель

Пьезоэлектрический эффект был обнаружен в кварце, турмалине, сегнетовой соли (сокращенно KNT), фосфате аммония (ADT или PN), сульфате лития (LN) и др. [29], эти вещества нашли практическое применение. Пластинки, применяемые в качестве вибраторов, вырезаются из монокристаллов в определенном направлении. Например, кварцевые пластинки вырезаются в плоскости *yz*. Сегнетова соль вследствие ее недостаточной механической прочности лучше подходит для приемников ультразвука [30]. Она сохраняет свою прочность только при влажности от 40 до 85%, а при температуре свыше 55° С разлагается. Сегнетова соль примерно в 10 раз чувствительнее, чем фосфат аммония и в 150 раз чувствительнее кварца. Фосфат аммония выдерживает нагревание до 100° С и влажность от 0 до 93%.

Краткую сводку свойств пьезоэлектрических преобразователей недавно опубликовал Добелли [31].

При введении вибраторов в жидкость их затухание значительно возрастает [32]; в этом случае вибраторы можно применять также на частотах, отличных от резонансных. Применяя кварцевые пластинки, пользуются их поперечными колебаниями в области более высоких частот и продольными — в области низких частот. Для получения больших мощностей при продольных колебаниях Ланжевэн [33] склеивал вместе несколько кварцевых пластинок,

заключал их между двумя стальными пластинками и возбуждал всю систему. Наклеивание кварца на металл и другие операции надо производить очень осторожно. Особое внимание следует обращать на устранение воздушных пузырей. Хорошо подходит для этих целей клей коэзан.

При возбуждении основных поперечных колебаний кварцевые пластинки можно применять только до частоты примерно 50 *мггц*; при больших частотах применяемые пластинки становятся слишком тонкими. Более высокие частоты получают путем возбуждения в пластинках гармоник высоких порядков [34].

Для фокусировки излучаемого звука поверхности пластинок можно отшлифовать в форме вогнутого зеркала [35]. Для непрерывной работы в широкой области частот делают вибратор клинообразной формы [36]. Таким приемом можно получать частоты в области от 1,4 до 5 *мггц*. Леви и Филип [37] достигали этого, наклеивая кварцевую пластинку на клинообразную латунную пластинку.

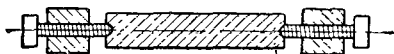


Рис. III,9. Крепление кварцевой пластинки с боковыми канавками.

Закрепление кварца требует особой осторожности. Для подачи переменного напряжения в большинстве случаев обе поверхности пластинки делают матовыми, затем их покрывают металлическими слоями, проводящими ток. Последние можно получить, отлагая слой серебра или золота как химическим путем, так и испарением в пустоте или катодным распылением. Кварцевые пластинки обычно кладутся на прочную, ровную металлическую подложку, которая соединяется проводником с генератором напряжения. Для такой подложки особенно подходящим вследствие своей пластичности оказался свинец. Другие металлы менее удовлетворительны, так как в пластинках кварца при больших амплитудах колебаний и твердой подложке наблюдалось появление трещин. Подводить напряжение к металлизированной поверхности кварца можно при помощи металлического кольца, которое прижимается к ней пружиной. Прямоугольные пластинки можно закреплять также при помощи пружины, укрепленной с одной стороны. Другим видом крепления служат рамки размеров немного больших, чем пластинка (рис. III,9), и три-четыре винта, которые слегка надавливают на кварц [38]. Концы винтов не должны быть твердыми, иначе кварц при сильном нажиме может треснуть. Удобно также на боковых поверхностях кварца сделать канавку, в которую входил бы немного заостренный винт [39]. Удобны также кварцевые пластинки, края которых, симметрично сошлифованные на угол, входят в углубления металлических зажимов (рис. III,10). Беэ-Бардили [40] предложил крепление, которое дает возможность несколько менять направление излучений. Кварц с его металлической подложкой эластично прижимается концентрическим винтом к раме такого же размера, через которую подводится напряжение. Все устройство крепится на пластине, которую можно поворачивать.

Свободные крепления без подложек вносят, конечно, меньше затухания. Для устранения обратного отражения звука рекомендуется ввести между вибратором и подложкой тонкий слой масла, которое должно быть свободно от пузырьков. Вибратор, работающий на продольных колебаниях, зажимают двумя винтами в его узловых плоскостях [41]. По данным Грюцмахера [42] звуковая энергия, излученная вверх, увеличивается приблизительно в четыре раза, если нижняя сторона кварцевой пластинки граничит с воздухом. На этой поверхности получается полное отражение, и отраженные звуковые волны проходят вверх через пластинку в такой фазе, что усиливают излучение, посылаемое в жидкость. Подобный эффект можно получить, если между подложкой и кварцем ввести слой масла толщиной, равной четверти длины звуковой волны в масле. Для такой оптимальной установки сконструированы приспособления, с помощью которых к кварцевой пластинке, нахо-

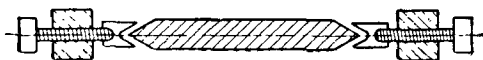


Рис. III,10. Крепление кварцевой пластинки с заостренными краями.

дящейся в масляной ванне, можно приближать поршень с поверхностью, параллельной кварцу, причем расстояние между обеими поверхностями можно регулировать.

Для получения ультразвуковых волн в электропроводных жидкостях можно привести в соприкосновение с жидкостью только излучающие поверхности — через отверстие в резервуаре или, опустив в жидкость кварц в кожухе, имеющем соответствующее окно [43]. Можно также воспользоваться излучением кварца в масле и ввести исследуемую жидкость в стеклянном сосуде в масляную ванну. При большой мощности излучения рекомендуется погружать кварц в трансформаторное масло и т. п. во избежание поверхностного пробоя между электродами на кварце. Пользуясь кварцем, подводимое к нему переменное напряжение надо вводить постепенно, чтобы сначала удалить имеющиеся между электродами газовые пузырьки. Если во время процесса дегазации, вследствие слишком высокого напряжения, возникают искры, то кварц разрушается; так как при длительной работе на большой мощности выделяется значительное количество тепла, то следует предусмотреть охлаждение излучателя, например, при помощи непрерывного охлаждения стенок сосуда.

Е) Электродинамические вибраторы

Генераторы ультразвуковых колебаний, работающие по электродинамическому принципу, описаны Гавро и Миане [44]. Вибраторы, работающие в резонансе, состоят в этом случае из цилиндрических сплошных тел, излучающая поверхность которых имеет требуемую форму, в частности, например, для фокусировки — форму вогнутого зеркала.

Ж) Вибраторы из искусственных материалов

В последнее время наряду с естественными кристаллами применяют и синтетические. Прежде всего находят применение титанат бария [45]. Изменяя состав, можно получить образцы титаната бария, имеющие при комнатных температурах значительно меньшие температурные коэффициенты [46]. Направление пьезоэлектрической оси таких вибраторов не зависит от величины и формы вибратора и определяется направлением поляризирующего поля.

З) Пистонфон

Для исследования и калибровки низкочастотных приемников необходимы источники звука, которые позволяют медленно изменять давление. Особенно подходящим для этой цели является пистонфон (рис. III,11). Его подвижная система присоединена к генератору низкой частоты. При очень низких частотах (ниже 1 *гц*) необходимо тщательно следить за герметичностью камеры, в которой изменяется давление. Это можно осуществить с помощью чувствительного манометра (манометр Теплера). Амплитуду колеблющегося поршня можно измерять при помощи микроскопа.

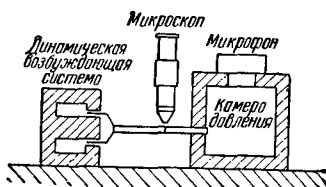


Рис. III,11. Пистонфон для испытания микрофонов.

И) Электродинамические вибрационные столы

Для исследования колебаний применяют вибрационные столы, действующие в большинстве случаев по принципу динамического громкоговорителя. При этом диффузор заменяется легкой пластиной, на которую помещаются испытываемые предметы. Мюз [47] описывает подобный стол, амплитуда колебаний которого измеряется следующим образом. К крышке стола жестко крепится сердечник из мягкого железа, который может перемещаться в катушке. Катушка включена в мостовую схему. Мерой амплитуды колебаний является коэффициент модуляции.

Подобно вибрационным столам работают механические генераторы колебаний. Они дают возможность получать вибрации с частотами до 15 000 *гц*.

Рис. III,12. Вибрационный стол с приводом от мотора.

Более мощные колебания низких частот получают, пользуясь мотором с приводом и эксцентрикром, как это показано на рис. III,12. Вибрационный стол в этой установке совершает синусоидальные колебания в вертикальном направлении с частотами от 0,1 до 20 *гц*.

§ 2. Приемники звука

А) Микрофоны

а) *Конденсаторные микрофоны.* Для превращения колебаний звука в соответствующие переменные электрические напряжения применяется большое число микрофонов различных типов, которые по принципу действия можно подразделить на электростатические, электродинамические и пьезоэлектрические. Как измерительные приборы до последнего времени чаще всего применяются конденсаторные микрофоны, поскольку при относительно простой конструкции они отличаются постоянством показаний, большой чувствительностью и точной передачей частот и амплитуд. Мембрана конденсаторного микрофона изготавливается чаще всего из алюминиевой фольги, предварительно подвергнутой искусственному старению; мембрана сильно натягивается, чтобы ее собственная частота была высокой. На расстоянии нескольких микрон от нее находится противоположный электрод, благодаря чему система оказывается сильно демпфированной. Для повышения эластичности второй электрод снабжается отверстиями, прорезями и т. п. Микрофоны такого типа изготавливаются как приемники давления, приемники скорости (градиента давления), а также как комбинированные приемники давления и скорости (рис. III,13).

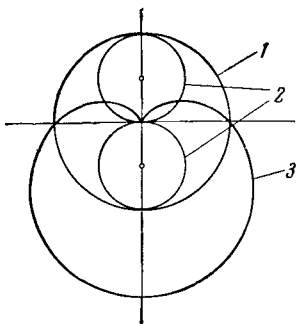


Рис. III,13. Диаграмма направленности микрофонов. 1 — датчик давления (линейные размеры много меньше длины волн), 2 — датчик скорости (градиента давления); 3 — комбинированный датчик давления и скорости.

имеет место в нормальном направлении — от звука, идущего спереди. Если с помощью приемника давления надо обеспечить ненаправленный прием также и при высоких частотах, то выбирают микрофон весьма малого размера.

б) *Направленное действие.* В качестве приемника градиента давления микрофон имеет диаграмму направленности в форме цифры 8, т. е. характеристику, состоящую из двух сфер, которые соприкасаются в плоскости мембраны. Он применяется для приема речи, а также для приема игры оркестра, потому что при этом исполнители размещаются в обеих областях высокой чувствительности. В этом приемнике не наблюдается зависимости частоты от угла, как это имеет место в приемниках давления. Нечувствительностью микрофона в плоскости мембраны пользуются для того, чтобы избежать помех, распространяющихся вблизи этой плоскости. При работе в одном помещении с громкоговорителем плоскость мембраны располагают в направлении на громкоговоритель и благодаря этому избегают акустической обратной связи.

Другой вид приемника этого типа обладает так называемой квадратичной характеристикой, т. е. микрофон обладает повышенной чувствительностью спереди и с боковых сторон, сзади же звук принимается значительно хуже. Этот микрофон удобен для исключения помех, приходящих сзади, для приема звука по определенному направлению и для работы в одном помещении с громкоговорятелями.

в) *Схема включения.* Конденсаторные микрофоны наиболее широко применяются в так называемых низкочастотных схемах, в которых на микрофон подается напряжение около 100 в [48] через сопротивление в несколько десятков Ом. С нагрузочного сопротивления снимаются переменные напряжения, обусловленные звуковыми волнами. Для достижения качественной передачи независимо от частоты это сопротивление должно быть большим по сравнению с импедансом микрофона (приблизительно 100 Ω). С помощью отрицательной обратной связи за счет сопротивления в катодной цепи лампы усилителя, следящей за микрофоном, получается расширение полосы воспроизводимых частот в направлении нижнего регистра.

В первоначальной схеме [49] микрофон включался в высокочастотный колебательный контур, который имел слабую связь с генератором. Частота контура выбиралась такой, чтобы рабочая точка лежала в середине боковой части резонансной кривой. При приеме микрофоном разговорной речи контур расстраивался, вследствие чего частотная модуляция превращалась в амплитудную. Этот метод может служить для измерения медленных колебаний давления вплоть до нулевой частоты. Об одной схеме такого типа, которая отличается низким уровнем шума, сообщает Заальберг фон Зельст [50].

Конденсаторный микрофон и первая усилительная лампа располагаются возможно ближе и для снижения уровня фона экранируются общим экраном. Подводка от первого усилителя ко второму, обычно длиной 1 м, также экранируется. Экранирование и правильное согласование выхода лампы с линией, для чего необходим трансформатор с сопротивлением около 200 Ом, имеют большое значение. Целесообразно заземлить среднюю точку обмотки трансформатора.

Б) Электродинамические микрофоны

Электродинамические микрофоны из-за их незначительного внутреннего сопротивления можно непосредственно подключать к первой усилительной лампе при помощи длинного экранированного провода [51]. Обычно в корпус микрофона вмонтирован трансформатор, который согласует малое сопротивление катушки микрофона с сопротивлением экранированной линии (около 200 Ом). Для получения гладкой частотной характеристики за мембраной микрофона делается несколько демпфирующих полостей с различными собственными частотами, которые соединяются друг с другом каналами. Этот микрофон имеет характеристику направленности, подобную характеристике конденсаторного микрофона давления. Выравненную частотную характеристику имеет также ленточный микрофон, который работает как приемник скорости. На концах свободно подвешенной между полюсами сильного магнита и настроенной на низкую частоту алюминиевой полоски при приеме звука появляются

переменные напряжения, которые с помощью трансформатора подводятся к сопротивлению в 200 ом. Для этого микрофона форма диаграммы направленности не зависит от частоты. Прием в плоскости полосок практически невозможен.

В) Кристаллические микрофоны

а) *Пьезоэлектрические микрофоны* для приема звуковых волн в воздухе в полосе частот слышимых звуков чаще всего изготавливаются из кристаллов сегнетовой соли. Из кристаллов вырезают полоски, которые работают на изгиб. Две такие пары полосок, разделенные дистанционной прокладкой, образуют двойную звуковую ячейку. Емкость такого микрофона равна примерно 1000 пф, так что его можно подключать длинным экранированным проводом к высокоомному входу усилителя. Микрофон такого типа, особенно хорошо оправдавший себя, предложил Ф. Масса [52]: кристаллический микрофон с элементом из фосфата аммония небольшого размера, диаметром 3 мм, был соединен с измерителем звукового давления и позволял проводить измерения в области частот от 50 гц до 250 гц. Не так давно стали применяться титанаты бария [53]. Эти материалы более устойчивы против действия температуры и влажности, нежели сегнетова соль.

б) *Направленное действие.* В случаях, когда прием желательно осуществлять только по одному направлению, можно принять следующие меры: микрофон надо поместить в фокус вогнутого зеркала, тогда для всех звуков, длина волн которых мала по сравнению с размерами вогнутого зеркала, будет иметь место направленное действие. Для измерения так называемого направленного рассеяния в объемах при частоте около 2000 гц Р. Тиле [54] использовал параболическое зеркало диаметром 1,2 м. Для той же цели микрофон можно подключать к экспоненциальному рубору. Была предложена еще одна замечательная установка, состоящая из большого числа параллельных, открытых спереди трубок различной длины, которые устанавливаются перед микрофоном [55]. Вследствие интерференции они гасят звуковые волны, падающие со стороны.

Г) Работа на открытом воздухе

Конденсаторные и ленточные микрофоны очень чувствительны к низкочастотным колебаниям давления, которые вызываются ветром, а также к возникающим при ветре завихрениям на корпусе. Поэтому при работе на открытом воздухе эти микрофоны необходимо защищать. Для этого делают шарообразный каркас и обтягивают его звукопроницаемым материалом, например шелком и т. п.; этим можно предохранить микрофон от действия ветра. Однако этот способ защиты при больших скоростях ветра не всегда эффективен. В таких случаях целесообразно поместить микрофон в маленький шар-зонд, который осторожно наполняется воздухом и завязывается поверх подводящего кабеля [69], [70].

Д) Исследование звукового поля

Для измерения звукового давления применяется диск Релёя. Здесь приводятся некоторые указания Беранека [1] относительно веса и размеров диска, полезные при их изготовлении; из покров-

ного стекла: 0,05 г, радиус 0,63 см, толщина 0,016 см; из слюды: 0,006 г, радиус 0,497 см, толщина 0,003 см; из меди: радиус 0,581 см, толщина 0,02 см; из алюминия: радиус 0,5 см, толщина 0,0004 см. Шайба подвешивается на стеклянных или кварцевых нитях, иногда на проволоках из фосфористой бронзы.

Е) Измерение интенсивности ультразвука

Очень простой мерой мощности ультразвуковых колебаний может служить высота фонтанов жидкости, появляющихся над ее поверхностью при работе ультразвуковых генераторов [56]. Для измерения звукового давления, пропорционального квадрату их амплитуды, служит звуковой радиометр. В простейшей форме он состоит из легкой шайбы, подвешенной к крутильным весам [57]. В одном из приборов, работающем по этому принципу, на конце коромысла весов установлена шайба, а на ее поверхности расположено очень большое число маленьких конусов, с помощью которых удастся избежать направленного отражения и образования стоячих волн. Движение шайбы под действием звуковых волн передается указателю, который перемещается по шкале, калиброванной в $см^2$. Прибор наполняется водой и через нее приводится в соприкосновение с вибратором, мощность которого измеряется. Баумгарт [58] предложил измеритель давления, который в качестве вращающейся поверхности имеет наполненный воздухом усеченный конус. Звуковые волны, падающие в направлении вершины конуса, отражаются и поглощаются стенками кожуха. Подходящим поглотителем является стеклянная вата. Х. Оберст и П. Рикман [59] разработали метод измерения звукового давления, при котором вибратор излучает звук в направлении книзу, в ванну с водой. Звук падает на поплавок с полой конической поверхностью, отражающей звук; благодаря этому поплавок автоматически центрируется на пути звуковых лучей. В нижней его части на стерженьке укреплена шкала, опущенная в тяжелую жидкость (четырёххлористый углерод), которая предохраняет поплавок от погружения под воду. Если звук падает на поплавок сверху, то он опускается глубже, причем глубина погружения предварительно тарируется; для этого на поплавок кладут последовательно различные гири. Для предохранения от циркуляционных потоков между вибратором и отражателем устанавливается наклонно звукопроницаемая алюминиевая фольга.

В случае, когда ультразвук модулируется частотой сети переменного тока, его можно слышать с помощью соответствующего стетоскопа [60].

Ж) Тепловые действия ультразвука

Для обнаружения изменения ультразвука можно также с успехом использовать его тепловые действия и термоэлемент [61]. Платиновая проволока (проволока Волластона) толщиной в несколько микрон и длиной от 15 до 20 мм предварительно слабо нагревается в схеме мостика Уитстона. Ее присутствие в поле звука не нарушает распространения волн. Для измерения мощности служит аппарат, в котором маленькое вогнутое зеркало концентрирует падающий на него звук в своем фокусе; в этой точке устанавливаются спай нескольких термопар. Грццмахер [62] использовал тепловой

эффект в одном устройстве. Один конец длинного, согнутого под прямым углом стеклянного стержня он ввел в звуковое поле. На другом конце этого стержня был укреплен стеклянный шар, внутренняя полость которого под действием ультразвука нагревалась; это показывал манометр, присоединенный к шару. Линдстрём [63] показал, что для измерения мощности звука можно пользоваться обычным термометром, внося его ртутный шарик в звуковое поле.

Для демонстрационных опытов можно пользоваться чувствительным пламенем [64]. Давление газа должно быть равно примерно 8 кг/м^2 . Кончик сошла должен иметь диаметр около 4 мм , но на расстоянии 2 мм от конца он должен конически сужаться до $1,6 \text{ мм}$. Действие ультразвука на биологические объекты см. [65].

3) Ультразвуковые зонды

Для количественных измерений лучшим прибором является пьезоэлектрический приемник, даже по сравнению с конденсаторными микрофонами; в особенности пригодны пьезоэлектрические приборы с твердым диэлектриком [66], их чувствительность про-

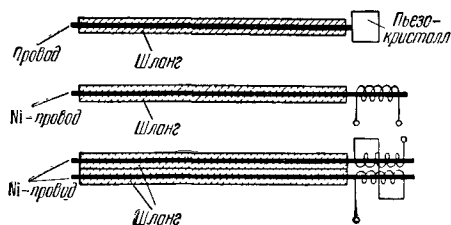


Рис. III,14. Ультразвуковые зонды по Коппельману.

стирается до частот 100 кгц . По данным Кэди, изменяя расстояния между электродом и поверхностью кварца, можно в небольших пределах настраивать кварц на волну генератора звука. Кристаллы как приемники (зонды) можно сделать очень маленькими, в этом случае они вызывают лишь незначительное искажение зву-

кового поля. В большинстве случаев целесообразно кристалл монтировать вместе с первой лампой в одном экранированном футляре. Соколов употреблял для такого типа приемников сегнетову соль.

Простые и эффективные ультразвуковые зонды сконструировал Коппельман [67]. Как показано на рис. III,14, они состоят из куска шланга, через который протянута проволока, которая лишь немного одним концом погружается в жидкость. На другом ее конце закреплен пьезокристалл, который преобразует получаемые проволокой звуковые колебания в колебания электрического напряжения. Такой же зонд может работать с никелевой проволокой (толщиной около 1 мм); в нем переменное напряжение получается в катушке. Чтобы получить приемник градиента давления, применяют две проволоки в одном шланге.

II) Ультразвуковой интерферометр

Бергман построил интерферометр с быстрым отсчетом показаний, воспользовавшись особым методом [68]. В этом приборе рефлектор быстро перемещается на заданное расстояние, а число проходящих при этом максимумов колебаний отсчитывается электро-

ной декадной счетной лампой (тип Е1Т). К такому способу необходимо прибегать в тех случаях, когда по скорости распространения делают заключения об изменениях в исследуемой среде при химических реакциях, при быстром изменении температуры и т. п.

К) Поглощение ультразвука

Заслуживают внимания устройства, называемые резонансными поглотителями [69], которые применяются для поглощения звука в воде. Они заключают в себе воздушные полости, служащие поглощающими резонаторами. Для этого, как показано на рис. III, 15, между слоем гладкой резины толщиной 4 мм и толстой железной пластиной прочно укрепляется прокладка с цилиндрическими полостями диаметрами от 5 до 2 мм. Коэффициент поглощения в интервале частот от 9 до 18 кгц равен 99%.

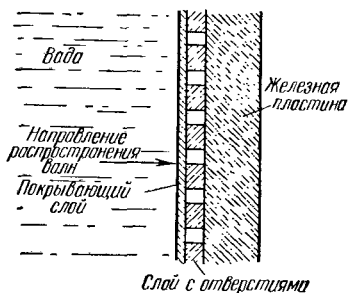


Рис. III,15 Резонансный поглотитель звуковых волн в воде по Мейеру и Оберсту.

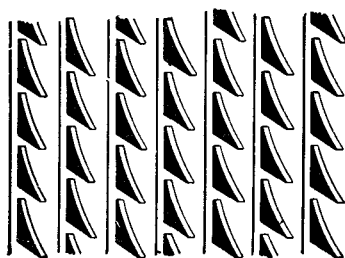


Рис. III,16. Звукопоглотитель для облицовки стен бассейнов (опшановые ребра).

Для облицовки стен бассейнов, для акустических исследований применяются широкополосные поглотители (интервал частот 5—50 кгц) из эластичных пористых материалов [70]. Порам придают остроконечную форму (рис. III,16), чем достигается плавный переход от акустического сопротивления воды к акустическому сопротивлению облицовочного слоя.

§ 3. Инфразвук

А) Приемники инфразвука

Очень медленное изменение давления можно обнаружить и измерить с помощью конденсаторного микрофона. Для этого необходимо только следить за тем, чтобы воздух, находящийся в объеме между мембраной и противоположным электродом, не соединялся с наружным воздухом или соединялся с ним только через очень узкий капилляр. Чтобы можно было вести измерения до нулевой частоты, применяют схему с несущей частотой (см. выше). Для наблюдения медленных колебаний типа сотрясений необходим приемник колебаний, распространяющихся в твердых телах, который обычно работает по электродинамическому принципу. С успехом

используются также пьезоэлектрические кристаллы, размер которых может быть очень малым. Так, В. Холле [71] описывает одну предложенную Х. Оберстом систему, в корпус которой ($15 \times 20 \times 20$ мм³) вделан кристалл фосфата аммония, настроенный на 7,5 кгц и работающий на изгиб.

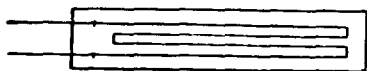


Рис. III,17. Тензометрический датчик.

Современные измерители ускорения с элементами из титаната бария были описаны Брюзлем [72]. Для регистрации медленных колебаний, например деталей машин, пригодны тензометрические датчики (рис. III,17). Провод или лента с большим сопротивлением наклеивается, как показано на рисунке, на бумажную полоску или фольгу из искусственного материала. При деформации полоски, всей плоскостью приклеенной к месту, где ведется измерение, происходит изменение сопротивления проволоки. Датчик включается в мостиковую схему, работающую на несущей частоте [73].

Б) Калибровка приемников

Для облегчения калибровки электромеханических преобразователей применяется следующий метод: на вибрационном столе рядом с испытываемым преобразователем помещается очень маленький контрольный датчик, обратным воздействием которого на стол, очень малым, можно пренебречь. Сигналами с контрольного датчика после усиления пользуются для управления силовой установкой, приводящей в движение вибрационный стол. Этим обеспечивается постоянство амплитуды колебаний стола в широком диапазоне частот. Можно, следовательно, при непрерывном изменении частоты непосредственно регистрировать постоянную передачу [74].

§ 4. Помещения, свободные от эха

Если в свободном звуковом поле производятся точные исследования, при которых требуется получить постоянное звуковое давление или снять диаграмму направленности, то необходимо иметь помещения со стенами возможно более сильно поглощающими звук. Для этой цели оказалось целесообразным подвесить перпендикулярно к стенам на небольшом расстоянии друг от друга ватные полосы, а между ними и стеной проложить еще слой ваты [75]. Из соображений пожарной безопасности вата должна быть огнестойкой (шлаковая вата). В помещении натягивается сетка для хождения, так как пол также должен быть звукопоглощающим. Целесообразно также туго натянуть сетку из стальной проволоки, на которую можно установить измерительные приборы. Более эффективными, чем ватные полосы, оказываются конусы из звукопоглощающих материалов [76], угол конусности которых выбирается так, чтобы падающие звуковые волны на противоположной стороне конуса снова отражались; постепенно при многократном отражении с большими потерями волны заглушаются. Так как поглощение на по-

верхности особенно эффективно только при высоких частотах, то позади конусов устанавливают дополнительно резонаторы, гасящие звук [77] низких частот; таким путем достигается равномерное поглощение во всей области слышимости.

§ 5. Аудиометр

Определение порога слышимости на различных частотах для наблюдателя и исследуемого субъекта связано с рядом трудностей. Для их устранения Бёкши разработал аппарат, позволяющий исследуемому субъекту проверять самого себя. Интенсивность звучания тонов он регулирует кнопкой. Частота тонов медленно меняется, и наблюдатель все время находится на границе слышимости и неслышимости [78]. Построенный по этому принципу прибор описан Кайзером [79]. Мраз и Дистель [80] изобрели аудиометр нового типа, в котором сила звука регулируется не механическим переключателем логарифмического ступенчатого потенциометра, а при помощи электронной схемы. Это сильно упрощает обращение с прибором и устраняет потрескивание при переключении.

ГЛАВА II

ЭЛЕКТРОДЫ

§ 1. Электроды для разрядных трубок

А) Изготовление электродов для разрядных трубок описано на стр. 102, а их дегазация — на стр. 170.

При конструировании электродов следует иметь в виду, что из них в разрядных трубках выделяется значительное количество тепла. Поэтому целесообразно делать поверхность электродов максимально большой. Кроме того, необходимо принимать во внимание распыление катодов. Этот эффект почти не наблюдается у алюминия и железа. Рекомендуются также никель и сталь марки V₂A.

Б) Для увеличения теплоотдачи электродов за счет излучения можно покрыть их слоем углерода. Это можно сделать или раскалив их в ацетилене, или по Франку, Патаю и Томашеку [1] — электрофорезом коллоидального графита. Раствор, содержащий 13 мг графита на 100 см³ воды, разлагают электролитически при 70—80° С в течение 8—15 минут, плотность тока около 1,4 ма/см². Графит осаждается на аноде. Поверхность электродов перед электролизом необходимо сделать шероховатой, для этого ее несколько раз окисляют и восстанавливают.

В) При откачке газа из разрядных трубок с алюминиевыми электродами весьма сомнительным является применение ртутных насосов без вымораживающей ловушки, хотя бы охлаждаемой водопроводной водой; это объясняется тем, что большое количество ртути попадет в разрядную трубку, в результате чего алюминиевые электроды амальгамируются. Последнее может привести к очень неприятным последствиям. Если такие разрядные трубки (после окончания опытов) хранят наполненные воздухом, то амальгамированный алюминий окисляется до порошко-

образного состояния — серого глинозема, в то время как освобождающаяся ртуть продолжает амальгамировать другие части электрода, так что через несколько недель электроды превращаются в кучки глинозема. Средством против этого повреждения электродов служит сильное нагревание их при одновременном продувании воздуха через трубку.

Г) Светочувствительные электроды (фотокатоды) и электроды, эмиттирующие вторичные электроны, изготовляют следующим способом [2]: электрод, покрытый слоем сурьмы, после монтажа его в разрядной трубке сильно нагревают в вакууме; затем, введя в трубку незначительное количество водорода, пропускают через нее разряд, для которого можно пользоваться высокой частотой. После выкачивания из трубки H_2 электрод активируется цезием без повторного введения воздуха.

§ 2. Электроды для электролиза

А) Бромированные серебряные электроды. В качестве заменителей платиновых электродов Рот [3] предлагает бромированные электроды из чистого серебра, особенно в случае, когда бромосеребряный слой электролитически покрывается еще платиновой чернью. Слой $AgBr$ получается в результате действия паров брома на серебряные электроды.

Б) Графитовые (угольные) электроды, применяющиеся при электролизе солей, служат более продолжительное время в том случае, если они пропитываются метилметакрилатом и если введенный в их поры сложный эфир полимеризуется [4].

В) Стекланные электроды в настоящее время широко применяются для определения pH и имеются в продаже [5].

Г) Аноды следует выбирать, принимая во внимание [6]:

1. Степень чистоты анодного материала.
2. Его технологическое состояние, обусловленное методом изготовления (например, отливка, вальцовка).
3. Форму анода (пластинка, стержень, бутылка или толстый цилиндр).
4. Степень растворимости (степень пористости); анод следует выбирать так, чтобы электролит не пересыщался ионами металла.
5. Степень и вид неблагоприятного изменения анода в результате его постепенного электролитического растворения (пассивация, образование раковин и шлама).

§ 3. Горячие катоды [7]

Электронная эмиссия раскаленных тел благодаря развитию радиопромышленности стала проблемой большого технического значения. В этом разделе мы ограничимся практическими указаниями для физиков, которым при их экспериментальных работах необходимо применение горячих катодов; в остальном мы отсылаем читателя к перечисленным ниже работам, в которых резюмируются материалы по этому вопросу. В промышленных лабораториях была проделана громадная работа по совершенствованию оксидных катодов, имевшая целью сделать эти источники электронов предельно экономичными. Разумеется, изготовление все более совершенных катодов потребовало предварительного накопления большого опыта. Однако все еще применяют, как показывают приведенные ниже

указания, сильно эмиттирующие слои, которые в бесчисленных экспериментальных работах хорошо себя зарекомендовали.

На рис. III,18, заимствованном из книги Эспе и Кноля, представлены важнейшие материалы, применяющиеся для изготовления накаливаемых катодов. На графике по оси абсцисс нанесена температура катода T_w , а по оси ординат — удельный ток насыщения в $ма/см^2$. Температурная область, представляющая интерес для технических целей, обозначена на каждой кривой жирной линией.

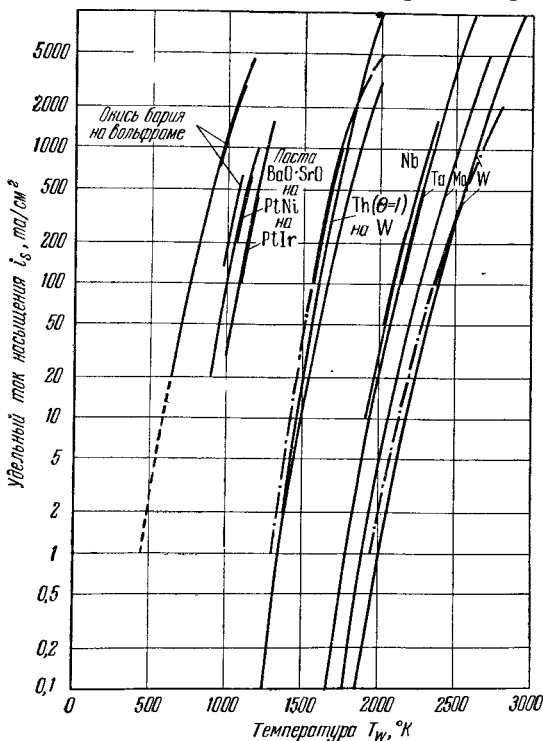


Рис. III,18. Материалы для накаливаемых катодов.

Для горячих катодов рекомендуются следующие составы: а) ковкий и вязкий сплав Ni, содержащий соли щелочноземельных элементов с незначительной добавкой металлов (например, Ti, Si, Cr, Co, Mn, Zr или Al), восстановленных солями Ba или Sr [8]; б) смесь, в основном состоящая из BaO, ThO₂ с незначительной добавкой 3BaO·WO₃ или 3BaO·MoO₃, при этом BaO можно заменить CaO или SrO [9]. BaWO₃ можно получать в качестве промежуточного слоя на W-катадах [10], если порошок W, смешанный с BaCO₃, нанести на катод и сильно нагреть в вакууме при давлении 10⁻⁷ мм рт. ст. Более высокое давление препятствует образованию BaWO₃.

Горячие катоды с бифилярной спиралью можно изготовлять следующим образом [11]. Две расположенные рядом проволоки, из которых одна растворима в каком-нибудь растворителе, а другая нерастворима (например, проволоки из W и Mo), наматываются вместе на тонкую вспомогательную проволоку. Все это наматывается на сердечник с круглым сечением. Этот сердечник так же, как и вспомогательная проволока, химически растворим. Зазоры между витками рабочей проволоки, образующиеся после растворения вспомогательной проволоки, заполняются оксидной массой.

Нагревательную спираль для горячих катодов можно изготовить [11], наматывая на круглый сердечник проволоку, предварительно раскаленную. Если на такую спираль надеть графитовый цилиндр, то ее витки электрически замыкаются и при прохождении тока рекристаллизации будут подвергаться только концы спирали; этим приемом удается избежать механических напряжений, которые в противном случае приводят к деформации спирали. После удаления графитового цилиндра вся спираль нагревается электрическим током и окончательно рекристаллизуется.

А) Из чистых металлов для катодов в физических лабораториях можно применять, по-видимому, только вольфрам, который, в отличие от других катодов с высокой эмиттирующей способностью, обнаруживает постоянство эмиссии при продолжительной работе, нечувствительность к небольшим следам газа в лампе и воспроизводимость в эмиссии для отдельных катодов. Вольфрамовые катоды, вследствие потерь на излучение при высоких рабочих температурах, являются менее экономичными по сравнению с оксидными; однако это в данном случае не играет роли, так как удельная эмиссия вольфрамовых катодов все равно составляет лишь от $\frac{1}{10}$ до $\frac{1}{50}$ доли удельной эмиссии оксидных катодов. О силах тока, необходимых для накала проволок, см. рис. III, 18.

Б) Торированные катоды изготовляются, как известно, путем добавления около 1% ThO_2 к вольфрамовому порошку, который служит для изготовления проволоки. При кратковременном нагревании до температуры белого каления (2800°K) после предварительной дегазации ThO_2 разлагается, кислород покидает металл, и вольфрамовая проволока покрывается (при благоприятных условиях) одноатомным слоем тория. Большим недостатком торированных катодов при их применении во многих исследовательских работах служит быстрое распыление активного слоя под действием бомбардировки ионами (с энергией выше 50 эв , для водорода — 500 эв). Поэтому предварительным условием их применения является установление наивысшего достижимого вакуума. Удельная эмиссия торированного катода в пять—десять раз больше, чем вольфрамового.

В) Оксидные катоды [13]. Сильная электронная эмиссия накаливаемых оксидов щелочноземельных металлов была открыта, как известно, еще в 1903 г. Венельтом. На основании новейших данных оксидные катоды в активированном состоянии представляют собой так называемые сверхполупроводники. Для эмиссии необходим избыток атомов металла, которые располагаются в кристаллической решетке оксида металла; небольшая часть их находится на поверхности катода. Например, в случае катода из окиси бария отношение бария к кислороду не соответствует точно формуле BaO ; бария содержится несколько больше, чем кислорода.

Различают три основных типа оксидных катодов: чистые (невывяженные), вывяженные и дистилляционные катоды. Эти катоды специально предназначаются для высокого вакуума. Катоды, которые применяются в газоразрядных трубках, изготавливают путем добавления к окислам щелочноземельных металлов также других окислов для того, чтобы оксидный слой был способен противостоять ударам ионов. Наиболее широко употребляются в настоящее время невявяженные оксидные катоды; при их изготовлении углекислые соединения щелочноземельных элементов в виде пасты наносятся различными приемами на подложку, а затем высушиваются на воздухе или в печи.

Опишем здесь только те способы, которые пригодны при лабораторном изготовлении оксидных катодов.

В качестве подложки применяются: для катодов с прямым подогревом — главным образом вольфрам и платина, для катодов с косвенным подогревом — обычно никель, содержание марганца в котором не должно превышать 0,1%. Большое содержание марганца может резко уменьшить эмиссию. Расплавлением никеля в вакууме или в водороде можно уменьшить количество марганца в никеле до незначительных следов его.

Например, один из образцов катода с косвенным подогревом состоит из никелевой трубочки в качестве подложки и вольфрамовой спирали, служащей нагревателем. Нагреватель изолируется от никелевых трубочек слоем окиси алюминия, которая наносится на спираль в виде пасты, причем связующим веществом служат органические соединения или нитрат алюминия; затем паста спекается в атмосфере водорода при температуре 1800—2000° К.

Эмиттирующий слой наносится на металл подложки также в виде пасты. При изготовлении отдельных катодов пасту можно намазывать на катод или окунавать катод в пасту; при изготовлении небольших партий катодов рекомендуется также нанесение слоя при помощи пульверизатора, что позволяет получить лучшую однородность качеств различных катодов. Смеси из углекислых соединений щелочноземельных металлов обладают большей эмиссией, чем те же соединения одного элемента. Ничтожное загрязнение углекислых солей оказывает большое влияние на их эмиттирующие свойства. Наилучшие углекислые слои можно приготовить, если водный раствор любой азотнокислой соли или гидрата окиси обрабатывать углекислыми солями щелочных металлов или непосредственно углекислотой. При всех работах требуется соблюдение максимальной чистоты.

Кроме того, при помощи какого-либо растворителя, а иногда также добавляя связующее вещество, например коллодий, из углекислых солей можно приготовить суспензии на спирте или дистиллированной воде.

По данным Эспе и Кноля в технике применяется эмиссионная паста следующего состава: 50 г углекислого бария, 50 г углекислого стронция и от 1 до 10 г углекислого кальция, в эту смесь наливают 100 см³ спирта, затем она тонко растирается в шаровой мельнице. После этого в пасту вводят еще 200 см³ амилацетата, добавляется 1,5% сухой коллодиевой ваты (химически чистой) и 20 см³ этилоксалата. Паста наносится на носитель пульверизатором и высушивается в печи при 80—100° С (10 минут).

По другому рецепту [14] 87% углекислого бария, 12% углекислого стронция и 1% углекислого кальция перемешиваются с парафиновым маслом в кашеобразную массу, состоящую из мелких зерен, и растираются в шаровой мельнице в течение 24—48 часов. В результате получается жидкость, похожая на сливки, которой некоторое время дают отстояться, затем ее сливают с осадка.

Если необходимо иметь сравнительно большую эмиттирующую поверхность, например полоску фольги, то последнюю окунают в эту жидкость. Когда прекратится стекание капель с полоски, ее нагревают в горизонтальном положении в электрической печи при 300—350° С, в результате чего парафиновое масло испаряется. Для изготовления эмиттирующих небольших пятен (на полосках фольги) лучше вместо парафинового масла применять парафин, из которого формируют тоненькие стерженьки. Целесообразно нагревать двумя микрорелками (стр. 331) оба конца полоски, к которым приварены проволоки, подводющие ток; эти концы полоски становятся более горячими, чем ее середина (иначе капли парафина имеют тенденцию растекаться); затем стеклянной палочкой вносят кусочек (1 мм³) парафина в середину полоски, где парафин сразу испаряется.

При катафоретическом осаждении углекислых соединений, впервые примененном Патаем и Томашеком [15], можно весьма точно устанавливать толщину осаждаемого слоя, что имеет особую ценность при работе с очень тонкими слоями. Таким путем, применяя коллоидальные углекислые частицы с величиной зерна в несколько сотых долей микрона, можно приготовить слой толщиной от 0,5 до 1 мк.

Патай и Томашек дают следующий рецепт: в 100 г глицерина растворяется 70 г гидрата окиси бария ($\text{Ba}(\text{OH})_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), и при 95—100° С вводится осушенная углекислота до тех пор, пока вся водная окись бария не превратится в углекислую соль. Затем раствор разбавляют девятикратным количеством воды. Электролиз производится в течение 0,5—2,5 минуты током плотностью от 12 до 0,6 а/см² (от 7 до 0,8 в). В этой же работе приводится методика приготовления смесей Ва—Sr.

Размеры выделяющихся кристаллов зависят от вязкости глицеринового раствора. При возрастании концентрации кристаллы уменьшаются. Таким путем можно получить кристаллы величиной до 0,03 мк.

После монтажа катода в электронной лампе его нагревают до высокой температуры (выжигают), в результате чего углекислые соли щелочноземельных элементов, как известно, переходят в окислы.

После этого следует активация катода. Для невыжженных катодов достаточно простого обжига при высокой температуре, чтобы в результате процесса восстановления образовался избыток бария. К выжженным катодам подводят дополнительное анодное напряжение; при этом окисел под действием протекающего через оксидный слой эмиссионного тока электролитически разлагается.

Для того чтобы сохранить в колбе хороший вакуум и, благодаря этому, избежать отравления оксидного катода, применяют так называемые геттеры (см. стр. 20, 203).

Бариевые дистилляционные катоды изготавливают путем обжигания в парах бария вольфрамовых проволок, предварительно окислированных (сине-фиолетовый W_2O_5 или W_4O_{11} , но не желто-

ватий WO_3 !). Проволока при этом нагревается до 700°C . Желательно между катодом и анодом приложить напряжение, так как при этом положительные ионы бария быстрее оседают на отрицательном катоде. После того, как слой бария достигнет достаточной толщины (0,1—5 $\mu\text{к}$), его обрабатывают так же, как слой катода, приготовленный из пасты. Рабочая температура: $700\text{—}800^\circ \text{C}$. В качестве источника бария применяется, между прочим, барий, герметически закрытый в металлических трубочках (так называемые пилюли), которые вскрываются надлежащим образом. Из вскрытых трубочек барий освобождается при нагревании в вакууме.

Для того чтобы сделать оксидные катоды в газовых разрядных трубках стойкими против распыления и испарения, к щелочноземельным углекислым соединениям добавляют при незначительных нагрузках катода определенное количество углекислого кальция.

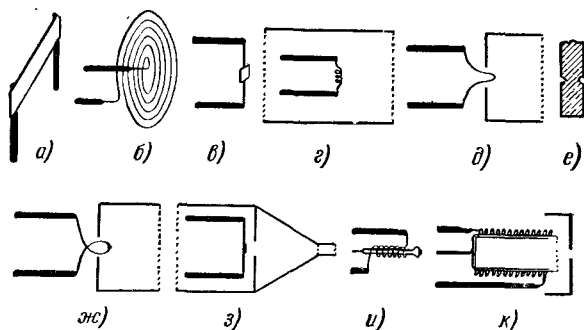


Рис. III, 19. Различные формы накаливаемых катодов: а) цилиндр Венельта старого типа, б) спираль Зиггана, в) эквипотенциальный катод старого типа, г) спираль и цилиндр Венельта, д) катод в форме шпильки, е) эквипотенциальный катод Герца (платиновые полоски), жс) компенсация магнитного поля тока накала, з) катод Энде, и) катод с косвенным подогревом по Шлезингеру, к) катод с косвенным накалом по Шретеру.

По данным Германа и Вегенера еще большую прочность слоев можно получить, если в качестве добавки вводить щелочные силикаты (жидкое стекло) или чистую ортокремниевую кислоту в виде гейзерита, а для газоразрядных ламп высокого давления — окись тория. При самых высоких давлениях и температурах в качестве эмиттирующего вещества применяется чистая окись тория. Высокую прочность оксидного слоя можно получить, подбирая определенную форму подложки; например, при подложке в форме проволоки ее следует, пока еще не нанесен оксидный слой, обвить тонкой проволочкой.

Другой формой является катод, у которого эмиттирующее вещество вводится, например, внутрь проволочной спирали.

Г) Цезиевые катоды. Работа выхода, которая составляет для вольфрама 4,5 эв, торированного вольфрама 2,7 эв и слоя бария 1,0 эв, для цезия имеет наименьшее известное значение 0,7 эв. Действительно, Беккер [16] показал, что (одноатомный) слой цезия на оксидированном вольфраме уже при температуре $500\text{—}600^\circ \text{C}$ дает сильную эмиссию. Если температуру повысить.

то эмиссия уменьшается, так как цезий начинает испаряться. Цезиевые катоды не нашли широкого применения.

На рис. III,19 показано несколько образцов накаливаемых катодов, применяемых специально в катодно-лучевых трубках, такие же электроды применяются в цилиндрах Венельта для регулирования излучения катода.

Цилиндр Венельта заряжается или до того же потенциала, как и катод, или до потенциала, несколько меньшего, в этом случае он отклоняет катодные лучи. Если падение потенциала на нити накала нарушается, то применяют эквипотенциальные катоды (рис. III,19, *e—k*). Формы катодов, возможно близкие к точечным, рассматриваются в цитированной выше книге Арденне [17].

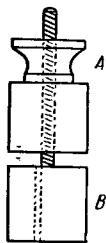


Рис. III,20.
Изготовление
спирали
Зигбана

Для изготовления плоских спиралей из вольфрамовой проволоки Зигбан [18] применяет приспособление, показанное на рис. III,20. Гайка *A* из железа или никеля, с плоской торцевой поверхностью диаметром около 10 мм, навинчивается на винт *B* так, чтобы поверхности *A* и *B* соприкасались. В цилиндре *B* параллельно оси просверлено отверстие, которое выходит непосредственно рядом с винтом. Отвинчивают гайку *A*, вставляют в отверстие две согнутые под прямым углом вольфрамовые проволочки и снова завинчивают гайку так, чтобы проволочки выходили из щели, остающейся между *A* и *B*. Затем их вместе наматывают в виде двойной

спирали, заполняющей щель; после этого все приспособление ненадолго нагревают до белого каления, снова отвинчивают *A* и снимают обе спирали, входящие одна в другую. Можно также применять проволоку в хлопчатобумажной обмотке. При нагревании обмотка обугливается, после чего ее следы нетрудно удалить (промыть спираль).

Если катодные лучи попадают внутрь заземленной металлической трубки, то предполагается, что поле в ней отсутствует. Однако Стюард [19] указывает, что вследствие наличия следов органических паров там могут появляться диэлектрические слои. Шоу [20] нашел, что внутри разрядной трубки из алюминия поверхностный потенциал составлял $+11,8$ в, а из золота $+0,45$ в.

Д) Самоэмиттирующие катоды, пригодные для электронных или усилительных ламп [21], можно получить, если нанести на подложку (Cu, Ni, V или Mo) слой оксидов, силикатов или углекислых соединений Mg, Si, Al, Be или Zr. На этот изолирующий слой (получается при испарении указанных металлов, см. стр. 115, и последующем их окислении) наносят при соответствующих условиях еще слой из смеси щелочноземельных оксидов, щелочноземельных или щелочных металлов и щелочных оксидов.

ГЛАВА III ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

В исследовательской работе часто возникает необходимость самим изготовить электронную лампу. Обычно изготавливают лампы простых типов, например типа диодов или триодов с катодами из чистой вольфрамовой проволоки, или типа ламп со специальными

нитеми накала, которые рассчитаны на нагревание током большой силы или токами высокой частоты.

Далее дается только несколько указаний, полезных при изготовлении отдельных опытных образцов электронных ламп в лабораторных условиях, т. е. без машинного оборудования.

Электроды, нити накала или другие подобные системы, как правило, монтируются на так называемой «ножке», которая изготавливается из стекла и вплавляется в стеклянный баллон лампы.

При выборе сорта стекла необходимо принимать во внимание, что его свойства должны соответствовать условиям, при которых оно будет работать в лампе: ее рабочей температуре, электрическому напряжению, изоляции, а также свойствам металлических проволочек, которые служат для подвода тока к лампе и вплавляются в ее стенки или ножку.

В лампах, рассчитанных на небольшую нагрузку и легкие электродные системы, применяются обычные сдавленные ножки. Они состоят из стеклянной трубки, один конец которой сильно разворачивается, так что образуется круглый плоский диск (тарелка, она служит для впаивания ножки в баллон лампы). Внутри этой трубки проходят подводящие провода; они состоят из: 1) медных проволок диаметром 0,5 мм, к которым приварены отрезки проволок из обмедненного платинита длиной 5 мм и диаметром 0,5 мм, и 2) никелевых проволок диаметром 1 мм, приваренных к отрезкам платинитовых проволок. Последние при изготовлении ножки задавливаются щипцами в ее втором конце, предварительно нагретом до расплавления (см. ниже). Платинит, сплавляясь со стеклом, обеспечивает герметичность лампы при высоком вакууме. Никелевые концы проводников служат для крепления электродной системы. Все операции, необходимые для изготовления ножки и сваривания проволочек, производятся на небольшом остром пламени газовой паяльной горелки. Для соединения проволочек друг с другом их концы нагревают, сближают и мгновенно сплавляют один с другим. При этом в местах соединения образуются маленькие узлы. Проволоки можно соединять также с помощью точечной сварки, однако при этом необходимо зачищать напильником острые выступающие кромки на сварочных коцках проволок. Кроме того, чтобы при точечной сварке положение проволок не изменилось, их необходимо заранее закреплять в определенном положении; для этого их можно приварить, также при помощи точечной сварки, к некоторой вспомогательной никелевой проволоке, которую обрезают после окончательного изготовления ножки.

Если, как предполагается в данном примере, для изготовления сдавленной ножки служит свинцовое стекло, то его затем придется припаять к баллону лампы, который может быть сделан из другого стекла, например тюрингского; эта операция для специалистов может сопровождаться некоторыми трудностями вследствие различных температур размягчения обоих стекол. В этом случае рекомендуется сделать ножку из того и другого стекла, сняв отрезки двух трубок подходящего диаметра из тюрингского и свинцового стекла; при различных стеклах эту операцию выполнить значительно проще, чем впаить готовую ножку в баллон лампы. Затем на конце из тюрингского стекла разворачивают тарелку диаметром, равным примерно диаметру баллона лампы; концы из свинцового стекла,

вводя в него металлический треугольник, придают форму широкой овальной щели, длина которой должна быть несколько больше диаметра трубки, взятой для ножки. После этого внутрь ножки вставляют со стороны тарелки железную трубку, обмотанную из предосторожности асбестовой бумагой; медные провода скручивают вместе, вводят их в железную трубку и устанавливают так, чтобы отрезки платинита находились в овальной щели. Этот конец трубки из свинцового стекла нагревают на горелке; до тех пор, пока проволочки не прилипают к стеклу, их держат щипцами; затем расплавленные стенки щели сдавливают щипцами так, чтобы платинит прочно спаялся со стеклом. Наконец, ножку раздувают через железную трубку, чтобы она вблизи сдавленного места вновь стала круглой. Щипцы, необходимые при этих операциях, можно согнуть из полосового железа, на их концы накладываются латунные щечки. Железная трубка и рукоятки щипцов обматываются асбестом. Сдавленную ножку после изготовления необходимо тщательно отжечь или в асбестовом чехле, или в электрической печи. Ножка после монтажа электродной системы впаивается в баллон лампы. Патрубок для присоединения к насосу лучше всего поместить в верхней части баллона лампы (тюрингское стекло). Патрубок можно также расположить внутри ножки, продув в ней отверстие вблизи сдавленной части и припаяв к нему трубочку (свинцовое стекло).

Для более высоких токовых нагрузок и более высоких напряжений можно применять ножки иного типа, например такие, у которых в их трубку впаиваются отдельно друг от друга молибденовые проволоки или стерженьки, предварительно покрытые слоем стекла (см. стр. 102).

Если лампа имеет небольшие размеры, то применять указанную ножку нецелесообразно. В этом случае на конце тонкой стеклянной трубки, которая служит одновременно штенгелем лампы, развертывают тарелку и впаивают ее в лампу, в которой перед этим укрепляется электродная система. Проводники для тока, выходящие из лампы, впаиваются одновременно с впаивкой тарелки в том же месте. Электродную систему внутри лампы можно монтировать при помощи слюдяных шайб или каким-либо иным способом.

Если в лампу высокого вакуума необходимо ввести металлические стержни или трубки, то на них предварительно наплавляют стеклянные колпачки, кольца или трубки. В этом случае проводники припаиваются твердым припоем.

Для большей прочности сдавленных ножек упомянутые узелки на подводящих проводниках в обычных условиях можно впаивать в стекло по краям сдавленного места. Но если лампа должна работать при больших силах тока, то узелки на проводниках следует располагать снаружи сдавленного места во избежание его растрескивания. Точно так же при больших нагрузках тока несколько тонких проводников (жил) предпочтительнее одной толстой проволоки вследствие лучшего отвода и распределения тепла. Чтобы в местах впаивки металла в стекло не появлялись волосные трещины, которые часто нелегко обнаружить, целесообразно выбирать сорта стекла с несколько большим коэффициентом расширения по сравнению с коэффициентом расширения металла (см. таблицы на стр. 103, 106). Разница в величине коэффициентов расширения стекла и металла до 10% считается еще допустимой (см. [1] и [2]).

ГЛАВА IV

ОКНА В РАЗРЯДНЫХ ТРУБКАХ. ТОЛЩИНА И ФИЛЬТРУЮЩЕЕ ДЕЙСТВИЕ ОКОН В ОТПАЯННОЙ РАЗРЯДНОЙ ТРУБКЕ

Если отпаянная разрядная трубка имеет стеклянное окно и его толщина неизвестна, то по Габсу, Газе и Кюстнеру [1] ее можно определить по рентгеновому снимку (100 кэ), сделанному сбоку, с расстояния 3—4 м. Оптические измерители позволяют измерить толщину стеклянной стенки (до 12 мм) с погрешностью 0,05 мм. Большее значение, чем толщина, имеет фильтрующее действие стеклянной стенки, которое может характеризоваться при помощи алюминиевого эквивалента. По Бенкену и Нитке [2] для этого можно воспользоваться кривой зависимости ослабления излучения от толщины фильтра F ; сравнивают мощность дозы с показаниями дозиметра, которые не должны зависеть от величины энергии. Для мощности дозы L имеем:

$$\lim_{F \rightarrow 0} \frac{dF}{d(\lg L)} = 0.$$

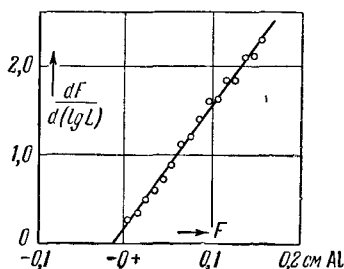


Рис. III,21. Определение алюминиевого эквивалента окешек Линдемана по кривой ослабления (Бенкен и Нитка).

Для трубки с окном конечных размеров кривая ослабления пересекает ось абсцисс, как это следует из рис. III,21, при отрицательном значении толщины фильтра F , которому соответствует эквивалентная толщина окна [3].

ГЛАВА V

ИСТОЧНИКИ ИОНОВ

Мощную, продолжительную эмиссию положительных ионов Na, K, (Rb, Cs), Ba получают, по данным Кунсмана и его сотрудников [1], следующим образом: сплавляют окись железа с 1—3% окиси одного из указанных щелочных или щелочноземельных металлов; после охлаждения сплав превращают в порошок и наносят этот порошок, как и при изготовлении оксидного катода, на платиновую фольгу (например, с помощью суспензии его в парафине). Для применения окись необходимо частично восстановить в водород. Нордмейер [2] улучшил этот способ. Ле Рой Л., Барнес [3] получают положительные ионы Fe, Ni, Cu, Rh, Pt, U и Th, но сила тока составляет только 10^{-15} — 10^{-16} а; Пауэлл и Брата [4] получают ионы Tl, In и Ga, испаряя их с поверхности окиси железа; сила тока до $2 \cdot 10^{-5}$ а. Кох [5] заменил окись железа порошком вольфрама, который сначала обезгаживается при температуре 1550° К в тигельке из молибденовой жести (2,5 мм глубиной и 1 см² поверхности, этот тигелек затем служит анодом). После обезгаживания

порошок растирается в ступке с несколькими процентами (по объему) хлорида щелочного металла, снова высыпается в тигелек и поступает в работу. При рабочей температуре 1100°K Кох получал в течение 35 часов поток ионов калия плотностью $3 \cdot 10^{-6} \text{ а/см}^2$. Максимальная плотность достигала $5 \cdot 10^{-5} \text{ а/см}^2$.

Атомы щелочных металлов, которые попадают на раскаленную поверхность, отдают ей свой валентный электрон и уходят с поверхности в виде ионов. Кэ́к и Лё́б [6] направляли атомные пучки щелочных металлов на раскаленную платиновую ленту, находившуюся под напряжением $+340 \text{ в}$; таким образом они получали ионные пучки с плотностью тока до $2 \cdot 10^{-4} \text{ а/см}^2$; Тэйлор [7] воспользовался этим эффектом для измерения распределения интенсивностей в атомных пучках; для этого он помещал на пути пучка тонкую раскаленную вольфрамовую проволоку.

Источник ионов за счет соударений электронов типа Нира можно с успехом применять в массспектрометрах [8]. Можно получать поток отрицательных ионов водорода [9], пользуясь обменом зарядами между положительными ионами, выходящими из плазмы, и нейтральным газом, если применять особые каналы.

ГЛАВА VI

ИОНИЗАЦИОННЫЕ КАМЕРЫ И СЧЕТЧИКИ, ПОВЫШЕНИЕ ИХ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Повышение чувствительности ионизационных камер или счетчиков достигается при их наполнении тяжелыми газами или при применении стенок из высокомолекулярных веществ. При количественных измерениях надо, однако, учитывать обусловленную этим зависимость от энергии, если приходится измерять в рентгенах (p) или рентгенах в секунду ($p/\text{сек}$). Применение искусственных веществ в известных пределах компенсирует это влияние [1].

§ 1. Замеиа янтаря как изолятора

В ионизационных камерах и других чувствительных измерительных приборах в настоящее время часто оказывается необходимым вместо прессованного янтаря применять другие изоляторы (см. также стр. 300), обладающие высокими изолирующими свойствами и свободные от последствий при облучении. В качестве таких веществ рекомендуется применять политрифтормонохлорэтилен, например, в форме тритена, а также хостафлона. Аналогичным веществом является тефлон.

Далее, может применяться тролитул, при обработке которого надо иметь в виду следующее: расщепление надо производить не слишком быстро, с хорошим охлаждением, лучше всего спиртом. При сверлении надо подавать сверло на незначительные расстояния, так как небольшое нагревание вызывает внутренние разрывы вследствие тепловых напряжений. При применении тролитула как высококачественного изолятора необходимо, точно пригоняя и полируя поверхности, обильно смачивать их спиртом с венской

известью, в противном случае возможны температурные напряжения. При этих операциях следует пользоваться мягкой тряпочкой (замшей), а по окончании работы промыть тролитулу чистым спиртом.

§ 2. Изготовление частотно-независимых сферических ионизационных камер произвольной величины (по Раевскому)

Ионизационные камеры, работа которых не зависит от энергии частиц, изготавливаются из графита, лучше, всего спектрально чистого, к которому добавлено небольшое количество Al или Si, подобранное опытным путем.

По методу Раевского такие камеры можно изготовить в форме шара. Для этого прежде всего делают из парафина шар (с боковым отростком) соответствующей величины или, окунув круглую колбу в расплавленный парафин, получают на ее поверхности тонкий слой парафина (Фишер). Затем на парафиновую форму наносят слой графита, достаточно толстый (см. ниже). Для этого можно окуна́ть форму в смесь графитового порошка с цапонлаком, в которую предварительно добавляют некоторое количество амилацетата (ацетона); можно также намазывать эту смесь на поверхность формы кисточкой или тряпкой, в этом случае лучше всего привести парафиновую форму во вращение.

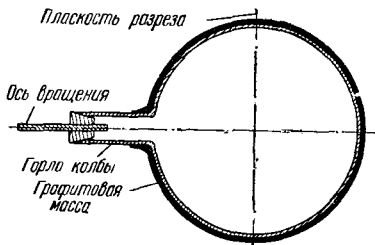


Рис. III,22. Изготовление шаровой ионизационной камеры.

Необходимо следить за тем, чтобы каждый слой хорошо высыхал и при этом не образовывалась отслаивающаяся структура. Этого можно добиться, растирая графитовую смесь тряпочкой на поверхности формы. Графитовые стенки горловины шара целесообразно сделать несколько толще. Для измерения мягкого излучения стенки графитового шара могут иметь толщину от 1 до 2 мм, а для жесткого толщина стенки должна быть больше. После хорошей просушки графитовых стенок их подогревают (в горячей воде), расплавляют парафин и выливают его.

Если же применялась колба, покрытая парафином, то графитовый слой по указанной на рис. III,22 экваториальной плоскости разрезается до стеклянной основы. После этого, налив в колбу горячей воды, можно легко снять обе графитовые полусферы. После монтажа подводки и внутреннего электрода обе полусферы склеиваются друг с другом при помощи графитовой смеси того же состава. Для того чтобы обеспечить хорошую проводимость, внутренние стенки шара необходимо тщательно очистить от парафина. При этом проводимость считается достаточной, если стенки шара проводят ток тлеющего разряда. Масса является эластичной и достаточно прочной. Если не довольствуются штифтом в качестве внутреннего электрода, как это делалось при малых размерах сферы, то внутренние электроды можно изготовить тем же приемом, как наружную сферу.

ВЫСОКООМНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ИЗОЛЯТОРЫ

§ 1. Высокоомные сопротивления

А) Металлические сопротивления

а) *Проволочные сопротивления.* В результате производства очень тонкой проволоки из сплавов, имеющих высокое сопротивление, возможно изготовление высокоомных проволочных сопротивлений. Для этой цели применяют проволоку толщиной до 0,01 мм. Проволоку наматывают спирально на шнур из асбеста, шелка или древесной шерсти. Шнур после этого покрывается лаком для предохранения его от влаги и загрязнений. Таким образом изготавливают шнуры, обладающие сопротивлением до $2 \cdot 10^6$ ом/м. Наматывая много метров такого шнура на изолирующую трубку, например, из пертиакса [1] или закрепляя его как поперечную нитку (уток) в тканях, можно получить высокоомные сопротивления до 10^8 ом, пригодные для работ с высокими напряжениями; чтобы такие сопротивления имели малую самоиндукцию и небольшую собственную емкость, проволоку следует наматывать бифилярно [2]. В качестве материалов для изготовления сопротивлений применяются манганин, константан и нихром. Промышленность выпускает такие сопротивления со следующими данными (табл. III,1).

Таблица III,1

Сопротивление, ом/м	Толщина проволоки, мм
50 000	0,04
100 000	0,03
$1 \cdot 10^6$	0,02
$2 \cdot 10^6$	0,01

б) Кроме того, очень удобны для изготовления высокоомных проволочных сопротивлений *сетки и ленты из витой проволоки*, а также специальные *ленточные сопротивления*. Обычно в таких плоских сетках и лентах через асбестовую ленту, сплетенную широкой петлей, пропускается зигзагообразно тонкая проволока с большим сопротивлением. Сетки и ленты из витой проволоки выпускаются в продажу различной ширины, с величиной сопротивления до 10 000 ом/м. Специальные ленты сопротивления при ширине 3 см выпускаются двух типов: 115 000 ом/м (константановая проволока) и 250 000 ом/м (нихромовая проволока).

Б) Сопротивления из тонких металлических слоев

Высокоомное сопротивление можно получить, нанося очень тонкий слой соответствующего металла на хорошо изолирующую поверхность твердого тела (подложку). Самыми известными и на-

дежными сопротивлениями этого типа являются сопротивления Крюгера [3]. Они представляют собой очень тонкие платиновые слои, которые наносятся на пластинки или трубочки из кварца или янтаря катодным распылением или испарением в высоком вакууме. После отложения платиновый слой «старится» при помощи умеренного нагревания. В результате получаются сопротивления с очень постоянной величиной. Такие платиновые сопротивления могут достигать величины 10^{13} ом. Их температурный коэффициент сопротивления — против ожидания — оказывается отрицательным; его значение невелико: от 2 до 4% на 10 градусов.

Подобные сопротивления из платиновых или серебряных слоев, отложенных на калане, применяются в высокочастотной технике [4]; их сопротивление достигает 10^9 ом.

В) Полупроводниковые сопротивления

а) *Сопротивления с угольным слоем.* Очень большое сопротивление имеют слои угля, осажденного на изоляторе. Такие угольные сопротивления очень высокого качества, являющиеся продуктом массового производства, особенно необходимы при монтаже радиоустановок, но одновременно находят очень широкое применение также и в лабораторной практике. В Германии они известны под различными торговыми названиями (карбовид, драловид и пр.); их стоимость не выше, чем сопротивлений с металлическими слоями. Следует коротко описать единственный применяемый в настоящее время способ изготовления угольных сопротивлений. В качестве изоляционной подложки употребляются стержни и трубочки из твердого фарфора. В электровакуумных печах они нагреваются до температуры каления (от 800 до 1000° С) и затем при этой температуре вводятся в атмосферу некоторых углеводородов. При этом, благодаря каталитическому действию горячей поверхности фарфора, углеводород разлагается, и получающийся углерод в виде мельчайших кристаллов («блестящий» уголь) осаждается на фарфоре. Толщина угольного слоя составляет около 10^{-4} мм. На концы фарфоровой подложки падаются контактные колпачки. Затем весь этот элемент покрывается изоляционным лаком, который, однако, не должен препятствовать охлаждению. Изготовленные таким приемом угольные сопротивления отличаются очень хорошим постоянством, величина сопротивления практически совершенно не зависит от напряжения. Их температурный коэффициент отрицателен, его значение невелико: при изменении температуры на 10° величина сопротивления изменяется на 0,2—0,3%.

Сопротивления «Сименс-Карбо» с сплошным угольным слоем изготавливаются весьма различной величиной, от 20 до 10^5 ом. Но если на фарфоровом цилиндре отложить слой угля в виде винтовой линии с малым шагом, то можно получить сопротивление до 150 Мом. При стандартном способе изготовления угольных сопротивлений их величина может отклоняться от номинального значения не более чем на $\pm 5\%$. При специальных методах изготовления это отклонение гарантируется в пределах $\pm 1\%$. Кроме того, угольные сопротивления изготавливаются на различные нагрузки от 0,5 до 200 ст.

Во всех случаях, когда можно допустить более высокие отклонения от номинального значения сопротивлений, применяют

преимущественно дешевые, предназначенные для радиоаппаратуры угольные сопротивления с точностью $\pm 10\%$ и для нагрузок от 0,05 до 1 *вт*. Эти сопротивления выпускаются величиной от 100 до $5 \cdot 10^6$ *ом*.

Наконец, следует еще указать, что при помощи особых методов удается изготовить угольные сопротивления величиной до 10 000 *Мом*.

б) Сопротивления с бороугольным слоем. Если раскаленный фарфоровый цилиндр ввести в атмосферу из смеси углеводородов и соединений бора, то получается бороугольное сопротивление (СВ-сопротивление); оно имеет величину значительно большую, а температурный коэффициент значительно меньший, чем соответствующие угольные сопротивления [5].

в) Сопротивления с германиевым слоем. Тонкие слои германия, нанесенные на внутреннюю поверхность стеклянных трубочек, дают весьма постоянные высокоомные сопротивления, имеющие широкое применение. Слой германия наносится следующим приемом: трубочку из твердого стекла, откачанную и обезгаженную нагреванием, заполняют смесью 25% газообразного GeH_4 и 75% водорода. При нагревании до температуры выше 370°C GeH_4 разлагается, и на внутренней стенке трубочки осаждается тонкий слой германия. После продолжительной процедуры старения эти сопротивления практически не меняются. Величины их сопротивлений при комнатной температуре лежат в пределах от 1000 *ом* до многих мегом. Температурный коэффициент сопротивления лежит в пределах от 0,1 до 0,3% на градус. Если осаждают слой германия на стеклянные трубочки, покрытые предварительно тонким слоем серебра, то сопротивления получаются по величине малыми, но с температурными коэффициентами, меньшими 0,1% на градус [6].

г) Сопротивления из окиси меди, окиси урана и урдокса. Эти термочувствительные сопротивления (термисторы) изготавливаются с значениями сопротивлений до 10^8 *ом* при 20°C . Так как они имеют очень высокие отрицательные температурные коэффициенты, то применяются преимущественно как элементы автоматических регуляторов, например, как пусковые или предохранительные сопротивления, регуляторы температуры и приборы для измерения температур. CuO -сопротивления имеют наибольший температурный коэффициент — 2,6% на градус. Их максимальная рабочая температура 220°C , превышение ее не допускается. Они выпускаются только для нагрузок 1,2 и 4 *вт* (немецкое типовое обозначение CuOLs1 , CuOLs2 , CuOLs4). UO_2 -сопротивления и урдокс-сопротивления (Mg-Ti -шпинель) необходимо помещать в стеклянные колбы, эвакуированные или наполненные инертным газом, так как при высоких температурах в этих сопротивлениях под действием кислорода воздуха обычно происходит химические изменения. Стеклянные колбы снабжаются нормальными доколами, применяемыми для радиоламп. Такие UO_2 -сопротивления могут работать при температурах не выше 600°C , а урдокс-сопротивления — не выше 500°C . Температурный коэффициент для UO_2 -сопротивления (немецкое типовое обозначение $\text{HL } 2/2$, $\text{HL } 6/2$ и т. д.) равен — 1,5% на градус, а для урдокс-сопротивления (немецкое типовое обозначение $\text{U } 3620$, $\text{U } 4520$ и т. п.) — от —1,3 до —2,3% на градус.

Г) Высокоомные жидкостные сопротивления

В качестве высокоомных сопротивлений можно также применять некоторые жидкие растворы. Однако сопротивления такого типа на практике применяются редко, так как они имеют несколько крупных недостатков. В жидкостных сопротивлениях наблюдаются более или менее ярко выраженные поляризационные явления, так что величина их сопротивления колеблется. Кроме того, температурный коэффициент таких сопротивлений обычно очень велик. С повышением температуры величина сопротивления их резко падает.

а) *Сопротивление Геманта* [7]. Это сопротивление является, пожалуй, самым употребительным жидкостным высокоомным сопротивлением. Гемант применяется в качестве изолирующей жидкости бензол, содержащий 0,7% пикриновой кислоты, и добавляет к нему этиловый спирт; в результате возникает определенная концентрация ионов, причем постоянно обеспечивается достаточный ионный резерв, так что проводимость раствора следует закону Ома. Это имеет место, пока напряженность поля меньше 3000 в/см. Удельное сопротивление раствора увеличивается с уменьшением содержания этилового спирта по логарифмическому закону (табл. III,2).

Таблица III,2

% спирта по объему	Удельное сопротивление, ом·см	% спирта по объему	Удельное сопротивление, ом·см
100	$3,23 \cdot 10^3$	5	$9,10 \cdot 10^9$
60	$1,37 \cdot 10^4$	3	$4,75 \cdot 10^{10}$
30	$2,95 \cdot 10^5$	2	$1,16 \cdot 10^{11}$
20	$1,73 \cdot 10^6$	1	$4,55 \cdot 10^{11}$
10	$1,76 \cdot 10^8$	0	$1,28 \cdot 10^{12}$

Сосудом для сопротивления служит стеклянная трубка, в которую впаяны платиновые электроды, покрытые платиновой чернью.

Заплавлять или заклеивать стеклянную трубку следует очень осторожно, так как пикриновая кислота является взрывчатым веществом. Сопротивления Геманта служат удобными добавочными сопротивлениями при исследованиях газовых разрядов. Они выдерживают продолжительную токовую нагрузку от 10^{-5} до 10^{-4} а. Если в раствор Геманта добавить от 10 до 20% фенола, то температурный коэффициент сопротивления становится настолько малым, что практически его можно не принимать во внимание.

б) *Сопротивление Маньянини*. В 1 л дистиллированной воды растворяется 121 г маннита, 41 г борной кислоты и 0,06 г хлористого калия. Удельное сопротивление 1300 ом·см, температурный коэффициент 0,2% на градус.

в) *Сопротивление Гитторфа*. Концентрированный раствор йодистого кадмия в амиловом спирте; амальгамированные кадмиевые электроды. Удельное сопротивление 25 000 ом·см.

г) *Сопrotивление Кэмпбелла.* Раствор из 90% технического этилола и 10% не содержащего воды абсолютного (безводного) этилового спирта; платиновые электроды, покрытые платиновой чернью. Удельное сопротивление $10^{10} \text{ ом} \cdot \text{см}$, температурный коэффициент 1% на градус.

д) *Сопrotивление Роллефсона.* 2—10% раствор йода в бензине. Удельное сопротивление от 1 до $5 \cdot 10^{11} \text{ ом} \cdot \text{см}$, температурный коэффициент около 1% на градус.

е) *Сопrotивление Либби.* 7% раствор изопропилового спирта в пентане.

ж) *Применение электродных ламп в качестве сопротивлений.* Рицлер для работы со счетчиками с острием и с обычными счетчиками применял в качестве высокоомных сопротивлений электронные лампы, работающие с недокалом [8]. Кенотроны с накаливаемым катодом могут служить хорошими ограничительными сопротивлениями [9].

§ 2. Изоляторы

Оценивая пригодность какого-либо изолятора, надо знать прежде всего его удельное сопротивление, затем сопротивление на пробой (пробивное напряжение) и, наконец, величину диэлектрических потерь. Удельное сопротивление изоляторов, применяемых в электростатике, должно быть выше $10^{15} \text{ ом} \cdot \text{см}$. Далее, всегда надо следить за чистотой поверхности изолятора, удаляя с нее проводящие поверхностные слои (воды или кислоты, окислов и т. д.). Сопротивление на пробой имеет значение исключительно при работах с высоким напряжением. Диэлектрические потери играют совершенно особую, решающую роль в высокочастотной технике.

Для физика-экспериментатора, кроме электрических свойств изолятора, имеют значение также и его механические свойства и особенно возможность механической обработки материала изолятора и его механическая прочность. Поэтому при дальнейшем описании изоляторов, которые применяются или пригодны для применения в лабораторной практике, будут указываться эти свойства (изоляционные свойства и возможность механической обработки).

А) Твердые изоляционные материалы, хорошо поддающиеся обработке

(см. также стр. 45, там же указана и литература)

а) *Янтарь.* Самым совершенным и прочным изоляционным материалом является янтарь. Природный янтарь полностью проявляет свои изоляционные свойства, чего нельзя сказать о прессованном (приготавливаемом из отходов промышленности, перерабатываемой янтарь). Удельное сопротивление при 20°C равно 10^{18} ом и больше, но сопротивление пробую по сравнению с этой величиной незначительно. Для высоких частот янтарь непригоден, так как имеет большие диэлектрические потери.

Механическая прочность природного янтаря несколько выше, чем прессованного, однако в обоих случаях она достаточна для тех нагрузок, которые имеют место в лабораторных условиях. Янтарь очень хорошо поддается механической обработке, например токар-

ной, сверлению и полировке. Сверлить надо осторожно, так как в янтаре легко образуются трещины. Незначительно янтарь растворяется только в этиловом спирте, амиловом спирте, серном эфире, ацетоне, хлороформе, скипидаре и бензоле.

Для получения высоких изолирующих свойств поверхности янтарных изоляторов должны быть хорошо отполированы (венская известь и спирт); их следует поддерживать в сухом состоянии, протирая спиртом.

б) *Эбонит*. К эбониту как к изолятору при работах со статическим электричеством следует относиться с большой осторожностью. В частности, под действием коротковолновых лучей, например, под действием солнечного света, поверхность эбонита, очень быстро окисляясь на воздухе, покрывается налетом сернистых кислот. В результате этого появляется значительная поверхностная электропроводность. Поэтому эбонитовые изоляторы должны иметь хорошо отполированную поверхность, которую необходимо периодически промывать спиртом. Чистый эбонит имеет удельное сопротивление в пределах от 10^{17} до 10^{18} ом · см. Пробивное напряжение высокое. Однако диэлектрические потери так велики, что применение в высокочастотной технике исключается.

Механическая прочность эбонита достаточная. Он хорошо поддается механической обработке. Несмотря на хорошие изоляционные свойства, эбонит все более вытесняется новыми искусственными веществами, имеющими часто еще лучшие свойства.

в) *Искусственные вещества*.

Изоляционные материалы, отличающиеся исключительно хорошими электрическими и механическими свойствами, изготавлиются в настоящее время промышленностью искусственных материалов.

1) *Полистирол*. Вероятно, самым совершенным исходным веществом для изоляторов из искусственных материалов является полистирол. Под принятым в практике названием тролитул подразумевается полистирол, изготовленный в форме пластин и стержней. Тонкая изолирующая полистироловая пленка известна под названием стирофлек. Полистирол при применении его в высоковольтных устройствах и на высоких частотах обладает по сравнению с эбонитом существенными преимуществами. Его удельное сопротивление при 20° С достигает 10^{17} — 10^{18} ом · см. Помимо этого, он отличается высоким пробивным напряжением — до 500 кВ/см. Небольшой коэффициент диэлектрических потерь — около $0,2 \times 10^{-3}$ при 10^6 гц — позволяет применять его также для высокочастотных работ. Тролитул отлично обрабатывается. Кроме того, он совершенно не впитывает влаги, так что его изоляционные свойства остаются исключительно хорошими и во влажной атмосфере. Так как по механической прочности он превосходит янтарь, то его можно считать полноценным заменителем янтара.

2) *Поливинилхлорид*. Этот искусственный материал также обладает очень хорошими электрическими и механическими свойствами, хотя и уступает в этих отношениях полистиролу.

Под названием *твердый миполам* в продажу выпускается искусственный материал, который состоит из поливинилхлорида; он поступает в продажу в форме пластинок, круглых заготовок и трубок. Его удельное сопротивление при 20° С составляет 10^{17} ом · см и выше. Пробивное напряжение достигает 500 кВ/см. Но коэффициент диэлектрических потерь большой, и это делает материал непригодным

для применения в высокочастотных работах. Миполам очень хорошо поддается механической обработке и обладает высокой механической прочностью. Однако он поглощает небольшое количество влаги, что снижает его изоляционные качества.

Винидур является изолирующим материалом, электрические и механические свойства которого соответствуют свойствам миполама. Он также состоит из поливинилхлорида, поступает в продажу в форме пластин, стержней, труб и пленки.

3) **П о л и т е т р а ф т о р э т и л е н**. Это искусственное вещество, поступившее в продажу под названием тефлона лишь в последние годы, наряду с весьма хорошими электрическими и механическими свойствами обладает еще очень высокой теплостойкостью. Оно выдерживает без осложнений нагревание до примерно 400°C .

Его удельное сопротивление несколько ниже, чем у поливинилхлорида, а пробивное напряжение достигает также 500 кВ/см . Диэлектрические потери даже на самых высоких частотах очень малы, так что в технике сверхвысоких частот тефлон является отличным изолирующим материалом. Тефлон очень хорошо поддается механической обработке, прочность его весьма велика.

4) **П о л и э т и л е н**. Этот материал имеется в продаже в форме пластин и пленок двух сортов под торговыми названиями *луполен* N и H. Наряду с хорошими изолирующими свойствами (удельное сопротивление около $10^{16}\text{ ом}\cdot\text{см}$) луполен обладает высоким пробивным напряжением и очень малым коэффициентом диэлектрических потерь даже на самых высоких частотах.

Луполен хорошо обрабатывается. Другим его преимуществом является малое поглощение влаги, так что его изолирующие свойства сохраняются и во влажной атмосфере.

5) **А ц е т и л ц е л л ю л о з а**, **н и т р о ц е л л ю л о з а**, **б е н з и л ц е л л ю л о з а**. Из этих органических соединений путем их переработки получается ряд хороших искусственных изоляторов, из которых в продаже имеется материал под названием тролит. Тролит изготавливается в форме пластинок, стержней и трубок; при хорошей механической прочности он очень хорошо обрабатывается. Величина удельного сопротивления $\sim 10^{15}\text{ ом}\cdot\text{см}$. Пробивное напряжение достигает 450 кВ/см . Однако диэлектрические потери так велики, что для высокочастотных работ тролит не применяется.

6) **П л е к с и г л а с**, или полиметилметакрилат, имеет удельное сопротивление порядка $10^{15}\text{ ом}\cdot\text{см}$. Его пробивное напряжение лежит между 400 и 450 кВ/см . Для высокочастотных работ он не применяется вследствие большого коэффициента диэлектрических потерь. Изготавливается в форме листов, круглого материала и труб. Отлично поддается механической обработке и обладает хорошей механической прочностью. Плексиглас заметно абсорбирует воду.

7) **П р о д у к т ы** из феноловых и карбамидных смол. Изготавливаемые на этих основах искусственные материалы применяются во всех тех случаях, когда не требуется особенно высоких изоляционных свойств. Чаще всего смолой пропитывают бумажные ленты, складывают их в несколько слоев и спрессовывают под большим давлением. Такого типа изоляторы из твердой бумаги имеют удельное сопротивление от 10^{12} до $10^{14}\text{ ом}\cdot\text{см}$. Их пробивное напряжение лежит между 200 и 350 кВ/см , диэлектрические потери велики. Твердая бумага в виде листов и труб, обладающая хорошей

механической прочностью и хорошо поддающаяся механической обработке, имеется в продаже. Одним из самых известных сортов твердой бумаги является пертинакс. Он представляет собой твердую бумагу, пропитанную феноловой смолой и спрессованную.

Другим легко обрабатываемым материалом, изготавливаемым на основе карбамидных смол, является поллопас. Этот спрессованный материал выпускается в виде пластин, труб и стержней. Его изолирующие свойства невысоки (удельное сопротивление 10^{12} — 10^{13} ом · см).

Очень хорошая изоляционная масса получается, если слюду, расщепленную на тонкие листочки, смешать с искусственной смолой в качестве связующего вещества и затем спрессовать в плотную массу. Изоляционный материал этого вида имеет удельное сопротивление около 10^{15} ом · см при хороших значениях пробивного напряжения и малых диэлектрических потерях. Он поступает в продажу под названием миканит в виде листов и труб, хорошо поддающихся механической обработке. Миканит обладает также и высокой теплоустойкостью.

Б) Твердые изоляционные материалы, плохо поддающиеся обработке (см. также стр. 45)

а) Плавленый кварц, имеющий удельное сопротивление между 10^{17} и 10^{18} ом · см при 20°C , является превосходным изолятором. Единственным недостатком его является невозможность механической обработки. Пробивное напряжение не очень велико — от 100 до 150 кВ/см. Коэффициент диэлектрических потерь при 10^6 гц составляет только $0,1 \cdot 10^{-3}$. Кварц является идеальным изолятором для высокочастотных работ. Из кварцевого порошка с полистиролом в качестве связующего вещества (последний также имеет очень небольшой коэффициент диэлектрических потерь) изготавливаются заготовки различной формы; этот материал называется аменитом, заготовки из него применяются в высокочастотной технике.

б) Фарфор. Твердые фарфоры, изготавливаемые для различных электротехнических целей, вследствие относительно небольшого удельного сопротивления малоприспособны для лабораторных работ со статическими зарядами. С повышением температуры удельное сопротивление фарфора быстро падает. Для высокочастотных работ фарфор также малоприспособен.

в) Керамические диэлектрики для высокочастотной техники отличаются очень малыми диэлектрическими потерями и высокой диэлектрической постоянной. Удельное сопротивление этих материалов имеет среднюю величину. Они выпускаются в виде специальных керамических масс, в состав которых входят магний и кремний (фреквента, калит, калан), рутил (конденса) и титан (темпа). Вследствие их твердости они не поддаются механической обработке и поэтому применяются только в виде готовых изделий.

г) Стекла. Все сорта стекла можно рассматривать только как посредственные изоляторы. При повышении температуры изоляционные свойства стекла быстро падают. Все стекла в большей или меньшей степени обладают одним крайне неприятным свойством — на их поверхности образуется водяная пленка. Поэтому для улучшения изоляционных свойств стеклянных изоляторов рекомендуется

покрывать их поверхность тонким слоем шеллака или янтарного лака. Диэлектрические потери у стандартных сортов стекол очень велики, однако пробивное напряжение является высоким.

Специальным стеклом с малыми диэлектрическими потерями и высоким пробивным напряжением является стекло минос.

д) *Слюда*. Обладая весьма малыми диэлектрическими потерями, слюда является очень подходящим для высокочастотных исследований изолятором. Ее пробивное напряжение очень велико. В зависимости от происхождения слюда обладает весьма различными изоляционными качествами. Ее удельное сопротивление при комнатной температуре лежит в пределах между 10^{13} и 10^{17} ом · см; при повышении температуры эта величина быстро уменьшается. Неприятным свойством слюды является ее легкая расщепляемость, что затрудняет возможность ее обработки.

е) *Поливинилкарбазол* под торговым названием лувикан применяется для изготовления очень хорошо изолирующих спрессованных или литых под давлением деталей с высокой теплостойкостью. Его пробивное напряжение велико, а коэффициент диэлектрических потерь мал. Поэтому он может применяться в высокочастотной технике.

В) Пластические изолирующие вещества, смолы, воски, тонкие пленки (табл. III,3)

а) *Суперполиамид*. Это похожее на роговицу вещество изготавливается для электрических целей в форме труб, шлангов и фольги. Торговые названия: игамид и лунамид. Удельное сопротивление близко к 10^{14} ом · см. Большие диэлектрические потери препятствуют применению этого материала при высоких частотах.

б) *Полиизобутилен*. Этот продукт, изготовленный в виде изолирующей пленки, обозначается как опаноль С. Он весьма пригоден для применения в высокочастотной технике вследствие незначительных диэлектрических потерь. Удельное сопротивление равно примерно 10^{15} ом · см; пробивное напряжение велико.

в) *Воски, смолы, парафин и церезин* являются превосходными изоляторами, если освободиться от незначительного количества кислоты, содержащейся в них; для этого достаточно кипячения в воде. Точно так же хорошо изолирует *шеллак* (растворяется в спирте и ацетоне); пользуясь им, можно наносить прочные, хорошо изолирующие защитные слои на поверхностях, например, стеклянных изоляторов. Далее можно назвать в качестве хороших изоляторов канифоль, сургуч и пшенин.

Прекрасно изолирующей твердой смолой является аральдит, из которого можно получать очень теплостойкие детали, добавляя к нему некоторые отвердители. Для работы на высоких частотах из-за большой величины диэлектрических потерь этот материал непригоден.

Здесь следует также назвать бакелитовые смолы и клеи на основе фенолальдегидных смол. Их изолирующие свойства не очень хороши.

г) *Тонкие изолирующие пленки*. Если необходимо получить тонкий изолирующий слой на поверхности, например, какого-либо твердого тела, то этого можно достичь очень простым приемом.

Таблица III,3

Сопоставление важнейших электрических свойств изолирующих веществ, применяющихся в лабораториях

(см. также стр. 45 и 300)

Материал	Удельное сопротивление при 20° С, ом·см	Пробивное напряжение, кВ/см	Коэффициент диэлектрических потерь $\times 10^3$	Для частоты, гц	Относительная диэлектрическая постоянная
Янтарь	10^{18}	100—200	5	800	2,8
Тролитул (полистирол)	10^{18}	500	0,3	10^6	2,3—2,5
Эбонит	10^{17} — 10^{18}	до 300	6,5	10^6	2,5—3,5
Парафин	10^{17} — 10^{18}	100—200	0,1	10^6	2,0—2,6
Церезин	10^{17} — 10^{18}	—	—	—	2,1
Плавленый кварц	10^{17} — 10^{18}	100—150	0,1	10^6	3,7—4,0
Миполамовая смола, винидур (поливинилхлорид)	10^{17}	до 500	15	10^6	3,0—3,5
Тефлон	10^{16} — 10^{17}	500	0,5	10^{11}	2
Лунолен	10^{16}	600	~0,5	10^6	2,3
Лувикан	10^{16}	500	1,5	10^6	3,0
Аралдит	10^{16}	300	270	10^6	3,6
Шеллак	~ 10^{16}	до 200	—	—	2,7—3,7
Канифоль	~ 10^{16}	—	—	—	2,6
Сургуч	10^{15}	—	—	—	~5
Пидечн	10^{15}	—	—	—	5—6
Слюда	10^{13} — 10^{17}	500	0,2	10^6	7—8
Миканит	~ 10^{15}	до 300	0,1	10^6	4—6
Плексиглас	~ 10^{15}	400—450	20—60	800	3—3,6
Феноловая смола	10^{14} — 10^{15}	до 200	50	10^6	~8
Тролит W	10^{11} — 10^{12}	450	30—40	800	6—7
Тролит F	~ 10^{14}	450	30—40	800	6
Тролит BC	~ 10^{14}	450	5	800	3—3,5
Стекло	10^{13} — 10^{14}	до 450	0,5—13	10	5—16
Миносглас	10^{13} — 10^{14}	450	0,59	10^6	8—4
Твердый фарфор	10^{13} — 10^{14}	350—380	7—12	10^6	~5
Фреквента	10^{13}	350—450	0,3—0,5	10^6	6
Калит	10^{13}	350—450	0,3—0,5	10^6	6,5
Калан	10^{13}	350—450	0,3—0,5	10^6	6,6
Ультракалан	10^{13}	350—450	0,3—0,5	10^6	6,6
Конденса N	10^{12}	150—200	0,3—0,5	10^6	40
Конденса G	10^{12}	150—200	0,3—0,5	10^6	80
Конденса F	10^{12}	150—200	0,3—0,5	10^6	80
Темпа N	10^{12}	200	0,08	10^6	12,5
Темпа S	10^{13}	200	0,07	10^6	16
Пертинакс	10^{12} — 10^{14}	200—350	20—100	800	3,5—3,6
Поллонас	10^{12} — 10^{13}	170	10—30	800	~5
Поллонас — твердая бумага	10^{12} — 10^{13}	200—300	50	800	5—7

Достаточно, нагрев поверхность тела до 40—50° С, погрузить ее затем на короткое время в слабый раствор изолирующего лака в ацетоне.

Новыми весьма хорошо изолирующими лаками являются силиконовые лаки. Изготовленные из них изолирующие пленки обладают высоким пробивным напряжением. Кроме того, коэффициент их диэлектрических потерь очень мал.

Очень подходящим для этой цели является раствор цапонлака или универсального клея в ацетоне.

Точно так же, погружая различные детали в смолообразующие органические жидкости, такие, как пиперидин, хинолин, пиридин или триэтанолламин [10], можно получать на поверхности деталей изоляционные слои с высокой пробивной прочностью.

Блэкберн [11] и Сэслоу [12] пользовались для получения поверхностных изоляционных слоев горячими слабыми растворами поливинилового спирта, поливинилацетата или ацетилцеллюлозы.

ГЛАВА VIII

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ ЭКРАНОВ

Для люминесцирующих экранов применяются различные вещества и смеси в зависимости от вида лучей (ультрафиолетовые, рентгеновские, катодные, каналовые). Стимулом к более глубокому исследованию области люминесцирующих веществ (люминофоров) и их применению при изготовлении светящихся экранов явилось развитие телевидения, газосветных ламп и защиты от излучений [1]. Именно в этих областях имеется очень много патентованных препаратов.

Люминофор в порошке и клеящий состав смешивают, тщательно растирают и полученную пасту наносят на экран. Но в этом случае лучи должны проходить через тонкие слои клеящего вещества, что в некоторых случаях может вызывать сильное ослабление лучей. Поэтому иногда покрывают экран клеящим составом, а затем его посыпают порошком люминофора; избыток последнего, плохо приклеившийся, отпадает при поворачивании и постукивании экрана. В результате к экрану приклеиваются только самые маленькие кристаллики. Для насыщения порошка на экран служит самая мелкая сетка (или кусок редкого холста, парусины), которую укрепляют на высоте 20—30 см над экраном. На сетку насыпают достаточное количество люминофора и затем легким потряхиванием просеивают его на экран.

В качестве клеящего вещества пригодны спиртовые растворители шеллака, западский бальзам, разбавленный ксилолом, или цапонлак; если экран устапавливается в вакууме для катодных лучей, то можно применить жидкое стекло. Поскольку излишек люминофора не приклеивается прочно к экрану, то порошок можно насыпать на экран толстым и неравномерным слоем. Если свечение экрана можно наблюдать также и с обратной стороны, то оп считается достаточно прозрачным. Дальнейшим усовершенствованием этого процесса является спекание кристаллического порошка в стекловидную массу при температуре приблизительно 500° С [2]. Этот

процесс был тщательно проверен на вольфрамите кальция, а также на силикате цинка; сернистый цинк можно спекать только в том случае, если предотвратить его окисление. Экраны, выпускаемые промышленностью для катодно-лучевых трубок, изготавливаются теперь, пожалуй, только таким способом. Кроме того, по данным [3] люминофор можно смешать с жидкостью (спиртом) в виде суспензии и после того, как крупные зерна осядут на дно, слить в чашку, в которой находится экран. Когда мелкие частицы осядут на экран, избыток спирта можно слить, за исключением небольшого остатка, которому предоставляют испариться. Такой экран имеет тончайшую зернистость и повреждается не так легко, как можно было бы ожидать; его можно сделать еще прочнее, если к жидкости (спирту, воде, ксилолу) добавить ничтожное количество указанных выше клеящих материалов. Выпадающий из воды осадок будет более равномерным, если добавить к воде углекислый аммоний, который препятствует электризации отдельных зерен (12,5 части карбоната аммония на 1 часть фосфора).

Испарение в вакууме [4] или катодное распыление [5] представляют новые возможности для процесса изготовления экранов (см. также стр. 118, 122). Особое внимание следует обращать на способность к прилипанию [6]. Аппаратура [7], применяемые вещества [8] и методы получения паров [9] весьма разнообразны.

Г Л А В А IX

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДИАФРАГМ

При изготовлении прецизионных (измерительных) диафрагм и щелей (для работ с проникающим излучением) целесообразно применять не чистый свинец, а его твердые сплавы. Подходящим для данной цели является сплав свинца с 5% сурьмы, который нетрудно приготовить в лаборатории. Новым широко распространенным материалом служит так называемый тяжелый металл (называемый в Германии куводур) — сплав из 90% вольфрама и 10% меди и шкеля. Плотность его равна 16,9—17,0 г/см³. Этот сплав имеется в продаже [4].

Г Л А В А X

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШТИФТОВ И ТРУБОЧЕК НЕРНСТА

А) Хотя лампы Нернста как источники освещения потеряли свое значение, тем не менее рецепт их изготовления продолжает сохранять свою ценность. Это объясняется тем, что калильные штифты из массы Нернста являются весьма подходящими источниками излучения для специальных целей, например, при спектральных исследованиях в видимой части спектра и вплоть до далеких инфракрасных волн ($\lambda=25 \text{ мк}$); поэтому штифты Нернста находят широкий спрос. При употреблении штифты Нернста необходимо предварительно подогревать при помощи газовой горелки или специального электронагревателя до температуры около 900° С; при такой температуре электропроводность штифтов оказывается доста-

точной для того, чтобы они при присоединении к соответствующему напряжению оставались в раскаленном состоянии, вследствие выделяющегося в них джоулева тепла. Если при увеличении температуры их электрическое сопротивление падает (см. табл. III,4), то в цепь тока необходимо включать нагрузочные сопротивления с положительным температурным коэффициентом. Сведения об эмиссионной способности можно найти у Брюгеля [1].

Б) При некотором навыке штифты Нернста хорошего качества можно изготавливать самим [2]; исходными материалами служат химически чистые окись циркония и окись иттрия; их берут по весу 85% и 15% соответственно. Из CeO_2 с незначительным добавлением других жаростойких окислов, таких, как ThO_2 , ZrO_2 , Y_2O_3 и т. д., также можно изготавливать калильные штифты [3]. Они имеют лучшую электропроводность, чем штифты из массы Нернста, однако весьма чувствительны к смене температур. Специально в качестве нагревательных тел для печей [4] оправдали себя калильные штифты, сделанные из смеси расплавленной окиси тория с 5% по весу Y_2O_3 , или 5% по весу La_2O_3 , или 15% по весу CeO_2 .

Таблица III,4

Электрическое сопротивление штифта Нернста длиной в 1 см и поперечным сечением 1 мм² [3]

Температура, °К	Сопротивление, ом
1020	2000
1320	330
1620	130
1920	75
2220	55

В) Те же материалы вместе с незначительным количеством азотнокислых соединений циркония или иттрия растирают до очень тонкого порошка в агатовой ступке. К этому порошку добавляют

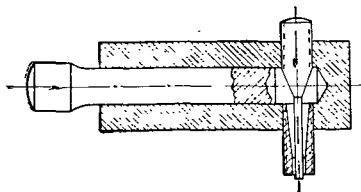


Рис. III,23. Пресс для изготовления керамических трубочек.

затем связующее вещество, как, например, трагант, со следами вазелина или несколькими каплями глицерина. Из этой массы с помощью простейшего металлического прессы (рис. III,23) можно изготовить трубочки, например, с внешним диаметром 3 мм и толщиной стенки 0,75 мм, а также трубочки большего диаметра для печей. Трубочки сначала сушатся на воздухе, а

затем медленно нагреваются в печи до температуры 1200° С или более. При этом добавленное связующее вещество выгорает. После такого прогревания трубочки приобретают достаточную прочность,

так что электроды к ним можно присоединять без особых предосторожностей.

Дальнейшее повышение прочности достигается при опускании трубочек в водный раствор азотнокислого циркония и азотнокислого иттрия с последующим накаливанием в пламени бунзеновской горелки.

Г) Калильные штифты получают лучшего качества и более прочные, если оксидную смесь сначала расплавить в дуге, а затем из растертых в порошок кусочков изготовить согласно В) трубочки. Целесообразно сначала изготовить стерженьки и трубочки по В) из нерасплавленных исходных веществ. Эти стерженьки и трубочки затем высушиваются на воздухе и плавятся в дуге. Твердые куски размельчаются и растираются в агатовой ступке до тех пор, пока порошок не пройдет через сито с отверстиями 0,05 мм. Изготовленные из этого порошка трубочки достаточно прокалить на горелке Бунзена. Они исключительно прочны, к ним можно без каких-либо мер предосторожности присоединять платиновые электроды.

Д) Мелко истолченные окислы перемешиваются с раствором азотнокислых циркония и иттрия до получения густой пасты. Масса затем накладывается слоем толщиной в 1 мм на полированную латунную палочку и прокатывается на гладкой деревянной доске. Дерево поглощает часть влаги. Масса приобретает благодаря этому определенную твердость, так что латунную палочку можно осторожно вынуть из нее. После этого для дальнейшего высушивания трубочек применяют способ, изложенный в В) и Г).

Е) Для подвода тока применяют тонкие скрученные друг с другом платиновые проволоки, которые плотно наматываются на концы трубочки. Вместе с концами трубочки их слегка смачивают раствором азотнокислого циркония и затем обмазывают пастой из массы Нерста. После этого концы трубочки просушивают и прокалывают в пламени. Проволочки должны выходить из утолщенного конца трубочки в сторону от нее. Для монтажа штифта Нерста можно использовать старый патрон лампочки накаливания, к которому мягким припоем присоединяют две никелевые проволочки для подвода тока (см. рис. III,24). Затем все соединение заливается гипсом. Никелевые проволочки несут калильный штифт и соединены на концах с платиновыми проволочками.

Если горелкой предполагают пользоваться продолжительное время при высоких температурах, то рекомендуется, чтобы не расплавить платиновые проволочки, заключить калильный штифт по всей длине в шлицованную трубочку, из керамической массы (рис. III,24). Электроды должны выдаваться из защитной трубочки, которая удерживается никелевыми проволочками, припаянными к патрону.

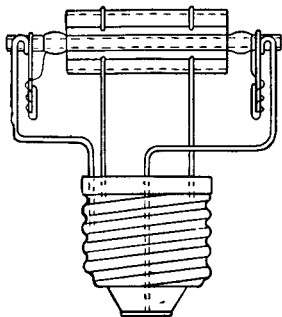


Рис. III,24. Штифт Нерста с защитной трубочкой на держателе.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

Ниже описываются несколько типов печей, которые можно без труда изготовить в лабораторных условиях [1].

§ 1. Печи с проволочной обмоткой

Во многих случаях, например, для отжига вакуумных ламп бывает достаточной максимальная температура в 500°C , созданная в цилиндрическом пространстве высотой от 20 до 30 см и диаметром от 4 до 8 см. Печь, удовлетворяющую этим условиям, можно изготовить следующим образом: на латунную или железную трубку наматывается несколько слоев асбеста, пропитанного раствором жидкого стекла, а на асбест наматывается нихромовая проволока¹⁾. Диаметр проволоки не должен быть меньше 0,6 мм. Можно также использовать нихромовую полосу $3 \times 0,2$ мм². Готовая обмотка обмазывается жидким стеклом и тальком и нагревается²⁾ до тех пор, пока этот клей не затвердеет. Концы проволоки на длине около 10 см скручивают с медной проволокой. В качестве наружной оболочки печи очень целесообразно пользоваться «диатомитовыми оболочками», которые служат для изоляции паропроводов; они получают из кизельгура, похожи по внешнему виду на кирпич, очень пористы, легко поддаются механической обработке. Из таких диатомитовых оболочек делают цилиндр, армируют его снаружи асбестом (приклеивая его жидким стеклом), по оси вставляют изготовленную печь и промежуточное пространство шириной от 1 до 4 см наполняют особой забутовочной массой или просто кизельгуром (конечно, хорошо очищенным от пыли). Для отжига вакуумной аппаратуры очень практична печь, разделенная вдоль оси на две части, для которой в качестве нагревательного элемента служит соответствующая спираль.

Изготавливая печи для температур до 1250°C , навивают нагревательную проволоку, например, из кантала или мегапира на трубу из пифагоровой массы или глинозема (окиси алюминия). Диаметр проволоки нельзя брать очень малым (окисление поверхности), чтобы не уменьшать срок службы нагревательной спирали. С другой стороны, поскольку мегапировая проволока является достаточно жесткой, диаметр ее выбирают равным примерно 1 мм. Для того чтобы проволока была прочно укреплена на трубе, используют разведенную в воде кашицеобразную «изоляционную массу 250», которая на 94% состоит из Al_2O_3 . При температурах свыше 1000°C из веществ, богатых кремниевой кислотой, электролитически выделяется кремний; поэтому, например, платиновая спираль быстро разрушается в результате образования сплавов. Мегапир также разрушается. Для изготовления каркаса печей, рассчитанных на высокую температуру, не применяются фарфор, плавленый кварц, асбест, жидкое стекло. В качестве забутовочного материала служит шамот или чистый грубопористый Al_2O_3 .

¹⁾ Загрязнения нагревательной проволоки пиритом или хлористым магнием разрушают ее; для предохранения от этого асбестовый картон следует промыть сначала в разбавленной соляной кислоте, а затем в горячей воде.

²⁾ Но не электрическим током, вследствие электролиза влажных материалов.

Нагреватели различной формы как для низких, так и для высоких температур по Егеру [2] особенно просто изготовить из большого числа маленьких элементов, называемых изолятами. К ним относятся имеющиеся в продаже изолирующие элементы из чистого, спеченного при высокой температуре, хорошо проводящего тепло Al_2O_3 , выдерживающие температуры до $1900^\circ C$. Изолирующие элементы имеют трапециевидальное сечение и снабжаются двумя продольными отверстиями. Пропуская соответствующим образом через эти отверстия нагревательную проволоку, можно из изолят делать плоские и трубчатые нагреватели. При монтаже нагревательной проволоки этот метод не требует применения раствора для обмазки. Ремонт нагревательной проволоки при перегорании осуществляется легко. Благодаря внутренней подвижности отдельных витков в корпусе нагревателя значительно снижается опасность разрыва и раскалывания изолят при резком изменении температуры. Изготовленные из элементов нагреватели цилиндрической формы могут монтироваться в железном кожухе в вертикальном положении. Пространство между кожухом и трубкой нагревателя заполняется нетвердым, свободным от пыли изолирующим материалом, например крупнопористым Al_2O_3 в виде кусочков размерами 5—10 мм. Это заполнение настолько прочно закрепляет трубку нагревателя, что она сохраняет свою форму и при температурах красного каления.

Если атмосфера печи при эксплуатации будет состоять не из сухого воздуха, то нагревательные элементы из сплавов (мегапир, нихром, канталь) перед установкой их в печь необходимо прогреть до максимально допустимой температуры под непрерывным действием струи горячего воздуха. Благодаря этому на проволоке образуется слой окисл, который хорошо защищает ее от будущих химических воздействий.

Чем выше температура, тем тщательнее должна быть обеспечена тепловая защита: при среднем качестве тепловой изоляции печь потребляет на каждые 100 см поверхности нагрева: при температуре $600^\circ C$ 80 *вт*, а при температуре $2800^\circ C$ 10 *квт*. Новым теплоизолирующим материалом является альфоль, но он применяется только для относительно низких температур. Этот теплоизолятор состоит из скотканной алюминиевой фольги. Тепловое излучение и конвекция в нем практически устраиваются, первое — в результате многократных отражений, а вторая — вследствие большого числа ячеек, наполненных воздухом. Альфоль отличается очень небольшим весом и не дает пыли. Термоизоляцию с помощью алюминиевой трубы можно разделить на внутреннюю и наружную части и заполнить внутреннюю часть шамотом, а наружную альфолем.

В работе Шульца [3] рассмотрены свойства сплавов, пригодных для использования в технических проволоочных печах. На рис. III,25

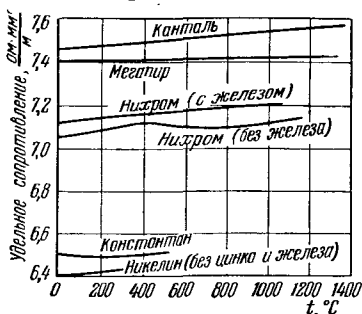


Рис. III,25. Сплавы для нагревательных обмоток.

представлены графики, заимствованные из этой работы; они выражают зависимость удельного сопротивления сплавов от температуры и показывают максимальную рабочую температуру для каждого сплава. Как никелин, так и мельхиор можно применять только до температур около 300°C ¹⁾.

Из тугоплавких металлов платина ($t_{\text{пл}}=1769^{\circ}\text{C}$) и иридий ($t_{\text{пл}}=2443^{\circ}\text{C}$) применяются редко из-за их дороговизны. Молибден ($t_{\text{пл}}=2600^{\circ}\text{C}$) [4] и вольфрам ($t_{\text{пл}}=3380^{\circ}\text{C}$) можно применять только в вакууме или в атмосфере, свободной от кислорода (например, в смеси 75% N_2 и 25% H_2 , применяемой на электроламповых фабриках). Маленькие проволочные печи этого типа описаны Фезе и Вартенбергом [4].

Чем выше температура проводника тока, тем большую роль играет электролитическая проводимость материала, из которого изготовлен каркас печи. На рис. III,26 приведены зависимости удельного сопротивления некоторых керамических материалов от температуры. Данные температурной зависимости сопротивления керамических материалов можно найти у Фёкса [5] (MgO и BeO), Хальдта и Хаазе [6] (Al_2O_3) и в книге Рушкевича [7].

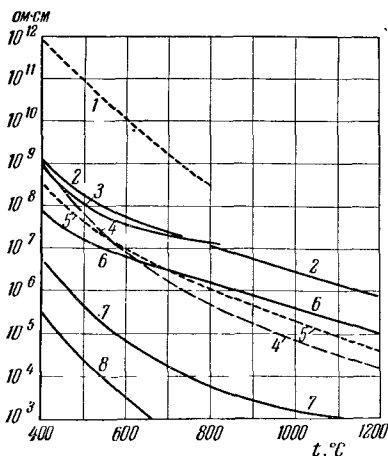


Рис. III,26. Электрическое сопротивление керамики в зависимости от температуры. 1 — спеченный корунд (по Гердиену), 2 — окись бериллия, 3 — плавленый кварц, 4 — окись тория, 5 — шпинель, 6 — окись алюминия, 7 — окись циркония, аналогична пифагоровой массе, 8 — тюрингское стекло.

Если печь предназначена для работы в высоком вакууме, то делать оболочку из кизельгура или порошка глинозема нецелесообразно, вследствие продолжительного выделения газа порошками, и излишне, так как конвекция в этом случае не играет роли. Для умень-

шения излучения нагревательную спираль окружают лишь одним — тремя цилиндрами из полированного листового металла (молибден, никель, алюминий). В качестве материала для носителя спирали в маленьких вакуумных печах (опыты с атомными пучками) очень хорош тальк (стеатит). В этом мягком материале легко сверлить отверстия и нарезать винтовую резьбу для спирали (из платиновой проволоки). Затем он обжигается при температуре 1200°C и получает благодаря этому, большую механическую прочность.

Для нагревания небольших количеств вещества до высокой температуры можно воспользоваться свободной спиралью из тол-

¹⁾ В. Фишер (Z.VDI 87 (1943), стр.197) описывает сплавы для плавких предохранителей, которые, будучи установлены в печь, прерывают ток нагрева при превышении максимальной температуры. Сплавы не изменяют свою температуру плавления даже после длительного пребывания при несколько более низкой температуре.

стого кремнистого вольфрама, которая имеет на своих концах электроды, охлаждаемые водой [8]. Для защиты от потерь на излучение спираль окружают полым цилиндром из листового тантала, который в свою очередь окружается цилиндром из листового молибдена. Дно и крышка состоят также из листов молибдена и тантала; через них проходят вводы для вольфрамовой проволоки. Внутри спирали находится тигель. Для металлов и кислых окислов, кроме силикатов, пригодны тигли из ZrO_2 и ThO_2 . Для основных окислов рекомендуется изготавливать тигли из листового тантала. Спираль высотой 32 мм из вольфрамовой проволоки толщиной 1,6 мм, имеющая 11 витков диаметром 13 мм, позволяет в течение длительного времени получать температуру до $2500^\circ C$. При большем диаметре уменьшается полезная наивысшая температура, так как в этом случае витки под действием веса спирали и магнитных сил быстрее ослабевают и соприкасаются друг с другом.

Томлинсон и Бокрис [9] в качестве нагревателя применяли вольфрамовую сетку цилиндрической формы, окруженную защитным концентрическим жестяным кожухом и помещенную в вакуумный стеклянный сосуд. В нагреваемом пространстве были достигнуты температуры до $2000^\circ C$.

В продаже имеются нагревательные элементы из нового материала для сопротивлений — конталсупера; это вещество состоит главным образом из кремнистого молибдена. Такие элементы выдерживают в окисляющей атмосфере максимальные температуры до $1600^\circ C$. Они имеют форму U-образно изогнутых стержней диаметром 6 мм. Длина нагревателя 50—80 см, его электрическое сопротивление при $1600^\circ C$ равно 0,13 ом/м.

§ 2. Силитовые печи

Температуру до $1450^\circ C$ можно получить в печи, в которой в качестве нагревательного элемента применяются силитовые стержни. Печи этого типа мало употребляются в лабораторных условиях; здесь достаточно указать, что силитовый стержень с «длиной накаливания» 150 мм и диаметром 8 мм для получения температуры примерно $1400^\circ C$ требует тока 26 в и 7,2 а. Печи [10] для получения температур до $2000^\circ C$, у которых нагревательным элементом служит массивный накаливаемый стержень из тугоплавких смесей различных окисей, исследовались в Бюро стандартов США.

§ 3. Короткозамкнутые печи, или печи Таммана

Так называются печи, у которых джоулево тепло выделяется в относительно короткой и толстостенной угольной или графитовой трубке. В этом случае необходим понижающий трансформатор. Хотя уголь уже при $500^\circ C$, а графит при $700^\circ C$ поддаются воздействию кислорода воздуха и при $2000^\circ C$ заметно испаряются, все же в печи из угольных трубок (в воздухе) можно, например, расплавить вольфрам, поддерживая в течение некоторого времени температуру $3400^\circ C$. В зависимости от нагрузки срок службы таких трубок колеблется от нескольких дней до нескольких минут. Однако они дешевы, и замена их не представляет трудностей. Подвод сильных токов осуществляется с помощью угольных шайб; они имеют центральное отверстие и радиальные шлицы и соединяются толстыми

медными полосами с концами трубки или с пустотелыми медными стойками, охлаждаемыми водой. Для тепловой изоляции большей частью употребляется раздробленный древесный уголь. Наружная стенка печи должна быть газонепроницаемой в такой степени, чтобы древесный уголь не загорался (все стенки должны быть обмазаны глиной). Сопротивление угля и графита несколько уменьшается с повышением температуры (при 2000°C на 20%). Для угля его величина лежит в диапазоне от 40 до 80, а для графита — от 7 до 12 ом · мм²/м.

Деннис и его сотрудники [11] винчивают графитовую трубку в охлаждаемый водой латунный электрод и таким путем добиваются существенного уменьшения переходного сопротивления. Электроды при помощи оконной замазки прикрепляются к лицевой стороне заполненного сажей асбоцементного сосуда. Такое устройство достаточно эластично и выдерживает тепловое удлинение трубки.

Арзэм разрезал графитовую трубку печи винтообразно, превращая ее таким образом в спираль; благодаря этому требуемая сила тока уменьшалась, а напряжение увеличивалось; кроме того, некоторая упругость спирали позволяла закреплять ее концы, несмотря на тепловое расширение. Хельбергер применял для нагревания непосредственно угольный тигель, ток к которому подводился сверху и снизу через угольные контакты. Печь непосредственно соединялась с трансформатором. При плавлении металлов в таких угольных печах образуется атмосфера, богатая углеродом, но ее состав может изменяться, так как многие расплавленные металлы поглощают углерод. С другой стороны, эта атмосфера обладает сильными восстанавливающими свойствами.

Обычные размеры угольных трубок: длина от 20 до 30 см, толщина стенок от 3 до 5 мм, внутренний диаметр порядка 20 мм. Для конструирования печей (тепловой защиты) справедливо сказанное на стр. 340. Помехой иногда являются подводящие кабели, особенно когда они должны вводиться в вакуумные резервуары. Здесь также необходимо принимать во внимание тепловое расширение угольных трубок.

А. С. Кинг [12] применял вакуумную угольную печь при своих знаменитых исследованиях по тепловому возбуждению спектров. Он достиг температуры 3200°C .

После этих удачных опытов были изготовлены трубки из вольфрама, которые успешно использовались в короткозамкнутых печах. Различные конструкции, выпускаемые компанией Осрам, описаны В. Фезе.

Рендалл [13] применяет вольфрамовую трубку в вакуумной печи без абсорбирующих тепло керамических деталей и таким путем за короткое время достигает температурного равновесия.

§ 4. Печи из гранулированного угля (криптоловые печи)

В данном случае «нагревательная трубка» представляет собой не сплошной угольный цилиндр, а слой, состоящий из мелкого угля (с частицами величиной с горошину), сопротивление которого, вследствие громадного количества мест перехода, становится значительно более высоким. Измельченный уголь (криптол) можно

приготовить из угольных отходов от углей дуговой лампы, которые раздробляются. Так как эти печи работают при высоком напряжении и малых силах тока, они не требуют включения понижающего трансформатора. На рис. III,27 изображено (схематически) сечение одной такой печи. Ток идет от электрода *A* через измельченный уголь к электроду *B*.

В кристаловых печах можно достичь температуры 2000°C . Их сопротивление в холодном состоянии значительно меньше, чем при высокой температуре (позтому необходима регулировка сопротивления в зависимости от нагрузки), и очень сильно зависит от плотности угольного порошка. Вследствие этого после каждого нагрева необходимо уголь разрыхлять проволокой.

§ 5. Печи с трубками из массы Нернста

В трубках накаливания из смесей окислов типа массы Нернста можно в атмосфере воздуха получить температуру между 1100 и 2400°C . Относительно изготовления нагревательных трубок см. стр. 307.

Тип печи, проверенной в работе, представлен на рис. III,28 (вид сбоку) [14]; трубка накаливания имеет внутренний диаметр примерно 8 мм, толщину стенки 2 мм и длину 100 мм. Вся печь монтируется на стальной штанге *St*, которая может быть зажата

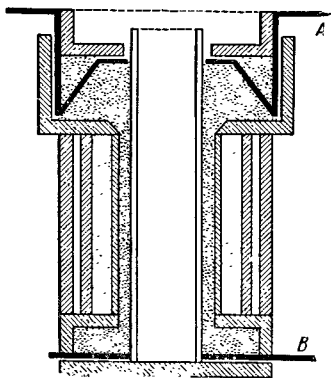


Рис. III,27. Печь с гранулированным углем.

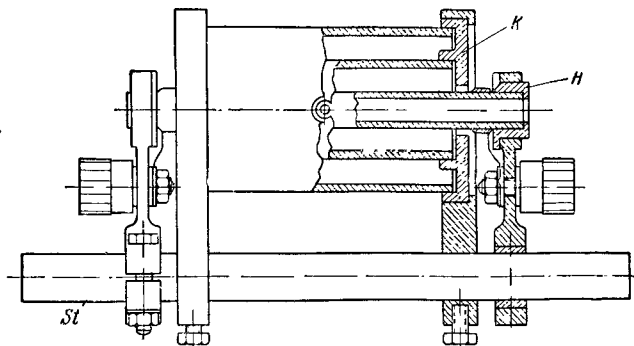


Рис. III,28. Печь с трубкой накаливания из массы Нернста.

в штативе. Трубка накаливания на концах имеет два колпачка *H* из марквардтовой массы, которые посредством металлических под-

порок соединяются с *St*. Нагревательная трубка вдоль поверхности нагрева заключена в две защитные трубки из керамической массы. Они поддерживаются двумя просверленными в центре керамическими шайбами *K*, которые вставлены в два металлических сектора с круглыми отверстиями. Секторы винтами соединяются с *St*. Электроды из платиновых или платинородиевых полос помещаются на нагревательной трубке между *K* и *H*. Перед употреблением трубку, накаливания необходимо предварительно нагреть; для этого служит особый патрон, который вдвигается в трубку. Патрон состоит из двух вставленных одна в другую фарфоровых трубок. Внутренняя трубка имеет нагревательную спираль. Для эксплуатации достаточно напряжение в сети 220 в.

§ 6. Высокочастотные печи

Печи такого рода с графитовым тиглем объемом 40 см³ описаны Фишером [15]. Ток высокой частоты (100 000 гц) генерируется тремя параллельно включенными лампами Телефункен RS 15, нагруженными трансформатором на 10 ква. Сплошной графитовый цилиндр диаметром 20 мм может быть нагрет до 2300° С за несколько минут. Хорошо проводящие металлы поглощают в тигле, конечно, меньшую мощность (от 25 до 30%).

Особым преимуществом высокочастотного нагрева является хорошее перемешивание расплава, вызванное взаимодействием между переменным током катушки и вихревыми токами в расплаве. Возникающие при этом силы стремятся вытолкнуть разогретый металл из переменного поля. Путем соответствующего расположения катушек Окрессу и его сотрудникам [16] удавалось нагревать различные металлы во взвешенном состоянии. Алюминий при этом оставался в твердом состоянии, в то время как другие металлы расплавились и вытекали. Полонис, Буттерс и Парр [17] описывают катушки простой формы, которые нетрудно изготовить для генератора на 400 000 гц мощностью 3,75 кет. Маленькие пробы алюминия, никеля, железа, титана и сплава железа и титана можно плавить во взвешенном состоянии в вакууме или защитной атмосфере.

§ 7. Катодно-лучевые печи

Наконец, можно упомянуть о предложенной Гердиеном и Риггером катодно-лучевой печи [18], в которой расплавляемый материал нагревается за счет электронной бомбардировки. Электроны испускаются действием тока высокой частоты; катодом служит внутренняя поверхность стеклянной стенки большой колбы (диаметром до 50 см), наружная стенка которой через ванну с подкисленной водой соединяется с источником тока. (Колба устанавливается горлышком вниз в сосуде с водой.) Относительно небольшой анод находится в середине колбы. Гердиен пользовался мощностями от 300 вт до 4 кет, напряжениями до 30 000 в при силе тока (в колбе) до 20 а. Навыгоднейшее давление составляет 0,4 мм рт. ст. При помощи такого прибора удалось за 5 минут расплавить вольфрамовый брусок длиной 2 см и сечением 6×6 мм².

ГЛАВА XII

ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

§ 1. Светофильтры

При помощи светофильтров обычно отделяют одну часть спектра от других. Это значит, что подыскивают светофильтр с резкой границей поглощения как со стороны длинноволновой части спектра, так и со стороны коротковолновой. Желтые или красные фильтры имеют резко спадающую в коротковолновой части спектра абсорбционную кривую. С их помощью можно отсечь коротковолновую часть спектра практически с любого желаемого места. Фильтры подобного рода имеются в продаже; можно заказать желаемую абсорбционную характеристику и получить фильтр, имеющий соответствующие свойства. Значительно труднее получить с помощью окрашенных стеклянных фильтров абсорбционную кривую, резко спадающую в длинноволновой части спектра, если предъявляются высокие требования к однородности стекла. В этом случае применяют желатиновые фильтры, окрашенные органическими красителями. Некоторые указания по изготовлению таких светофильтров даются ниже.

Узкую область спектра можно выделить при помощи комбинации фильтров Шотта. Для этой цели весьма выгодно применять и интерференционные фильтры. Они отличаются высокой степенью прозрачности и узкой областью пропускания. При помощи интерференционных фильтров очень удобно выделять определенные линии из линейчатых спектров спектральных ламп. Путем последовательного применения двух или нескольких интерференционных фильтров одного типа можно в значительной степени ослабить пропущенный фон. Интерференционные фильтры изготавливаются с максимумом пропускания от $\lambda = 225$ мк до инфракрасной области. Изготовление фильтров для ультрафиолетовой части спектра в настоящее время еще сопряжено с рядом трудностей. В последнее время в продаже появились интерференционные фильтры для краев спектра и отдельных линий. Путем различных комбинаций таких фильтров можно получить любую заданную спектральную полосу пропускания.

Интерференционные фильтры лучше всего приобретать. Пытаться изготовить такой фильтр самостоятельно не имеет смысла [0а].

При применении интерференционных фильтров надо иметь в виду, что их пропускание меняется с изменением направления падающих лучей. Интерференционные фильтры в потоке лучей нагреваются мало, так как они имеют очень небольшое поглощение. Энергия, не прошедшая через фильтр, отражается. Поэтому необходимо принимать меры, исключающие вредное влияние отраженных лучей. Стеклянные фильтры, обладающие большим поглощением, при интенсивном облучении сильно нагреваются, их кривая поглощения изменяется. Спектральная граница красных фильтров с повышением температуры смещается в красную область спектра. В связи с этим упомянем, что граница спектра пропускания горячей кварцевой колбы ртутной лампы высокого давления лежит в области длин волн > 254 мкм.

Красители вводятся в растворы желатины, которые высушивают на стеклянных пластинках. Рецепты 41 желатинового фильтра опубликованы Ходжменом [1]. Ниже мы даем некоторые из них. Стеклянные пластинки предварительно необходимо очищать при помощи растворов едкого натра в воде и двуххромовокислого калия в серной кислоте; желатина взвешивается, в течение часа моется в холодной воде и разминается. Затем берут на 20 г сухой желатины 300 см³ воды, растворяют ее при температуре 40° С и фильтруют. Этот раствор желатины нагревается до 45° С, смешивается с краской и с помощью пипетки наливается на стеклянную пластинку, очищенную, как указано; пластинку предварительно устанавливают горизонтально и защищают от пыли. Две пластинки, приготовленные таким образом (см. табл. III,5), после высыхания склеивают канадским бальзамом.

Таблица III,5

Область прозрачности	Краситель	Концентрация водного р-ра, %	Число см ³ р-ра красителя на 100 частей р-ра желатины	Число см ³ смеси на 100 см ² покрытия
6500—5900	Нафтол зеленый	0,5	20	12,5
	Оранжевый	1,0	50	
	Эритрозин	0,5	94	
6200—4800	Нафтол зеленый	0,5	6	12,5
	Бриллиантовый зеленый	0,5	3	
6300—4700	Пикриновая кислота	0,5	94	9,4
	Нафтол желтый, насыщенный раствор	—	50	
6100—5400	Флуоресцин	0,5	94	12,5
	Пикриновая кислота	0,5	33	
4900—4000	Синий	1	15	9,4
	Фиолетовый	0,5	10	
4900—3700	Метиленовый зеленый	0,5	15	12,5
	Фиолетовый	0,5	20	
5000—3900	Пикриновая кислота	0,5	5	7,8
	Эритрозин	0,5	20	
5000—3900	Эскулин	1	5	9,4
	Эритрозин	0,5	15	
5000—4600	Бенгальский розовый	0,5	16	12,5
	Пикриновая кислота	0,5	33	
4800—4600	Пикриновая кислота	0,5	33	9,4
	Эритрозин	0,5	20	
4700—4200	Синий	1	20	9,4
	Эозин желтоватый	1	14	
4500—3700	Эскулин	1	15	12,5
	Эозин желтоватый	1	14	
	Эозин желтоватый	1	14	9,4

Раствор желатины, если к нему добавить сахар (в таком же количестве, как и желатину), еще лучше прилипает к стеклу. Для дезинфицирования желатинового раствора (он легко плесневеет) пригоден тимол: небольшой кусочек этого вещества, напоминающего камфару, бросается в раствор. В качестве основной подложки можно применять «хромовую желатину»: к 100 см³ 1% раствора желатины добавляется 5 см³ 5% раствора хромовых квасцов.

Однако изготовление хорошего фильтра требует все же наличия известных познаний в области специальных свойств красителей и знания определенных приемов работы с ними; надо думать, что Э. Дж. Уолл [0] был прав, когда он вообще отказался от самостоятельного изготовления подобных цветных фильтров. Поэтому в каждом случае необходимо прежде всего подробно ознакомиться с монографиями по этому вопросу указанного автора или монографией Вейгерта [0]. В отношении всех светофильтров, у которых краситель растворен в желатине, имеется опасность, что их цвет в течение нескольких месяцев или лет изменится, особенно если слой приклеен канадским бальзамом и если фильтр длительное время оставался на свету. Цветные желатиновые пленки выпускаются в продажу рядом фирм.

Можно рекомендовать и так называемые *монохроматические фильтры*, выделяющие из спектра почти одинаковой ширины, пропускающие друг к другу. Имеются два сорта монохроматических фильтров: для более широких и для более узких областей спектра. Если область пропускания сужается, то уменьшается и максимальное значение пропускания — на несколько процентов. Монохроматические фильтры можно с успехом применять для устранения рассеянного света в простых монохроматорах.

Для серых стекол кривая пропускания, вообще говоря, не обнаруживает зависимости от длины волны. За пределами красной части степень прозрачности в большинстве случаев резко увеличивается. Это свойство надо иметь в виду при применении таких стекол, например, в форме клина в качестве ослабителя в спектральном аппарате. Селективность серого фильтра приобретает большое значение при очень плотных фильтрах. Серые фильтры, полученные фотографическим путем, сравнительно мало селективны (как плавные так и ступенчатые клинья). К сожалению, они в большинстве случаев немного рассеивают свет, так что при употреблении этих фильтров рассеянные лучи могут вызвать дополнительный световой эффект.

Значительно проще изготовлять жидкие фильтры. Красящий раствор наливают в ванну с плоскопараллельными стенками. Очень подходят для этой цели упоминавшиеся на стр. 111 цилиндрические стеклянные сосуды, на концах которых припаявлены (но не приклеены) плоскопараллельные пластинки; сбоку в сосуд впаивается отросток для наполнения его жидкостью. Широко известны *сосуды Лейбольда*; относительно них, так же как и относительно изготовления маленьких кювет, см. Вейгерт [0]. Жидкие фильтры из нескольких вполне определенных помещенных друг за другом слоев можно сравнительно просто составлять при помощи соответствующих кювет.

Для наполнения жидких фильтров особенно подходят окрашенные неорганические соли, так как они обнаруживают полную светостойкость.

Следующие указания взяты из работы Гибсона [2].

Первый класс

Фильтры с определенной границей пропускания со стороны коротких волн. Пропускаемы для волн длиннее

1270 Å: плавиковый шпат, тонкие пластинки,

1850 Å: кварц, тонкие пластинки,

2800 Å: слюда, 0,01 мм (при 2600 Å непрозрачна),
то 2600 до 3300 Å: различные сорта стекол,
3500 Å: насыщенные спиртовые растворы салициловой кислоты
(в кварцевой кювете),

4100 Å: 3% водный раствор эскулина, слабо аммиачный, быстро
буреет вследствие окисления,

4400 Å: насыщенный раствор нитрита натрия (азотистокислого
натрия) (по Пфунду) [3],

4400 Å: 5% водный раствор железосинеродистого калия,

5000 Å: 6% водный раствор двуххромовокислого калия, *

6000 Å: пластинки из стекла, окрашенного закисью меди, или
из руб. зюво (золото и рубин) стекла (применяются для темных
окоп в фотографических кабинах),

7800 Å: йод в сероуглероде,

8200 Å: эбонит; проникаемость пластинки толщиной 0,3 мм
при 1 мк 37%, при 2 мк 61%.

Ниже приводятся данные о различных инфракрасных филь-
трах. Эти фильтры, так же как и многочисленные красители, иссле-
довал Меркельбах [4] в области от 0,6 до 2,8 мк.

Второй класс

Фильтры с определенной длинноволновой границей проницае-
мости: слой воды толщиной 1 см. Проницаемость при $\lambda=1$ мк 80%,
при $\lambda=1,5$ мк 0%. (Глицерин, который иногда рекомендуется для
наполнения водяных камер проекционных аппаратов, не так сильно
поглощает свет, как вода.)

57 г сернокислой меди (синие кристаллы с кристаллической
водой) на 1 литр воды, толщина слоя 1 см. Раствор пропускает при
 $\lambda=5800$ Å 80%, начиная от $\lambda=7500$ Å в сторону длинных волн не-
прозрачен.

Полунасыщенный водный раствор хлористого железа пропу-
скает при толщине слоя 10 мм (по Меркельбаху): при $\lambda=0,7$ мк
40%, при $\lambda=0,8$ мк 5%, при $\lambda=0,9$ мк 0%. К сожалению, раствор
малоустойчив. Стекло BG 19 фирмы Шотт при толщине 2 мм
пропускает: при $\lambda=0,55$ мк 90%, при $\lambda=0,7$ мк 50% и при λ от
0,9 до 2,8 мк менее 5% падающего на него света.

Красный свет поглощается более сильно, чем коротковолновый,
сине-зеленым фильтром указанной выше фирмы, а также берлинской
лазурью.

Фильтры для специальных целей

Если по методу, предложенному Пфундом [5], обработать цел-
лулоидные пленочки парами селена, то получается черный слой,
который, как показали Барнес и Боннер [6], вместе с кварцевой
пластинкой толщиной 0,7 мм пропускает лучи только с длиной
волны свыше 40 мк. В работе приведены кривые поглощения между
1 и 120 мк.

Золотые слои, проникаемость которых для зеленого света со-
ставляет 73%, исключают, по данным Кишфалуди [7], красные и
инфракрасные лучи.

Для большинства случаев весьма подходящими являются три
фильтра, предложенные Р. В. Вудом: слой раствора следующего

состава: 10 мг нитрозодиметиланилина на 100 см³ воды, толщиной 5 мм; этот фильтр непроницаем для лучей с длиной волны от 5000 до 3700 Å и проницаем для длин волн от 3700 до 2000 Å. При длительном хранении раствор становится непроницаемым и для ультрафиолетовых лучей без изменения своей окраски. Тонкий серебряный слой проницаем для лучей с длиной волны от 3400 до 3100 Å. Кривая проницаемости этого слоя представляет собой зеркальное изображение кривой его отражения света (рис. III,29). Для изготовления такого фильтра серебрят кварцевую пластинку (лучше всего испарением серебра в вакууме, стр. 115), добываясь слоя такой толщины, чтобы при наблюдении через него Солнце

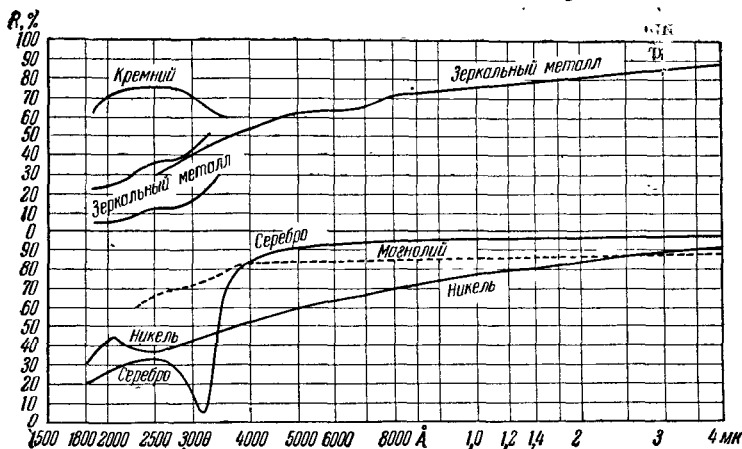


Рис. III,29. Отражательная способность металлов.

представлялось синим диском, а очертания домов на фоне светлого неба уже не были бы видны. На слой серебра накладывают кольцо из фильтровальной бумаги, пропитанной уксуснокислым свинцом; на это кольцо накладывается затем кварцевая пластинка. В таком виде фильтр сохраняется в течение многих месяцев [8].

Вуд [9] нашел также, что очень тонкие слои щелочных металлов, уже совершенно непрозрачные для видимого света, пропускают коротковолновый свет. Такой слой можно получить испарением очень тщательно очищенного щелочного металла (в высоком вакууме); пары осаждают на стенку кварцевой колбы, охлаждаемую жидким воздухом; Вуд описал технику приготовления таких слоев, но ее нельзя считать простой. Над этим фильтром продолжали работать О'Брайен [10], а также Уотстон и Харст [11]. Границы проницаемости (очень нечеткие) лежат для

- Cs при 4400 (или 1860 Å)
- Rb » 3600 (» 1860 Å)
- K » 3150 (» 1700 Å)
- Na » 2100 (» 1250 Å)

Li остается до 1400 Å непрозрачным.

Дреслер [12] и Рикк [13] описали светофильтр, который позволяет относительную спектральную чувствительность селенового фотоэлемента почти полностью приблизить к чувствительности нашего глаза.

Не рекомендуется самому изготовлять такой светофильтр, его следует приобрести в готовом виде, так как для каждого фотоэлемента требуется специальный особый подбор светофильтра. Кроме того, рекомендуется периодически контролировать точность работы установки.

Относительно узкую область около любой данной длины волны можно выделить известным фильтром Христиансена [14] (в кюветке находится стеклянный порошок, взвешенный в жидкости, на нее падает слабо сходящийся пучок света; при таких условиях сохраняют свое направление, проходя сквозь кюветку, лучи только с той длиной волны, для которой коэффициент преломления стекла равен коэффициенту преломления жидкости). Один такой фильтр для длин волн от 3 до 90 μ к кратко описан Барнесом и Боннером [15]. Раньше для выделения необходимой области длин волн пользовались изменением температуры кюветки с раствором (термостат!); Эйе [16] применяет раствор бромо- и йодортутных соединений калия и бария, относительно нечувствительный к изменению температуры. По данным автора изменять выделяемую область спектра можно, подбирая подходящую концентрацию раствора. Если для выделения отдельных линий в спектре ртутной лампы пользуются жидкими фильтрами, самостоятельно составленными, то можно рекомендовать описанные далее комбинации фильтров. Эти комбинации применимы так же, как фильтры, дополнительные к интерференционным.

Желтый дублет 5790/69 Å можно выделить, если спектр ртутной лампы пропустить через слой почти насыщенного раствора двухромовокислого калия толщиной 5 см.

Зеленая линия 5461 Å. В кюветке, наполненной водой (толщина слоя 2—5 см) растворяют такое количество тартразина (желтый порошок), которое необходимо для того, чтобы синие линии исчезли; для контроля пользуются карманным спектроскопом. Желтый дублет устраняется путем добавления имеющегося в продаже азотнокислого неодима (или дидима). Раствор почти неограниченно устойчив. Фильтр превосходно подходит для спектроскопических и поляриметрических исследований, а также для микрофотографии. (Гашение желтого цвета происходит, как нашел Р. В. Вуд, под действием узких интенсивных полос поглощения неодима, содержание которого в продажной соли дидима составляет около 22%). Можно также применить дидимовое стекло, которое, однако, обходится довольно дорого, так как требуется слой толщиной до 2 см.

Группа линий 4358—4347(4339) Å. (Затруднения возникают при отделении фиолетовой линии 4046 Å.) Смешивают 8 г сернокислого хинина с 100 см³ дистиллированной воды и добавляют по каплям разбавленную серную кислоту до тех пор, пока не растворится выпавший вначале пухлый слой белого осадка; его растворение совершается внезапно. Слой этой жидкости толщиной 2 см в соединении с обычным (темным) кобальтовым стеклом пропускает, кроме указанной выше группы линий, только следы зеленой линии. Если последнее нежелательно, то в раствор добавляют еще немного роданина В. Так как раствор сернокислого хинина буреет после долгого

действия света, то Пфунд рекомендует (стр. 320) раствор азотисто-кислого натрия (NaNO_2) толщиной слоя 12 мм; его прозрачность составляет для 4358 Å 65%, а для 4047 Å 1%.

Еще лучше для этой цели подходит, пожалуй, недавно предложенная Санни и его сотрудниками [17] смесь 6% раствора нитробензола в спирте с 0,01% «розамином 56 экстра»; ее слой толщиной 1 см пропускает линию 4358 Å, но зато соседние линии ослабляет до 0,1%; необходимо указать, что этот светофильтр немного чувствителен к действию света.

Для линии 3125 Å Бэкстрём [18] кратко описал следующий фильтр: раствор из 14 г сернокислого никеля (кристаллический, самый чистый) и 10 г сернокислого кобальта (также кристаллический, самый чистый) на 100 см³ дистиллированной воды; этот светофильтр пропускает при слое толщиной в 3 см 3,5% линии 3342 Å, но зато 96% линии 3125 Å; он является прозрачным минимумом до 2300 Å. Если к этому раствору добавить еще 45 г безводного кислого фталата калия (при 140° С высыхает до постоянного веса), который хорошо поглощает короткие волны, то интенсивность уже соседней линии 3023 Å ослабляется до 0,1%, и то время как для линии 3125 Å сохраняется высокая пропускная способность. Простым, однако не очень хорошим поглотителем является посеребренная кварцевая пластинка (см. стр. 324).

Для выделения линии 2536 Å можно по Ольденбергу [19] пользоваться кварцевой колбой диаметром 40 мм, наполненной хлором до давления примерно 6 атм. Линия 4358 Å будет еще сильно ослабляться, но длинноволновые линии — едва ли [20].

Пользуясь стеклянными фильтрами и обычными спектральными лампами, имеющимися в продаже, можно выделять линии, почти равномерно расположенные на всем протяжении спектра. В противовес жидким фильтрам, стеклянный фильтр имеет то преимущество, что он чуть ли не безгранично устойчив. В справочнике по физике и химии Д'Анса и Лакса приведены комбинации фильтров и соответствующих им спектральных ламп.

Для видимого и ультрафиолетового света хорошие результаты дают прозрачные металлические слои платины, родия [21], сурьмы (4000 до 2000 Å) [22], отложенные испарением на кварцевые пластинки.

Тейсинг и Гёберт [23] изготовили с помощью изящного приема серый фильтр, поглощение которого в области длин волн между 3000 Å и 2,3 мк практически является постоянным (отклонения составляют <1%). Для этого они на один слой (например, платины), поглощение которого уменьшается при уменьшении длин волн, отложили второй слой (например, сажи), поглощение которого изменяется в противоположном направлении.

Поляризационные пленки, которые теперь изготавливаются различными фирмами, при скрещенном положении можно применять в качестве нейтрального фильтра переменной прозрачности. Во многих случаях с большим успехом вместо поляризационных призм употребляются поляризационные пленки [24]. При скрещенном положении лучшие из них уменьшают яркость света в сотни раз. По сравнению с поляризационными призмами они обладают преимуществом большего поля зрения. Пленки можно изготовить почти безграничного размера. Иногда возникают затруднения вследствие необходимости обеспечить их теплоустойчивость. От действия

влаги поляризаторы можно надежно защищать, если это вообще необходимо, вклеивая их между стеклянными дисками.

С одной стороны, производство поляризационных фильтров такого типа, с другой стороны, изготовление пленок с двойным преломлением побуждают к проектированию ротационно-дисперсионных светофильтров. Этот вид фильтров много лет назад описал Р. В. Вуд при разделении компонентов линии натрия; светофильтры такого типа затем разрабатывались Лайотом, Эхманом, Регием и Хаазе. Фильтр с отверстием 3° , изготовленный Лайотом, пропускал в зеленой части полоску в 2 \AA ширины при прозрачности 13%, а в красной части — 3 \AA при 24% [25].

§ 2. Зеркальные поверхности

А) М е т а л л ы

Результаты весьма многочисленных экспериментальных исследований в этой области [26] приводят к следующим качественным выводам. При больших длинах волн, в несколько микрон, большинство металлов отражает от 90 и почти до 100% падающего света. От 15 мк до почти 4000 \AA серебро по отражательной способности превосходит все другие металлы; в инфракрасной области вплоть до 8500 \AA золото отражает так же, как и серебро. Очень хорошим отражателем в длинноволновой области является также латунь. Результаты таких работ [26] представлены графически на рис. III,29, 30 и 31.

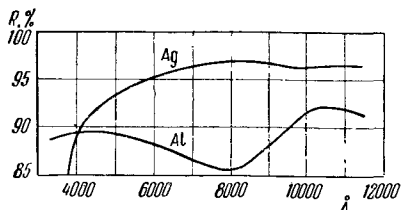


Рис. III,30. Отражательная способность серебра и алюминия.

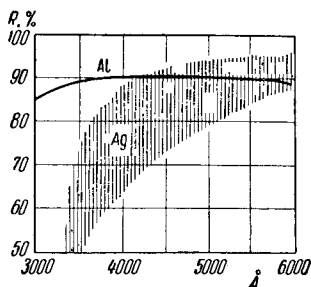


Рис. III,31. Отражательная способность серебра и алюминия.

Известно, что с уменьшением длин волн отражательная способность всех металлов сильно уменьшается, за исключением кремния. *Зеркальный металл*, или так называемый сплав Брэшира, применяемый в особенности для отражательных дифракционных решеток, состоит из 68% меди и 32% олова. По данным Пфунда [27] в области Лаймана лучше всего отражает кварц (13,5%), хуже всего — зеркальный металл (5,2%).

Б) С л о и, у м е н ь ш а ю щ и е о т р а ж е н и е

Слои, устраняющие или уменьшающие отражение, в настоящее время широко применяются в оптике. Методы нанесения тонких слоев, например, магния, кальция или фтористого лития стали

технически весьма совершенными. В технической оптике уже начинают применяться многослойные покрытия, устраняющие отражение. Значительно увеличена также прочность слоев. Прежде всего слои, осажденные из газовой фазы, имеют практически твердость стекла, они почти неразрушимы. Методы осаждения слоев из газовой фазы были развиты Гейфленом. Уменьшение отражения на таких слоях весьма значительно. Коэффициент отражения от них в небольшой степени зависит от длины волны и имеет значения от 0,2 до 1%. При применении многослойных покрытий зависимость отражения от длины волны уменьшается. Могут быть также получены зеркала с большой отражающей способностью и незначительным поглощением. Для этого, однако, необходимо четное число слоев [28].

В табл. III,6 указаны (в процентах) прозрачность и рассеяние света оптической системой, состоящей из некоторого числа поверхностей, в предположении, что на каждой поверхности отражается $\rho_1=5\%$ или $\rho_2=1\%$ падающего на нее света. Как и следовало ожидать, выигрыш за счет уменьшения отражения при двух поверхностях незначителен, но при увеличении их числа он становится настолько большим, что, например, при 30 поверхностях вредный рассеянный свет за счет относительного повышения степени проницаемости в три раза уменьшается почти в шесть раз [29].

Таблица III, 6

Число поверхностей		2	10	20	30
Степень проницаемости					
для	$\rho_1 = 5\%$	90,2	59,8	35,8	21,5
	$\rho_2 = 1\%$	98,0	90,4	81,6	73,8
Рассеянный свет					
для	$\rho_1 = 5\%$	0,3	5,8	13,0	17,3
	$\rho_2 = 1\%$	0,2	0,5	1,7	3,0

§ 3. Микроскоп и его принадлежности, в особенности для термических работ

Микроскоп [1], т. е. осветительное устройство, окуляр и объектив, представляет собой один из широко применяющихся приборов. Укажем еще на некоторую дополнительную аппаратуру, например камеру для работы при низких температурах; в этом случае объект располагается в плоской камере, через которую протекает сухой газ, прошедший через холодильную ванну [2]. Для работы при температурах между -130 и $+35^\circ\text{C}$ можно применять приспособление для микроскопических исследований металлов [3] и кристаллов [4] (рис. III,32).

При микроскопическом наблюдении фазовых переходов, процессов плавления или образования монокристаллов при высоких температурах маленькие пробы вещества могут быть в некоторых случаях помещены на нагреваемую электрическим способом U-образную металлическую ленту. Эта лента, сделанная из сплава

60% Pt+40% Rh, служит микропечью [5]. Лента имеет размеры: толщина 0,01 мм, ширина 8 мм, длина боковых сторон 10 мм, расстояние между ними 1,2 мм; воздух в этой печи нагревается до температуры выше 1800° С; эта температура может сохраняться длительное время (напряжение 3 в, ток накала 30 а для 1800° С). Температура может быть определена по графику зависимости ее от тока накала, точки которого получены как известные температуры плавления определенных веществ. Ниже перечисляются подходящие для этой цели вещества и указываются их температуры плавления:

K_2SO_4 (1069° С), $CaO \cdot MgO \cdot 2SiO_2$ (1391° С), $BaO \cdot 2SiO_2$ (1418° С), $CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 2SiO_2$ (1550° С), смесь 15% MgO и 85% SiO_2 (1695±5° С). В методе, предложенном Ордвием [6], капля расплава удерживается капиллярными силами на поверхности термоэлемента Pt—PtRh, нагреваемого переменным током высокой частоты. Постоянное напряжение на нагретом

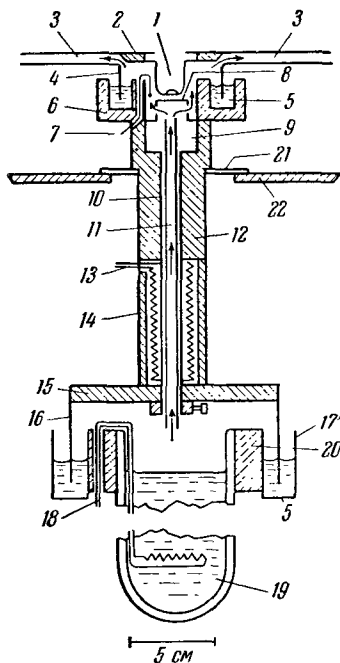


Рис. III,32. Установка для исследований с поляризационным микроскопом при низких температурах. Схема камеры-приставки к поляризационному микроскопу. 1 — объектив микроскопа, 2 — пробковое кольцо, 3 — поляя пластинка с припаянной латунной трубкой 4, опущенной в сосуд 6 с жидким воздухом 5, 7 — термоэлемент, 8 — посеребренное металлическое зеркало, 9 — камера с охлажденным воздухом, 10 — толстостенная латунная трубка, 11 — стеклянная трубка, 12 — кожух для трубки 10, 13 — дополнительный нагреватель, 14 — фарфоровая трубка, 15 — пластинка с припаянной латунной трубкой 16, опущенной в сосуд с жидким воздухом 17, 18 — нагреватель, 19 — дьюар, 20 — пробковое кольцо, 21 — кольцеобразная пластинка, поддерживаемая предметным столиком микроскопа 22.

термоэлементе (термоэдс) используется для измерения температуры. Цепь измерения температуры должна быть по всей длине термоэлемента ограждена фильтрами от воздействия переменного напряжения. Абсолютная ошибка измерения температуры при 1420° С равна 5°. В методе Вельха [7] цепь измерения температуры и цепь нагревателя полностью разделены. Термоэлемент нагревается одной полувольтной 50-периодного переменного тока. Во время второй полувольты термоэлемент для определения термоэдс подключается к компенсационной схеме.

Для металломикроскопии при высоких температурах имеются заводские нагревательные столы. Они имеют вакуумплотные сосуды, в которых небольшой полированный кусочек исследуемого металла нагревают в высоком вакууме или защитной атмосфере и наблюдают процесс изменения его поверхности с температурой. Так как рас-

стояние объектив — объект не может быть менее 2,5—3 мм, то при нормальных объективах максимально достижимое увеличение не превышает 250—300. Обзор развития металлографических методов и полученных ими результатов дает Рейнахер [8]. Пфейффер [9] описывает самодельный нагревательный стол (рис. III,33) для исследования легко окисляющихся сплавов с помощью микроскопа. Нагреватель помещен на полом кварцевом держателе, заключенном в стеклянный кожух с водяным охлаждением; держатель закрыт шлифом из плавленого кварца с припавленной к нему кварцевой шайбой. Печь нагревателя состоит из двух сплавленных вместе трубочек Al_2O_3 , через которые проходит платиновые проволоки (мощность 120 вт). Для измерения температуры образца, помещенного в печь, служит термоэлемент. Токосводящие провода и провода термоэлемента вплавлены в стекло для обеспечения герметичности соединения.

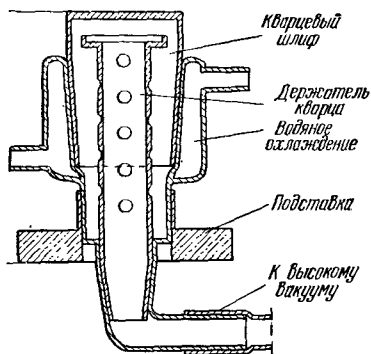


Рис. III,33. Вакуумный нагревательный стол по Пфейфферу.

Очень быстро совершенствуются методы ослабления отражения (см. выше). Ослабление отражения достигается тем,

что или изменяется химический состав пограничного слоя линз, или на них наносится слой с другим показателем преломления [10].

В последнее время очень быстро прогрессирует инфракрасная микроскопия, в которой применяют отражательные микроскопы [11]. Большие успехи в оценке неровностей на поверхностях (между 50 и 250 Å) достигнуты благодаря микроскопам с фазовым контрастом [12]. В ультрафиолетовом микроскопе также с успехом применяется метод фазового контраста [13].

Простой микроманипулятор [14] состоит из рамы с двумя расположенными под прямым углом деревянными планками, которые соединяются с микроскопом и обеспечивают возможность перемещения прикрепленных к ним микроиглол, микропипеток и микроэлектродов.

Указания на другие детали и принадлежности для микроскопов см. в [15].

ГЛАВА XIII

РЕНТГЕНОВСКАЯ ТРУБКА ДЛЯ ШИРОКОУГОЛЬНЫХ СНИМКОВ, ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ. ДВОЙНАЯ СЪЕМКА КАМЕРОЙ С МАЛЫМ ОТВЕРСТИЕМ

А) Рентгеновская трубка

Для получения широкоугольных снимков в рентгеновских лучах можно изготовить простую миниатюрную рентгеновскую трубку по Гессу [1]. Для этого стеклянную трубочку диаметром в

Несколько мм вытягивают с одной стороны в тонкое острие и закрывают медной фольгой, имеющей толщину 20 мк. Другой конец трубочки соединяется с вакуумным насосом (рис. III, 34). Между медной фольгой и проволокой, вклеенной в трубочку, прикладывают напряжение вторичной обмотки маленького игрушечного индуктора

(сила тока несколько сотых долей ма, напряжение на зажимах около 40 кв). Так как фольга на конце острия имеет диаметр от 0,1 до 0,3 мм, то ее можно считать практически точечным источником излучения. Чем острее трубочка, тем ближе можно поднести кристалл к исследуемому предмету без опасения, что тень от трубки будет мешать работе. Гесс наплавлял фольгу на латунный колпачок (рис. III, 34), который насаживался на острие стеклянной трубочки. С помощью такой трубочки можно приблизиться к кристаллу до 0,4 мм. Могут быть исследованы кристаллы размерами до 1 мм. Анодная фольга должна охлаждаться

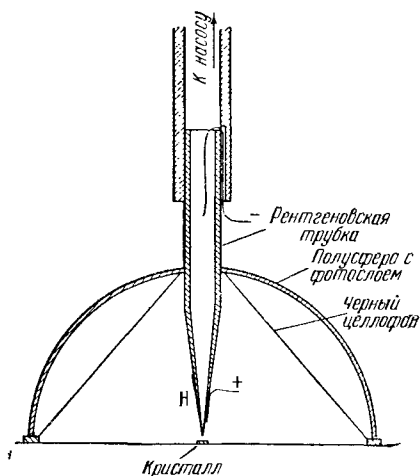


Рис. III, 34. Рентгеновская трубка для широкоугольной съемки.

тонкой струей воздуха. Давление воздуха регулируется зажимом соединительного планга насоса или редукционным клапаном. Срок службы маленьких рентгеновских трубок достигает 40 часов непрерывной эксплуатации [1].

Б) Перенесение фотографической эмульсии с пленки на другие поверхности

При физических исследованиях иногда требуется перенести фотографическую эмульсию на изогнутую поверхность (полусферическую). Гесс, например, для получения широкоугольных снимков на шаровой поверхности описывает следующий прием. Эмульсию кинопленки, разбухшую в результате пребывания в течение небольшого времени в воде, переносят с пленки на внутреннюю поверхность соответствующей полусферы. При нагревании до 35—40° С эмульсия разжижается, поэтому, наклоняя полусферу в различных направлениях, можно распределить эмульсию равномерно по всей поверхности полусферы. При охлаждении эмульсия затвердевает и высыхает, лучше всего в эксикаторе [1].

В) Двойная съемка камерой с малым отверстием

Если нельзя непосредственно определить, где расположен фокус рентгеновской трубки, то для определения расстояния от места измерения до фокуса надо либо принять, что фокус лежит точно

в центре трубки или кожуха, либо определить это расстояние косвенными методами. Довольно точно это можно сделать с помощью двойной камеры с малым отверстием, делая снимки на различном расстоянии от трубки [2].

ГЛАВА XIV

ТЕПЛОВЫЕ ПРИБОРЫ

§ 1. Индикаторы температуры

Точно определить температуру часто не является необходимым, а иногда и просто невозможно, так как нельзя ввести измеритель температуры в то место, где она должна быть измерена. В последнем случае рекомендуется применять оптические пирометры. Если невозможно применить и оптический метод измерения температуры, то применяются другие методы.

А) В частности, принято определять полученную температуру, в особенности для керамики, наблюдая изменение агрегатного состояния определенного тела [1], например конусов Зегера.

Б) Можно также судить о достижении определенной температуры по изменению цвета [2] тела или особого слоя на его поверхности. Для этого пригодны специальные вещества, которые можно получить в различных видах. Имеются индикаторные вещества для диапазона температур от 30 до 670° С, а также вещества с многократным изменением цвета.

а) *Термочувствительные краски*, в особенности указывающие температуру поверхности [3], являются большей частью солями металлов простой или комплексной природы, замешанными на связующей среде [4] (большой частью на растворе метакриловой смолы).

б) *Термохромы* [5] представляют собой цветные карандаши, мазки которых при определенных температурах быстро приобретают новый цвет, явно отличный от прежнего. Эти карандаши изготовляются фирмой Фабер-Кастелл в Штейне под Нюрнбергом. Приведенные ниже данные заимствованы из проспекта этой фирмы.

На предмете, температуру которого измеряют, проводят в соответствующем месте черту термокарандашом, цвет которого изменяется приблизительно при измеряемой температуре. Если предмет имеет температуру, соответствующую температуре, указанной на применяемом карандаше, то изменение цвета наступает через 1—2 секунды после нанесения мазка. Изменение цвета уже при нанесении штриха указывает на то, что температура предмета выше, чем температура, указанная на карандаше. Изменение цвета позже, чем через 2 секунды, указывает на то, что температура предмета несколько меньше, чем указанная на карандаше. Эти термохромы необратимы.

в) *Термокраски* выпускаются в порошкообразном виде и при употреблении смешиваются со спиртом. Краска может наноситься на материал как перед нагреванием, так и во время нагревания кисточкой или распылением из пистолета. Этими красками можно пользоваться при исследовании распределения температур на нагретой поверхности.

Для определения распределения температуры по поверхности применяется специальный прибор (эвапорограф), при помощи которого можно также наблюдать объекты в темноте (напаривание тонкого масляного слоя на тонкую угольную мембрану с черной обратной стороной [7]).

з) В одном очень старом рецепте вещества, изменяющего окраску при определенной температуре, рекомендуется серебрянойодистой ртуть [8], которая, будучи при температуре ниже 45°C желтой, при повышении температуры свыше 45°C становится светло-красной. Перемена цвета происходит очень точно. Препарат изготавливается следующим образом: *A.* 15 г йодистой ртути и 11 г йодистого калия растворяются в небольшом количестве воды, и затем раствор разбавляется 100 см^3 воды. *B.* 11,25 г азотнокислого серебра растворяют в $50\text{--}100\text{ см}^3$ воды. Раствор *B* при легком покачивании медленно переливают в *A*. Образуется густой осадок. Затем доливают воду примерно в трехкратном количестве, отфильтровывают жидкость и сушат осадок на воздухе. Желтый порошок перемешивают с цапонлаком.

§ 2. Термоэлементы

Термоэлементы на практике широко применяются в двух различных областях, а именно, для измерения собственно температур и для измерения небольших разностей температур, которые вызываются главным образом действием излучения.

А) Термопары для измерения температур

Для измерения температур термоэлектрическим путем пользуются обычно следующей схемой: концы двух металлических проводников *a* и *b*, стоящих достаточно далеко друг от друга в термоэлектрическом ряду, например константана и серебра, соединяются друг с другом. Это место соединения (главный спай *L*) (рис. III,35)

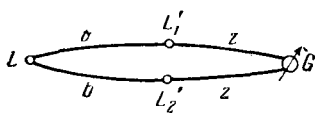


Рис. III,35. Схема термопары.

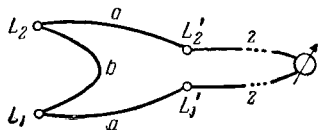


Рис. III,36. Схема дифференциальной термопары.

находится под воздействием измеряемой температуры. Другие концы проволок соединяются не непосредственно друг с другом, а при помощи промежуточных медных проволок (*z*) — с прибором (*G*), измеряющим напряжение. Оба холодных спаи (L_1' и L_2') поддерживаются при одинаковой постоянной температуре (обычно 0°C). Термоэлектродвижущая сила при этом оказывается такой же, как если бы точки L' и L были непосредственно присоединены друг к другу. При измерении разности температур обычно применяют дифференциальную термопару (рис. III, 36). Между концами проводников *a* включается проводник *b*, так что образуется два спаи; они устанавливаются в местах, разность температур в которых должна

быть определена. L_1 и L_2 являются холодными спаями, к которым присоединяются медные подводящие проводники (z). Температуры холодных спаев не оказывают влияния на результаты измерений при условии, что эти температуры одинаковы.

Для приготвления термопары спаивают или сплавляют концы проволоки из разных металлов. Проволоки сначала очищаются от окислов. Самым простым средством для этого служит смачивание их в паяльной воде (кислоте). Если паять надо без кислоты, то применяют хлористый аммоний в порошке. Обычный мягкий припой плавится при температуре около 180°C ; тонкие проволоки перед пайкой покрывают оловом, окуная их в сосуд с расплавленным оловом. Если термопару предполагают применять для измерения высоких температур, то пайку осуществляют серебром или золотом (твердый припой). В этом случае кусочек серебряной или золотой проволоки, покрытый предварительно порошком буры, вводится между спаиваемыми поверхностями и расплавляется в остром пламени кислородной горелки. Платиновые проволоки в пламени кислородной горелки сплавляются как друг с другом, так и с медными или серебряными проволоками.

Особым методом пайки [4] серебряным припоем удается так спаивать провода толщиной 0,4 мм, что место спая лишь немного толще их. Метод дает лучшие результаты, чем метод электрической сварки. Употребляется припой с температурой плавления ниже 620°C . Провода прежде всего тщательно очищаются самой мелкозернистой наждачной бумагой и так укрепляются в штативе, что их концы касаются друг друга. Расстояние от места зажима проводов до места их стыка равно 5 мм. Место стыка и его окрестности обильно смачиваются соответствующим припоем флюсом. С серебряного припоя, имеющегося в продаже в виде проволоки, соскабливают ножом мелкие стружки, которые смешивают на часовом стеклышке с флюсом. В качестве паяльного пламени служит небольшое светлое пламя светильного газа без дутья. Горелкой служит стеклянная трубочка, которая на одном конце вытянута в капилляр; рекомендуется заполнять стеклянную трубочку стеклянной ватой для того, чтобы задерживать загрязнения, вносимые потоком газа, и не допускать закупорки капилляра. Несколько стружек твердого припоя, обильно смоченные флюсом, накладывают на место стыка; затем устанавливают пламя горелки на несколько сантиметров ниже места стыка проводочек. Горячие газы прежде всего выпаривают из припоя воду; затем начинает плавиться флюс и припой. За все время пайки, длящееся несколько секунд, конус пламени не должен касаться проволоки. Таким образом можно полностью избежать отжига и образования окалины проводов. После охлаждения стеклянная бусинка флюса разбивается. Толщина места сплава зависит от количества внесенного припоя. Так, удается получить места спая, лишь незначительно превосходящие по величине толщину спаиваемых проводов. Прочность места спая больше прочности проводов.

Перед употреблением каждая термопара на всей ее длине обязательно прокаливается, лучше всего электрическим током. Такое старение, для которого надо применять температуру, превышающую максимальную температуру при предстоящих измерениях, имеет целью устранение механических неоднородностей, оказывающих

влияние на термоэлектрические свойства и возникающих, когда ветви термопары вытягиваются, гнутся или перекручиваются.

В связи с тем, что в контуре термопары, помимо главного и холодного спаев, термоэлектродвижущая сила возникает и в других местах, результаты измерений могут оказаться несколько неточными; поэтому на эти явления следует обращать особое внимание. Эти паразитные термоэлектродвижущие силы имеются, прежде всего, в наружном контуре и большей частью в местах соприкосновения различных металлов (например, меди и латуни). Хотя эти силы вообще малы, но при точных измерениях они играют существенную роль. Вследствие этого необходимо следить за тем, чтобы температура таких мест поддерживалась постоянной.

В случае применения медных подводящих проводников рекомендуется соединять с ними только такие металлические проводники, которые имеют значительно меньшую термоэлектродвижущую силу, чем медь (например, марганец).

Значительно более важную роль играют те паразитные термоэлектродвижущие силы, которые имеют место в ветвях термопары; их источником является главным образом химическая неоднородность ветвей. При этом термоэлектродвижущие силы возникают прежде всего в тех местах, где вдоль длины ветвей имеются наибольшие градиенты температуры. Следует обращать особое внимание на то, чтобы проволоки термопар в этих местах были однородны. Представление о степени неоднородности ветвей термопары можно составить следующим путем. В разных местах испытываемой ветви к ней присоединяют проводник из точно такого же материала, места присоединения нагревают и измеряют разность потенциалов на холодных концах присоединенного проводника и испытываемой ветви.

Можно также проволоку протягивать через пламя бунзеновской горелки и замерять на ее концах электродвижущую силу. При работе с термопарами Ле-Шателье (Pt—PtRh), а также с другими термопарами необходимо очень внимательно следить за тем, чтобы ветви термопар были защищены от загрязнений. Такие загрязнения создаются в первую очередь некоторыми металлическими примесями (прежде всего иридием), а затем кремнием, фосфором и т. п. Особенно опасной является при этом восстановительная атмосфера (газовое пламя), так как силикаты и фосфаты становятся опасными при восстановлении. Вредность водорода и углерода по существу определяется их восстанавливающим действием [2].

Для того чтобы по возможности избежать этих вредных воздействий на термопары, рекомендуется ветви термопар защищать чехлами из фарфора, марквардтовской массы или других подобных материалов. (Кварц вообще вытесняется керамическими материалами.) Глазурованный фарфор можно применять до температур 1200° С, марквардтовскую массу и К-массу (Берлинский фарфоровый завод) — до 1600° С; кроме того, пифагорова масса и силиманит (твердый фарфор) до 1400° С не пропускают газов. Железо и асбест при более высоких температурах нельзя применять совместно с керамическими массами, так как они образуют с фарфором соединения, имеющие низкие температуры плавления. При еще более высоких температурах очень хорошо подходят магнезия, а также окись алюминия (Al₂O₃) в виде алунда и спекшегося жорунда. Алулд, изготавливаемый таким же способом, как и керами-

ческие материалы, является очень пористым; спекшийся корунд, изготовляемый спеканием очень чистого материала, наоборот, обнаруживает полную газонепроницаемость (до 1800° С). Нельзя допускать, чтобы окислы металлов и щелочи соприкасались с этими керамическими защитными трубками [3].

Весьма удобны также фарфоровые стержни с двумя продольными отверстиями, в каждое из которых входит одна из проволок термопары [4].

Для наружной трубки, защищающей термопару в целом от внешних механических воздействий, применяются, смотря по обстоятельствам, силит, карборунд, графит, шамот, фарфор [5].

Для того чтобы термопары, изготовленные из толстых проволок недрагоценных металлов, предохранить от коррозии, целесообразно покрывать их спай тонким слоем благородного металла (платина, золото).

При выборе материалов для изготовления термопары следует иметь в виду ряд соображений. Прежде всего, металлический проводник должен допускать механическую обработку, чтобы из него можно было изготовить проволоку, стержни и т. п., обладающие достаточной прочностью. В большинстве случаев приходится отказываться от очень хрупких материалов. Так, например, висмут и сурьма вообще не применяются¹⁾, несмотря на большую термоэлектродвижущую силу по отношению друг к другу. Проводник при температурах, для измерения которых он предназначен, должен обладать также достаточно высокой стойкостью прежде всего по отношению к окислению. Кроме того, определенное значение имеет, конечно, величина термоэлектродвижущей силы между обоими проводниками и характер ее изменения в зависимости от температуры; последнее существенно влияет на точность измерений. Нежелателен также неравномерный ход термоэлектрической силы, вызываемой изменением свойств материала проводников; по этой причине термопара никель — железо при температуре, превышающей 300° С, малопригодна для измерений. Если принимать во внимание все эти положения, среди исключительно большого количества предложенных термопар найдется относительно небольшое число надежных, которые обычно и применяются.

Жаростойкость металлических материалов можно значительно повысить, добавляя к ним небольшие количества щелочноземельных или редкоземельных элементов [6]. Например, если в состав пихрмовой проволоки ввести только несколько десятых долей процента тория, то срок ее службы возрастет почти в восемь раз. Это же относится и к другим материалам, например к константану. Таким путем может быть значительно увеличен срок службы термопар из благородных материалов.

По величине термоэлектродвижущей силы металлические материалы можно расположить в ряд, в котором каждый материал является термоэлектрически положительным относительно последующего материала и термоэлектрически отрицательным относительно предыдущего (термоэлектрический ряд [6а]).

Максимальной термоэлектродвижущей силой обладают те пары элементов, у которых один электрод сделан из висмута, а другой — из теллура, кремния или сурьмы. Термоэлектродвижущая

¹⁾ См., однако, термопары для актинометрических измерений.

сила такого элемента, составляющая от 400 до 600 мкв/град, примерно в десять раз превышает термоэлектродвижущую силу других применяемых термопар.

Что касается наиболее подходящей пары элементов для измерений, то в настоящее время для научных и технических целей на первом месте стоит термопара Ле-Шателье (Pt—PtRh), которая может применяться до температуры 1600° С. В 4—5 раз более высокую чувствительность имеет палладатиновая термопара, выдерживающая температуры несколько выше 1000° С (рис. III, 37).

Хорошо зарекомендовали себя Pt—PtRe-термопары (до температуры 1200° С); их чувствительность почти в 2,5 раза выше чувствительности термопары Ле-Шателье. В области температур от 1000 до 2000° С широко применяют иридиевые термопары; особенно часто применяется термопара, один электрод которой сделан из чистого иридия, а второй — из сплава 60% Rh и 40% Ir. Термоэлектродвижущая сила при 2000°С составляет около 11 мв. Более высокую термоэлектродвижущую силу — около 15 мв при 2000° С — имеет термопара Ir—Ru (10% Ru) и Ir—IrRh (60% Rh).

Наиболее употребительными термопарами из благородных металлов являются константан — Ag, константан — Fe, константан — Cu. Для температур до 1200° С наиболее часто применяется термопара никель — нихром (рис. III, 38).

Для измерения низких температур, в частности, пригодна термопара константан—Cu; зависимость ее термоэлектродвижущей силы от температуры в области до—258° может быть выражена с точностью до $\pm 0,05^\circ$ уравнением второй степени [7]. Для измерения температуры жидкого водорода подходит термопара золото — серебро, не применяемая в других случаях, а также золото или платина с нейзильбером. Кроме того, для измерения температур ниже температуры жидкого гелия подходит термопара Au+1% Co—Ag+1% Au. Более подробные сведения о применении термопар имеются в книге А. Шульце [9].

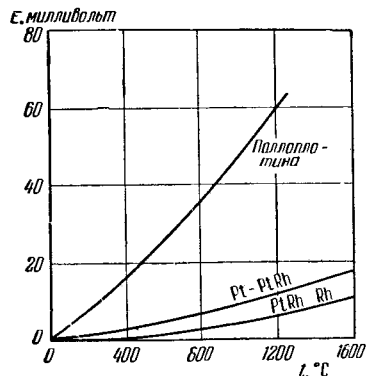


Рис. III, 37. Термоэдс некоторых термопар из благородных металлов.

При термоэлектрических измерениях необходимо также следить за температурой холодных спаев. Для того чтобы избежать ошибок, которые могут иметь место в случае колебаний температуры холодного спая (особенно у термопар, применяемых в промышленности), необходимо применять компенсационные провода. Последние состоят обычно из двух проволок, одна из которых, например, изготовлена из чистой меди, а другая — из сплава CuNi (от 1 до 5% Ni) [10]. Эта комбинация выбирается таким образом, чтобы при температуре, при которой находится соединения проводов, она имела такую же термоэлектродвижущую силу, как и ветви термопары. Если эти компенсационные провода подключить к соединительным клеммам, то сумма термоэлектродвижущих сил

в этом месте должна обратиться в нуль. Таким приемом устраняются ошибки, которые могут иметь место вследствие изменения температуры свободных концов термопары. Эти концы переносят в такое место, которое не подвержено действию температуры печи. Для каждой термопары имеются соответствующие компенсационные провода. Для термопар, одна из проволок которых сделана из нихрома, особенно выгодно изготовлять компенсационные провода из сплавов с малым электрическим сопротивлением.

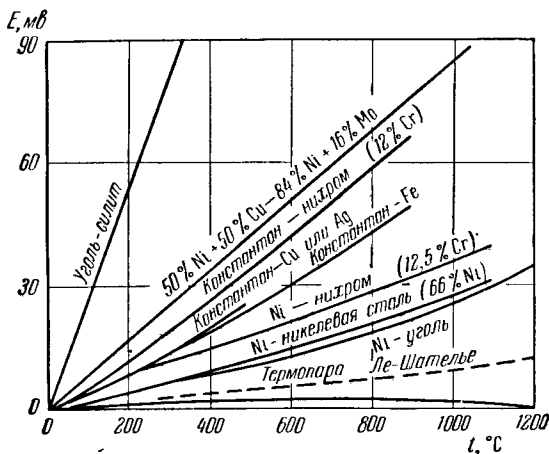


Рис. III,38. Термоэдс некоторых термопар из неблагородных металлов.

Чтобы влияние температуры холодного спая было возможно меньшим, выгодно применять термопары, термоэлектродвижущая сила которых в области температур, близких к комнатной, почти не зависит от температуры. В качестве примера такой термопары укажем на термопару Rh — PtRh (10% Rh); ее термоэлектрическая чувствительность dE/dt в области температур между 0 и 100° С близка к нулю, так что температура холодных спаев почти не играет роли (см. рис. III,37). Кроме того, Х. Томас [11] показал, что термопары, у которых электроды изготовлены из сплавов Ni-Cu с различным содержанием Cu, в области комнатной температуры не проявляют зависимости термоэлектродвижущей силы от температуры (так называемая «термопара с изогнутой характеристикой»).

Б) Термопары для специальных целей [11а]

а) Термопары для измерения слабых переменных токов. Для измерения слабых электрических токов с помощью гальванометра большей частью применяется так называемый термоэлемент Клеменчича. Он состоит из двух натянутых в виде креста проволочных

волосков, из которых один (*a*) изготовлен из константана, а другой (*b*) — из железа или платины. Два конца проволок *a* и *b* соединяются с гальванометром, а два других конца — с источником переменного тока. В точке пересечения проволоки спаиваются мягким или лучше твердым припоем или свариваются электросваркой. В результате оба электрических контура имеют одну общую точку — место спая. В последнее время предпочитают для нагревания переменным током применять отдельную проволочку (например, платиновую), в середине которой укреплен спай термопары, состоящей, например, из константановой и нихромовой проволочек.

Для измерения переменного тока применяются также комбинации константана или платины с теллуром. Эти термопары, по данным Остина [12], изготавливаются следующим образом. Две жесткие медные проволоки (рис. III, 39) *a* и *b* диаметром около 2 мм укрепляются в отверстиях эбонитового цилиндра или другого подобного изолятора на расстоянии около 4 мм. Кончик платиновой проволоки диаметром от 0,6 до 1 мм раскаляют на конце паяльного пламени добела и касаются им маленького кристаллика теллура. Теллур (температура плавления 452° С) тотчас же прочно сплавляется с проволокой.

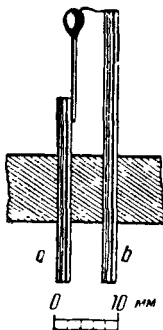


Рис. III, 39.
Термоэлемент
Остина.

Затем получившийся спай на мгновение вводят в конец маленького пламени, чтобы спай снова расплавился и образовал на конце платины капельку. После того, как капля затвердеет, платиновую проволоку обрезают на несколько миллиметров ниже шарика и припаивают (оловом) к концу проволоки *a*. На верхний конец проволоки *b*, который устанавливается на одной высоте с теллуровым шариком, припаивается константановый или платиновый волосок диаметром 0,02 мм и изгибается так, чтобы другой конец его касался теллурового шарика. Наконец, это место касания сваривается с помощью искры небольшого индуктора. Часто такие термоэлементы помещают в трубки с возможно более высоким вакуумом: благодаря этому достигается значительное увеличение чувствительности (в 20 раз).

б) Термопары для измерения излучения. В применяющихся для измерения излучений термостолбиках два спая термопары располагаются рядом; один спай покрывают чернью, на него действует излучение, в то время как другой спай защищен от излучения экраном. Обычно последовательно включается большое число термопар (например, константан — железо), при этом зачерненные спая устанавливаются рядом один за другим по прямой линии или веерообразно. Чтобы свести к минимуму тепловую инерцию столбика и действие теплопроводности, применяются самые тонкие проволочки. Юхансен [13] и позже Картрайт [14] теоретически рассчитали наиболее выгодные условия работы подобных конструкций; рекомендуется, прежде чем приступить к изготовлению инструментов, познакомиться с работой Картрайта, в которой изложены также результаты его исследований болометров, радиометров и микрорадиометров. Кроме высокой термоэлектродвижущей

силы, прибор должен иметь большое значение постоянной Видемана—Франца, т. е. электрическая проводимость (κ) металла должна быть большой, а теплопроводность (λ) — малой.

Для сравнительно грубых измерений можно применять термопары из самых тонких волосных проволок [15]. На место соединения наваривают (или наклеивают) шайбочки из тонкой серебряной фольги площадью несколько меньше 1 мм^2 и покрывают ее чернью; эта шайбочка поглощает падающее на нее излучение. Диаметр проволоки должен выбираться по Юхансену таким образом, чтобы отношение λ/κ у обеих проволок было одинаковым, например 23 мк для железа и 45 мк для константана или 24 мк для железа и 75 мк для висмута. Если в первом примере взять проволоки одинаковой толщины, то чувствительность понизится на 17%.

Для изготовления проволочек очень малой массы, длина которых может составлять лишь несколько миллиметров, Моль использует так называемую терможесть, которая изготавливается следующим образом. Константановая пластинка толщиной 4 мм возможно меньшим количеством серебряного припоя припаяется впритык к марганциновой пластинке такой же толщины, ребро к ребру. Пластинки провальцовывают затем в направлении серебряного шва до получения фольги толщиной от 1 до $0,5 \text{ мк}$ и состоящей наполовину из марганца, наполовину из константана. Из этой фольги в направлении, перпендикулярном к шву, вырезают полоски. Подобные элементы продаются в готовом виде.

Моль и Бюргер употребляют марганцовые и константановые полоски толщиной до 1 мк , при ширине $0,1 \text{ мм}$. Наконец, следует еще упомянуть о термопаре К. Мюллера [16], весьма чувствительной, свободной от тепловой инерции и имеющей очень малую теплоемкость благодаря введению особых легирующих компонентов. Этот метод изготовления термопар без применения сварки и пайки состоит в том, что очень тонкий проводник (например, никель толщиной до $0,0002 \text{ мм}$) на некоторой своей части, вследствие диффузии соответствующих металлов (например, с одной стороны — медь, с другой — хром), приобретает термоэлектрические свойства соответствующих сплавов или соединений; таким приемом Мюллер изготавливал термопары константан — нихром.

Тэйлор [17] заполняет стеклянную трубку (из стекла, не содержащего кальция) расплавленным металлом, нагревает ее до размягчения стекла и протягивает затем через коническое отверстие в медной колодке. Таким путем он получает тонкую проволоку из Cu , Ag , Au , Bi , Sn , Cd , Th , Fe , Co , Ca , In , Bi и Sb ; стеклянная оболочка, в которой находятся проволоки, затем растворяется в плавиковой кислоте. Картрайт использует для своей термопары проволоку Тэйлора диаметром от 2 до 15 мк из сплавов $97\% \text{ Bi} + 3\% \text{ Sb}$ и $95\% \text{ Bi} + 5\% \text{ Sn}$ с термоэлектродвижущей силой 120 мкв/град .

Чтобы этим хрупким, но относительно легкоплавким металлам придать требуемую форму тонких нитей, применяют по Пфунду [18] следующий изящный прием. Расплавляют в ложке небольшое количество металла (около 10 г) и затем жидкий металл сбрасывают на большую стеклянную плиту, направляя его почти вдоль нее. Он моментально затвердевает в виде клякс, из которых выходит большое число тонких нитей. Из них выбирают

подходящую, отрезают острым ножом и пинцетом снимают со стекла. Применяются нити шириной около 0,15 мм и толщиной 0,01 мм. Обе отобранные проволочки соединяются в термопару, и к месту их соединения прикрепляется золотая пластиночка для поглощения лучей. Для этого применяют следующий прием. Золотую пластиночку (поверхность 1×4 мм²) кладут на полированную стальную пластинку, под которой помещают электрический подогреватель. На пластиночку кладут сначала проволочку из BiSn так, чтобы ее конец находился в середине пластиночки. Затем кладут проволочку BiSb в перпендикулярном направлении так, чтобы ее конец несколько заходил за конец первой проволочки. Поддерживая температуру стальной пластинки около 80° С, слегка придавливают ненадолго стеклянную пластинку при помощи пресси ко всем трем металлам; в результате между ними образуется надежный контакт.

Благодаря высокой термоэлектродвижущей силе (около 400 мкв/град) часто применяются термопары висмут—теллур [19] и прежде всего платина—теллур [20]. Расплавленный теллур засасывается в тонкие стеклянные трубочки в атмосфере азота; для изготовления спая в этот капилляр вводится тонкая раскаленная Pt-проволока (ø0,5 мм); получается безупречный контакт.

В последнее время термопары для измерения излучений стали изготавливать из тонких металлических слоев, получаемых испарением металлов или катодным распылением [21]. В качестве подложки лучше всего подходят целлулоидные пленки или максимально тонкие листочки слюды. Очень тонкая (толщиной 0,1 мк) термофольга из сплавов висмут—сурьма и висмут—теллур изготавливается с помощью катодного распыления. Для того чтобы падающие лучи поглощались возможно полнее, спай покрывается чернью. Температура спая будет подниматься тем выше, чем меньше тепла теряется в окружающее пространство. Поэтому целесообразно поместить термопару в вакуум; так, например, фирма Кипп, а также Мюллер, помещают термопару в тонкостенную стеклянную колбу, подобную колбе маленькой электрической лампочки. Чем меньше уходит тепла по проволоке, тем больше увеличивается чувствительность термопары при помещении ее в вакуум. Это увеличение может достигать 20—30-кратной величины, а при изменении вакуума с 10^{-3} до 10^{-4} мм рт. ст. по данным Картрайта чувствительность увеличивается вдвое. К сожалению, стекло пропускает лишь очень небольшую область длин волн, так что часто перед спаем необходимо бывает делать окно. Длины волн инфракрасных лучей, для которых поглощение в слое 2 мм толщиной достигает 10% (приближенные данные):

стекло при $\lambda = 1,5$ мк каменная соль при $\lambda = 17$ мк

кварц » $\lambda = 3$ мк сильвин » $\lambda = 20$ мк

флюорит » $\lambda = 9$ мк

Каменная соль и сильвин во влажном воздухе тускнеют. Поэтому окна из этих материалов необходимо или осушать (с помощью фосфорного ангидрида, металлического натрия), или защищать слоем лака. В качестве последнего рекомендуется применять раствор целлулоида в амилацетате, который, однако, дает абсорбционные полосы в инфракрасных лучах.

Картрайт предложил охлаждать термопару до температуры жидкого воздуха подобно тому, как это сделал раньше О. Штерн для проволочного вакуумметра. Благодаря этому излучение спая уменьшается примерно в 27 раз и соответственно возрастает чувствительность.

Много раз публиковались таблицы постоянных для лучших конструкций [22].

§ 3. Низкие температуры

А) Температуры между нулем и нормальной точкой кипения жидкого воздуха (см. также стр. 251)

Новый способ получения низких температур предложил Р. Хильш [1]. В прямую цилиндрическую трубку *R* (рис. III,40) из форсунки *D* вдувается воздух по касательной к стенке трубы. Вследствие того, что справа, вплотную к форсунке, вставлена диафрагма *B*, струя воздуха при открытой с двух сторон трубке движется только налево, описывая винтовую спираль. Эту диафрагму (дроссель) следует отрегулировать таким образом, чтобы некоторая часть воздуха выходила через нее направо. Этот воздух отдает большую часть своей кинетической энергии в виде тепла (внутреннего трения) воздуху, движущемуся налево вдоль стенки трубки; кроме того, правая часть воздуха разрезается. В результате этого она оказывается значительно более холодной, чем часть, текущая налево. Таким способом при начальном давлении в 10 атм можно получить температуру до -40°C . Конечно, коэффициент полезного действия такой установки очень мал.

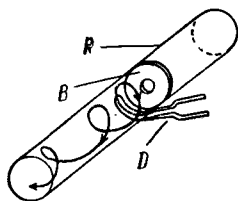


Рис. III,40. Схема охлаждения по Хильшу.

Б) Температура ниже нормальной точки кипения жидкого воздуха

В качестве охлаждающей среды в этой температурной области служат кипящие при атмосферном или более низких давлениях ожиженные газы: воздух (от -183 до -210°C), неон (от -246 до -248°C) (применяется редко), водород (от -253 до -259°C), гелий (от -269 до -272°C). Промежуточные температуры между отдельными областями можно получать, используя адсорбционные криостаты. Однако возможность их применения очень ограничена, так как их мощность очень мала [2]. Температурный интервал между жидким водородом и жидким гелием может быть заполнен, кроме того, с помощью гелиевого ожижителя Симона. Однако мощность этого аппарата невелика.

Криостаты для ожиженных газов в этих температурных областях необходимо прочно закрывать, так как в противном случае при понижении давления эти газы обычно начинают кипеть; кроме того, при очень низких температурах на кипящих газах будет конденсироваться воздух. В то время, когда не ведется

откачка, конечно, необходимо выпускать газ, образующийся в процессе испарения. Вентилем, открывающимся только под давлением изнутри, может служить резиновая трубка, прорезанная в продольном направлении.

При конструировании криостатов следует иметь в виду, что теплота испарения 1 л жидкости (так как сосуд Дьюара имеет постоянный определенный объем, то целесообразно относить все показатели к единице объема) составляет при нормальных точках кипения для

жидкого воздуха жидкого водорода жидкого гелия

42,5 ккал/л

7,68 ккал/л

0,57 ккал/л

Эти величины относятся друг к другу, как

75

:

13,5

:

1

Отсюда видно, что при работе с жидким водородом и тем более с жидким гелием приток тепла извне должен быть уменьшен как можно сильнее.

Ниже речь будет идти главным образом о криостатах для жидкого гелия. Для жидкого водорода применимы те же принципы, в то время как для жидкого воздуха многое можно упростить.

Всегда применяют два сосуда Дьюара: внутренний, для жидкого гелия, и внешний, заполненный жидким азотом. Так как через иенское или пирексовое стекло гелий диффундирует, то внутренний сосуд должен быть изготовлен из других сортов стекла. Теперь все больше переходят к цельнометаллическим конструкциям. При их правильном изготовлении расход гелия оказывается примерно таким же, как в стеклянных сосудах. На рис. III,41 показан такой сосуд Дьюара, который легко самостоятельно изготовить в лабораторной мастерской [3]. Внешняя оболочка состоит из латунной трубы без швов диаметром 9,5 см, с толщиной стенок 1,5 мм, внутренняя оболочка — из аналогичной трубы диаметром 8 см. Для уменьшения теплопроводности от теплого конца верхняя часть внутренней трубы изготавливается из листового нейзильбера толщиной 0,3 мм. Для соединения этой трубы с латунной их сначала приваривают в отдельных точках, а затем прочно пропаивают. Фальцованные швы значительно труднее сделать вакуумно-плотными. Стороны трубок, обращенные к вакууму, облицовываются алюминиевой фольгой. В качестве клея применяется бесцветный лак, например глиптал. В нижней части внутреннего сосуда помещена небольшая коробочка для абсорбции газа, заполненная углем из кокосовых орехов. Все соединения, за исключением дна, пропаяны твердым припоем, пластинка дна — мягким. Сосуд откачивается при комнатной температуре до давления 10^{-3} мм рт. ст. через вентиль без сальника. Для контроля давления служит маленький термоэлектрический вакуумметр. Тем же приемом, конечно, можно без особого труда сделать внешний сосуд для жидкого азота. После тщательного охлаждения внутреннего сосуда до температуры жидкого азота требуется еще около 1,5 л жидкого гелия для охлаждения до 4° К и 2,25 л для заполнения криостата. Если нет дополнительного притока тепла через измерительные приборы, а крышка омывается жидким

азотом, то из криостата за час испаряется около 0,3 л жидкого гелия.

Для определения уровня жидкости внутри сосуда с большим успехом применяют американские угольные радиотехнические сопротивления (Омите или Аллен-Брэдли). Бакелитовую оболочку этих сопротивлений удаляют или шлифовкой на станке, или вручную, медленно вращая сопротивление, имеющее при комнатной температуре величину 180 ом, при 4° К в парах гелия возрастает до 3600 ом, а в жидком гелии — до 4600 ом. При более низких температурах сопротивление еще больше. Не надо стремиться уменьшить выделяющееся при измерении джоулево тепло (около 10^{-2}вт), так как изменение сопротивления вызывается изменением внешней теплопроводности. Три таких сопротивления укрепляют в сосуде на разной высоте: одно — на самом низком уровне, при котором еще можно работать, второе — на половинной высоте и третье — в месте соединения внутренней трубы с ее тонкой частью.

Подводящие провода вводятся во внутреннюю часть через фланец между двумя резиновыми кольцами. Применяют эмалированный провод и небольшое количество вакуумной смазки.

Весь сосуд Дьюара закрывается металлической крышкой. Лучше всего применять кольцеобразный спай по бортику, охватывающему трубку. Бортик легко запаивается и так же легко снова распаивается, если его окружить изолированной проволокой, которая нагревается током от понижающего трансформатора. Протекающие припой не может иметь места. Если крышка остается всегда теплой, то для пайки применяют сплав Вуда; если же крышка охлаждается, то лучше применять индиевооловянный припой (94% In, 6% Sn, температура плавления 120° С).

Необходимо, конечно, следить за тем, чтобы все другие детали, которые ведут к измерительной аппаратуре, не проводили

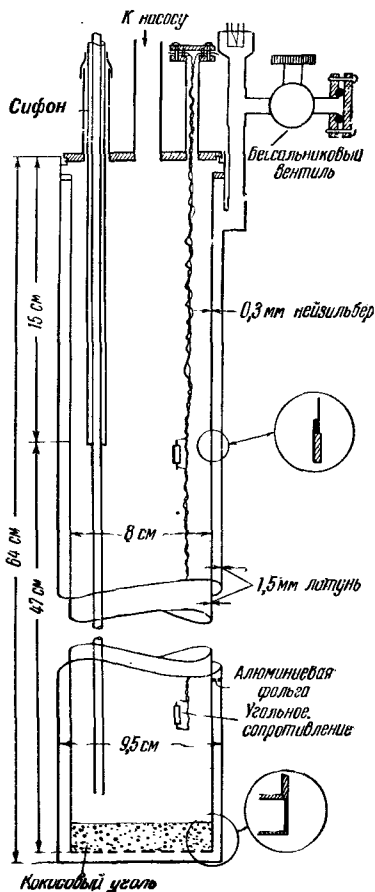


Рис. III.41. Металлический сосуд Дьюара для жидкого гелия.

слишком много тепла. Трубки применяют тонкостенные и без швов, из плохо проводящих тепло материалов — нейзильбера или нержавеющей стали. Особенно хороши трубки из хромана (имеются диаметрами до 15 мм при толщине стенок от 0,1 до 0,2 мм), который, однако, как и нержавеющая сталь, поддается только твердой пайке. Можно применять также стеклянные трубки, спаянные с металлическими. Теплопроводность некоторых из этих материалов приведена на рис. III,42 [4].

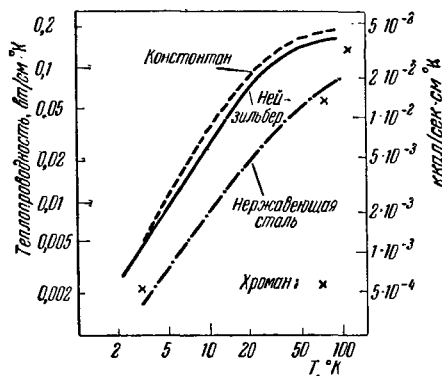


Рис. III,42. Теплопроводность различных сплавов при низких температурах.

Влияние теплопроводности подводящих проводов можно значительно уменьшить. Для подачи напряжения и проводов, в которых идет ток силой до 10 ма, следует применять мanganin-овую проволоку толщиной от 0,15 до 0,25 мм. При более сильных токах применяют толстую проволоку для соединений, ведущих от деталей, находящихся при комнатной температуре, к медной шайбе, находящейся при температуре жидкого воздуха;

такие же проволоки идут от измерительной аппаратуры, находящейся в жидком водороде или жидком гелии, почти до медной шайбы. Только на небольшом расстоянии от нее переходят к тонкой проволоке из возможно более чистой меди длиной от 5 до 10 см. Для ее расчета можно пользоваться следующей формулой [5]

$$(V_1 - V_0)^2 = 2 \int_{T_0}^{T_1} \frac{\lambda}{\kappa} dT, \quad (1)$$

где $V_1 - V_0$ — разность потенциалов на проволоке, T_1 — верхняя, а T_0 — нижняя температура и λ/κ — отношение коэффициентов теплопроводности и электропроводности.

Токи силой до 200 а подводятся к измерительным приборам, установленным в жидком водороде, а в Институте низких температур Херршингера ток до 50 а подводится к измерительным приборам, установленным в жидком гелии!

Остаточное сопротивление медного провода, обычно имеющегося в продаже, составляет примерно 2% от сопротивления при комнатной температуре; на рис. III,43 показан ход кривых λ , κ и λ/κ . Если через провод должен протекать ток I , то сопротивление этого провода (в условиях опыта) должно быть равным

$$R = \frac{V_1 - V_0}{I}. \quad (2)$$

С другой стороны,

$$R = \frac{l V_1 - V_0}{q \int_0^1 \kappa dV}, \quad (3)$$

где l — длина, а q — поперечное сечение провода. Как видно из рис. III,43,

$$\frac{\lambda}{\kappa} = aT,$$

$$\text{где } a = 1,75 \cdot 10^{-8} \frac{V^2}{eK^2}. \quad (4)$$

Из (1) — (4) следует, что

$$\frac{l}{q} = \frac{V a}{I} \int_{T_0}^{T_1} \kappa dT; \quad (5)$$

для $T_0 = 4^\circ \text{K}$ и $T_1 = 90^\circ \text{K}$ получим

$$\frac{l}{q} = \frac{19,2 \cdot 19^a}{I} \text{ см}^{-1}. \quad (6)$$

На рис. III,44 показан специальный сосуд Дьюара, предназначенный для оптических измерений в магнитном поле. Для того чтобы охладить его от комнатной температуры и ввести в него 2,5 л гелия, требуется около 5 л жидкого гелия. В темноте гелий сохраняется в криостате в течение 50 часов. При освещении изучаемого образца сильной вольфрамовой лампой это время может уменьшиться до восьми часов. Вакуум поддерживается маленьким масляным диффузионным насосом со скоростью откачки 100 л/сек. Сосуд с гелием был настолько хорошо изолирован, что насос можно было выключать более чем на 1 час. При этом

вентиль между гелиевым сосудом и насосом закрывался. Это позволяет наполнять сосуд непосредственно у ожижителя и переносить его для исследований к магниту [6]. Новые пенопластические материалы (шпорка, пенополистирол) обеспечивают превосходную изоляцию тел неправильной формы. Пенообразная масса легко обрабатывается ножом, пилой или пробочным сверлом. Если воспрепятствовать возникновению конвекционных токов, то эта изоляция достаточна даже для жидкого гелия [7]. Плотность пеноматериалов настолько мала, что они плавают в жидком гелии [8].

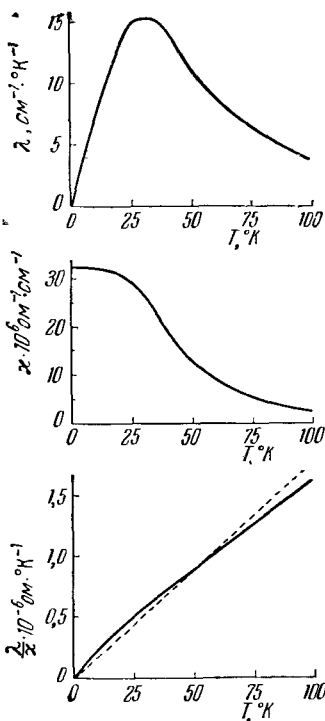


Рис. III,43. Теплопроводность λ , электропроводность κ и их отношение λ/κ для меди с 2% остаточным сопротивлением. Пунктирная кривая: $\lambda/\lambda_0 = 1,75 \cdot 10^{-8} e^2 \cdot (^\circ\text{K})^2$.

Здесь не представляется возможным описать устройство всего оборудования, необходимого для ожижения водорода и гелия [9]. Но некоторые отдельные моменты необходимо отметить.

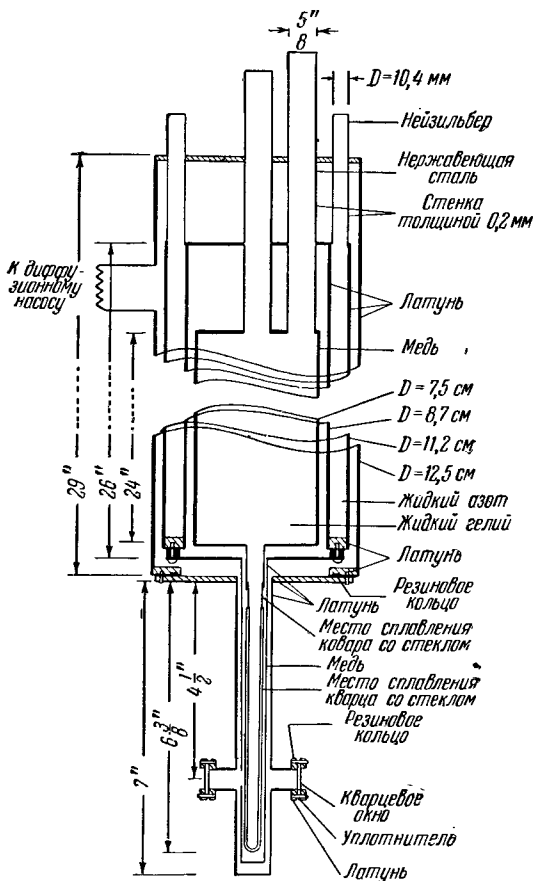


Рис. III,44. Специальный сосуд Дьюара для измерений в магнитном поле.

В зависимости от упругости паров масла, применяющегося в компрессоре, даже при очень хорошей ловушке для масла некоторое количество масляных паров может проникать во встречные потоки и вымораживаться. Это приводит к двум неприятным последствиям: во-первых, к уменьшению коэффициента теплопередачи, а следовательно, и к. п. д. противотока и, во-вторых, к возможности засорения трубопроводов. Этот недостаток устраняют, прежде всего применяя масла с низкой упругостью паров. Поэтому,

всей установке необходимо применять масло, обладающее большой вязкостью и низкой упругостью паров; такому требованию удовлетворяют только специальные сорта масел. Далее, первый трубопровод целесообразно сконструировать так, чтобы масло, осаждающееся в нем за время, в течение которого оно еще не успевает перейти в жидкость, собиралось в специальном «кармане», откуда его периодически можно было бы спускать. К. Клузиус предложил устанавливать перед ожижителем сосуд с адсорбирующим углем. Даже при невысокой температуре последний адсорбирует большую часть паров масла.

Водород, служащий для ожижения, должен быть очень чистым; в противном случае соединительные трубки и вентиль быстро будут засорены твердым воздухом. Так как большая часть жидкого водорода при этом процессе утрачивается, то необходимо периодически или приобретать новые порции очень чистого водорода, это, однако, затруднительно, или тщательно очищать обычный водород, имеющийся в продаже. К. Клузиус [10] предложил следующее устройство, позволяющее применять обычный водород: к ожижителю параллельно стандартным трубкам высокого давления проводят систему трубок через такие же противоточники, охладители и т. п.; в эту систему в процессе циркуляции ожижаемого водорода дополнительно вводится из стальной бомбы некоторое количество водорода. В конечном счете эта часть проходит через конденсатор, который охлаждается водородом, поступающим из расширительного вентиля, соединяется с этим водородом и течет обратно в сторону низкого давления. В этом случае небольшое количество чистого водорода требуется только при пуске установки.

В Институте Херршингера спроектирована установка, которая позволяет увеличивать примерно на 30% производительность небольшого аппарата для ожижения воздуха: большая часть воздуха в аппарате не ожижается, а снова подводится противотоком к компрессору, так что последний при стационарной работе засасывает из атмосферы только ожижаемую долю воздуха (теоретически 9,6% от общего циркулирующего количества). Компрессор может засасывать воздух не из атмосферы, а из резервуара, находящегося под давлением; если воспользоваться небольшим компрессором, то в этих 9,6% воздуха можно создать избыточное давление до 0,3 атм; в этом случае общая производительность компрессора, а следовательно, и ожижаемая часть увеличиваются в отношении 1:1,3.

В) Измерение низких температур

Для измерения температур до -200°C пригоден пентановый термометр. Чтобы жидкость в его трубке не загустела, в исследуемую среду следует сначала погружать только шарик термометра, а затем уже и трубку. До температуры жидкого воздуха можно пользоваться термопарами. Вместо медно-константановой термопары лучше взять марганитно-константановую, так как большая теплопроводность меди может привести к неточности измерений. Проволоку предварительно испытывают на однородность. Для этого берут кусок проволоки, протягивают его через жидкий воздух и с помощью гальванометра наблюдают появляющуюся на ее

концах термоэлектродвижущую силу [41]. Для интервалов температур между жидким воздухом и жидким водородом и между жидким водородом и жидким гелием применяется газовый термометр постоянного объема. На рис. III, 45 показан схематически простой газовый термометр постоянного объема. Резервуар термометра T с помощью капилляра K соединяется с манометром M , имеющим шкалу давлений от 0 до 1 атм. Термометр наполняется при комнатной температуре водородом или гелием под давлением 1 атм и легко может быть проградуирован в °К.

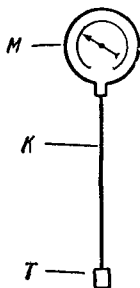


Рис. III, 45. Газовый термометр постоянного объема.

Американские угольные сопротивления, применяемые в качестве указателей уровня жидкости, могут прекрасно служить и в качестве термометров. В этом случае, однако, надо обращать внимание на то, чтобы количество джоулевого тепла, выделяющегося в процессе измерения, было очень малым ($< 10^{-5}$ вт). Как было указано выше, удаляют бакелитовый изолирующий слой сопротивлений и их вклеивают при помощи лака в медную трубочку. Они не должны непосредственно соприкасаться с гелием, так как адсорбируют его и при этом меняется характеристика сопротивления [42].

Термометр градуируют путем сравнения с показаниями газовых термометров.

Можно так задать некоторую константу a , что величина

$$b = a \lg R - \sqrt{\lg R/T}$$

почти не будет зависеть от температуры. При этом R есть сопротивление при температуре T° К. Для определения небольших поправок к b целесообразно графически представить b как функцию $\lg R$ [43].

Очень точные измерения температуры можно произвести с помощью термометра, в котором температура измеряется по давлению пара. Для большинства случаев вполне удовлетворительной оказывается простая конструкция, схематически изображенная на рис. III, 46. Резервуар термометра T соединяется с одним коленом ртутного манометра Q , другое колено которого по желанию остается открытым или закрывается после того, как из него откачают воздух. Вследствие малого объема этого колена даже незначительное количество воздуха, проникающего в него или остающегося в нем после откачки, может привести к появлению больших ошибок в измерениях, поэтому здесь необходимо применять очень надежный кран с наклонно расположенными отверстиями и полной пробкой. Сосуд V необходим для того, чтобы при охлаждении имелся достаточный запас пара, так как в резервуаре термометра также происходит небольшая конденсация. Вели-

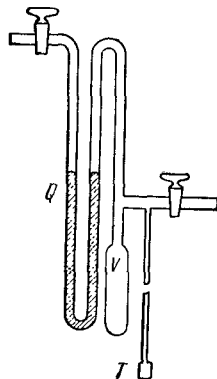


Рис. III, 46. Термометр, измеряющий температуру по давлению паров.

чину объема V подсчитывают в зависимости от газа в термометре и измеряемой температуры. Вследствие большого наружного объема показания термометра несколько вялы, так как в нем должны конденсироваться или испаряться большие количества пара. Если этот дефект желательно устранить, то для манометра и подводящей трубки можно применить капилляры, которые, однако, при низких температурах необходимо наполнять, а перед нагреванием вновь откачивать. Если хотят облегчить труд по наполнению отмеренным количеством пара, то последний необходимо впускать медленно. Термометр считается достаточно наполненным, если давление в нем сохраняется неизменным после двукратного дополнительного введения небольшого количества пара [14].

В случае применения закрытых криостатов для самых низких температур можно при медленной откачке определять температуру по упрюгости пара над жидкостью, так как задержка кипения едва ли здесь будет происходить. Вместе с тем, если теплый газ сжимается, то температура в нижней части сосуда Дьюара, несмотря на хорошее перемешивание, может оказаться на несколько градусов ниже, чем температура на поверхности; в связи с этим при необходимости повысить температуру лучше это делать с помощью маленькой нагревательной спирали, располагая ее в самой нижней части сосуда Дьюара. При работах с жидким воздухом необходимо помнить, что вследствие изменения его состава нет однозначной зависимости между давлением пара и температурой. По этой причине необходимо применять закрытые кислородные термометры.

Г) Сосуды Дьюара, сифоны и вентили с вакуумной рубашкой

Лучшими сосудами для жидкого воздуха могут служить термосы из закаленного стекла, имеющиеся в любом хозяйственном магазине. Большие сосуды для транспортировки жидких газов изготавливаются из металла. По желанию их можно изнутри посеребрить, благодаря чему потери на испарение значительно уменьшаются.

Сосуды для транспортировки гелия изготавливаются совершенно так же, как дьюаровские сосуды для магнитных исследований. Только тонкостенная трубка на верхнем конце делается существенно длиннее. Благодаря этому улетающий гелий препятствует притоку тепла через стенки трубки [15]. В сосуде емкостью 15 л за сутки испаряется около 0,25 л жидкого гелия!

Весьма желательно точно знать уровни жидкости до и после выливания части жидкого гелия. Этой цели служит тонкостенная трубка диаметром 1 мм из нейзильбера, имеющая раструб на конце, закрытый резиновой мембраной. Если трубка находится в газе, то очень легко возникают низкочастотные акустические колебания (так называемые термофоны), наличие которых легко ощутить непосредственно пальцами. Если эту трубку медленно опускать вертикально, то колебания прекращаются в момент соприкосновения трубки с поверхностью жидкости. Этот способ позволяет легко определить уровень жидкости с точностью ± 1 мм. Метод применим и к жидкому водороду, но неприменим к жидкому воздуху [16].

На рис. III, 47 показан металлический сифон с вакуумной оболочкой со впаянным вентилем. Внутренняя труба с внешней стороны посеребрена. Прибор откачивается ротационным масляным насосом

только один раз. Как только один из концов приходит в соприкосновение с жидким гелием, вакуум становится достаточным для переливания. Если этот сифон применяется для жидкого воздуха, то в нижний конец его рекомендуется ввести немного адсорбирующего угля [17].

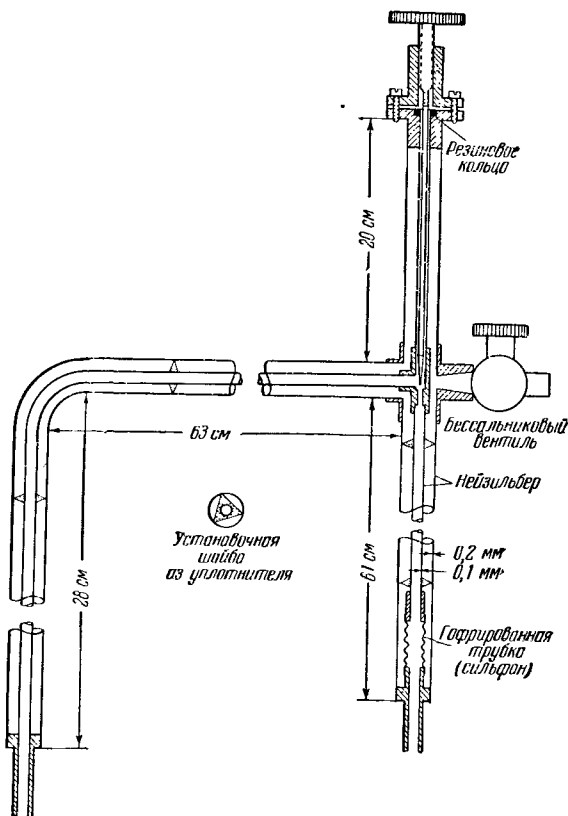


Рис. III,47. Сифон для жидкого гелия со впаянным вентилем.

Небольшое давление, необходимое для переливания сифоном жидкого гелия, лучше всего получить легким нажатием рукой на небольшую грушу.

Д) Автоматическая регулировка температуры

Температура в кристатах поддерживается постоянной с помощью регулировки тока через сопротивление, находящееся на дне сосуда. В настоящее время регулирование тока почти во всех случа-

ях осуществляется автомагически [18]. Радиотехническое угольное сопротивление в жидком гелии включается в одно из плеч мостика Уитстона, питаемого переменным током. Выходное напряжение мостика усиливается, выпрямляется фазовым детектором и подводится к небольшому (6 *вт*) усилителю мощности, а от него — к нагревателю. Мостик регулируется так, что при достижении желаемой температуры на его выходе возникает маленький сигнал нужной фазы, вызывающий соответствующий ток в цепи нагрева. Вентиль, ведущий к насосу, устанавливается таким образом, что в нагревателе развивается необходимая мощность. При уменьшении температуры мощность нагревателя растет, при увеличении температуры мощность нагревателя падает. Если температура увеличивается настолько сильно, что сигнал на выходе моста имеет обратную фазу, то фазовый детектор препятствует прохождению этого сигнала к усилителю мощности. Обеспечение в течение часа постоянства температуры гелиевой ванны с точностью 0,001° К не вызывает трудностей. Вместо угольных сопротивлений можно применять также полупроводниковые (германиевые). При более высоких температурах жидкого азота применяют термисторы.

§ 4. Изготовление термометров сопротивления

Нормальный термометр сопротивления (применяется для воспроизведения международной температурной шкалы 1948 г.) должен быть сконструирован таким образом, чтобы измерительная проволока была по возможности свободна от напряжений, укреплялась на хорошо прокаленном и хорошо изолирующем каркасе и во время работы оставалась в этом состоянии.

Рекомендуется пользоваться проволокой, изготовленной из литого куска платины, а не из ковanej губчатой платины. Толщина проволоки может изменяться от 0,05 до 0,5 мм.

Подводящие провода вблизи измерительной проволоки должны быть платиновыми, а в зоне градиента температуры — золотыми. Готовую катушку сопротивления необходимо отжечь в воздухе при температуре не ниже 450° С; если же термометр будет применяться для измерения температур выше 450° С, катушку следует отжечь при температуре, превышающей максимальную из температур, которые будут измеряться.

Для защиты от механических или химических воздействий термометр сопротивления помещают в трубку (чехол) из стекла, никеля, глазурованного фарфора или плавленого кварца.

Отношение электрических сопротивлений при 100° С и 0° С, R_{100}/R_0 , должно быть больше 1,3910. Чтобы убедиться в правильности конструкции или точности калибровки, можно вычислить величину выражения

$$\frac{R_s - R_0}{R_{100} - R_0},$$

где R_s — сопротивление термометра при температуре кипения серы, величина этого выражения должна лежать в пределах между 4,2165 и 4,2180. Соответственно, если термометр предназначен для измерения низких температур, то величина выражения

$$\frac{R_s - R_{0_2}}{R_{100} - R_0},$$

где R_{O_2} означает сопротивление термометра при температуре кипения кислорода, должна лежать между 6,145 и 6,144.

Эти рекомендации взяты из постановления Международного комитета, принятого в 1948 г.

Далее даются рекомендации, необходимые для изготовления термометра.

Термометр должен иметь очень малую тепловую инерцию и малую теплоемкость; в этом случае правила химической, механической и термической предварительной обработки измерительной проволоки в температурной области между -183 и $+660^\circ\text{C}$ являются вполне ясными; поэтому неточность постоянных точек температурной шкалы может влиять на точность измерения сопротивления лишь в пределах нескольких миллионных долей, что соответствует неточности определения температуры около $0,001^\circ\text{C}$.

Последовательность работ при изготовлении термометра:

1. Из естественного талька (стеатита) выпиливают циркулярной пилой кусок длиной 50 мм, шириной 6 мм и толщиной 6 мм.

2. Из этого куска вытачивается цилиндрический стержень длиной 45 мм и диаметром 4 мм.

3. Из средней части этого стержня вытачивается стерженек длиной 30 мм и диаметром 2 мм, на котором нарезается двойная (бифилярная) резьба глубиной 0,2 мм с шагом 0,3 мм. Стерженек затем укорачивается до 26 мм.

4. В этом стерженьке делают три отверстия диаметром 0,3 мм; два отверстия располагаются перпендикулярно друг к другу вблизи одного (верхнего) конца стерженька, и одно отверстие располагается вблизи его другого (нижнего) конца. Во время просверливания отверстий стерженек укладывают в латунный угольник.

5. Затем готовые стерженьки прокаливаются в воздушной бане при температуре 1000°C около четырех часов. Вследствие спекания длина стерженьков после прокаливания сокращается до 25 мм.

6. Кусок спектроскопически чистой платиновой проволоки длиной около 1 м (достаточный для двух термометров) и диаметром 0,1 мм прокаливается в воздушной бане при 900°C в течение 15 минут.

7. Второй кусок технической чистой платины длиной 40 см и диаметром 0,1 мм после прокаливания электрическим током вводят в нижнее отверстие обработанного, как выше указано, стерженька из талька; проволока вводится в отверстие на половину ее длины, а затем оба ее конца наматываются бифилярно по резьбе стерженька. Эта проволока служит временной подкладкой для измерительной проволоки.

8. На эту подкладку бифилярно наматывается спектроскопически чистая платиновая проволока длиной около 40 см. Эта операция выполняется так же, как указано в пункте 7.

9. Для подвода тока служат два отрезка физически чистой платины длиной около 15 мм и диаметром 0,2 мм, предварительно прокаленные электрическим током; эти проволочки сгибаются в середине под очень острым углом и в согнутом виде укрепляются в двух верхних отверстиях. В местах их сгиба приплавляются концы спектроскопически чистой измерительной проволоки.

10. После этого платиновую проволоку, служившую подкладкой, освободив ее концы из-под измерительной проволоки, осторожно

но разматывают и удаляют с катушки, так что на катушке остается только измерительная проволока, которая свободно, без напряжений лежит в винтовой нарезке талькового стерженька.

11. Затем катушку сопротивления прокаливают в воздушной бане при температуре около 800°C в течение 24 часов. Охлаждение до комнатной температуры производится постепенно в течение приблизительно трех часов.

12. К концам платиновых проволок, подводящих ток, приплавляются четыре золотые проволоки длиной около 50 см и диаметром 0,2 мм; их предварительно прокаливают электрическим током.

13. Подводящие проволоки (платина — золото) изолируются с помощью кварцевых трубок и фарфоровых шайбочек. Весь термометр вставляется в кварцевую

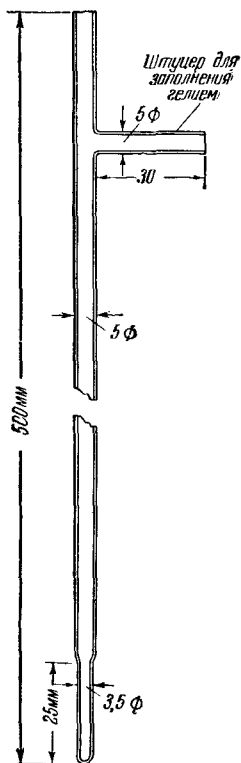


Рис. III,48. Защитная трубка для термометра сопротивления.

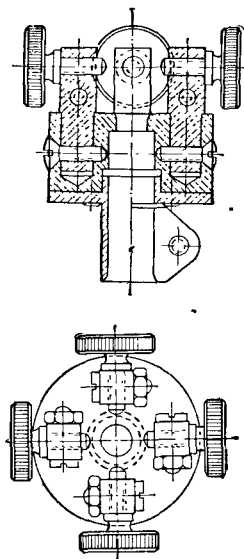


Рис. III,49. Головка термометра сопротивления.

защитную трубку (рис. III,48). Золотые подводящие проволоки укрепляются на клеммах головки (рис. III,49).

14. Перед определением постоянных термометра его нагревают в течение 24 часов в воздушной бане при температуре около 700°C , а затем постепенно охлаждают до комнатной температуры в течение около трех часов.

Тепловая инерция термометра, изготовленного указанным выше способом, такова, что если термометр находится в жидкой бане, температура которой со временем изменяется равномерно, то после наступления стационарного состояния он показывает, смотря по обстоятельствам, температуру, которая была в бане приблизительно за 10 сек перед этим.

Для платиновых термометров прежних конструкций, в которых проволока длиной 1 м наматывалась на фарфоровую крестовину длиной 5 см, соответствующее время составляет 45 сек, для ртутных термометров высокого качества — около 4 сек [1].

Платиновый термометр сопротивления можно применять также в области низких температур от -183 до -253°C . Для измерений в этой области в защитную трубку необходимо вводить гелий, так как воздух, находящийся в ней, будет конденсироваться. Если платиновую проволоку, прокаленную в воздухе, нагреть в гелии примерно до 500°C , то по имеющимся данным это оказывает влияние на ее электрическую проводимость. Сопротивление ее при температуре заморозки воды будет больше. Это увеличение может достигать 0,0004 нормальной величины сопротивления. Изменение сопротивления достигает постоянного значения только в том случае, если нагревание продолжается свыше ста часов. Если затем термометр вновь нагревать в воздухе, то его первоначальное сопротивление восстанавливается только отчасти и лишь после продолжительного нагревания. Поэтому целесообразно оставлять термометр наполненным гелием только на некоторое время, пока его температура не превышает 100°C , затем его снова следует вместо гелия наполнить воздухом, прежде чем его температура окажется выше $+100^{\circ}\text{C}$.

Подобные наблюдения, очевидно, можно проделать также и при других условиях; но Международный комитет рекомендует наполнять защитную трубку термометра газом, содержащим кислород. Для контроля в промышленных установках применяются термометры различных типов, в которых платиновая проволока или платиновая лента неподвижно вплавлены в тугоплавкое стекло. При изготовлении термометра его сопротивление очень точно выверяется по постоянному значению сопротивления при точке плавления льда, поэтому такой термометр можно непосредственно применять при любых измерениях.

Для грубых измерений употребляются никелевые термометры сопротивления различных типов. Проволока наматывается на слюдяные пластинки с зубчиками. При обработке пластинок (нарезка зубчиков и сверление) их целесообразно укладывать в металлическую оболочку.

ГЛАВА XV

ЧАСЫ [1]

§ 1. Измерение времени

А) Приборы для измерения коротких промежутков времени [2] можно систематизировать по величине наименьшего интервала времени, доступного измерению ими.

Меньше 10^{-9} сек: особые методы (используются известные значения некоторых скоростей, например света, быстрых частиц);

интервалы до 10^{-24} сек — атомное время; начиная с 10^{-12} сек — «короткое время».

10^{-9} сек: вращающиеся барабаны с фотопленкой, вращающиеся зеркальные призмы, катодные осциллографы [3].

10^{-7} сек: счетчики с электронными пересчетными схемами (декадными) и механическими счетчиками; методы, основанные на разрядке конденсаторов [4].

10^{-5} сек: шлейфовый осциллограф; точность может быть увеличена с помощью одновременной записи эталонной частоты или записи отдельных отметок времени.

10^{-3} сек: хронографы с записью на бумаге; запись чернилами, или на «восковой бумаге», на бумаге, покрытой сажей, или при помощи искр; часы Хишпа, «луна времени».

10^{-2} сек: секундомер, датчик меток времени.

10^{-1} сек: секундомер, включаемый электромагнитом или от руки.

Для более длительных промежутков времени служат обычные секундомеры и часы.

Б) Счетчики являются самым универсальным прибором для отсчета коротких промежутков времени. Частота счета может подниматься до 10^7 гц, обычно же она бывает равной 10^5 — 10^6 гц. Вместе с тем ими можно измерять не только короткие, но и очень длинные промежутки времени. Относительная точность зависит от частоты счeтa, вследствие этого за ней надо тщательно следить (например, при помощи катодного осциллографа и фигур Лиссажу, применяя эталонную частоту или синхронизируя счет с эталонной частотой, точность которой достигает 10^{-10}).

При таких измерениях иногда могут возникать ошибки в счете вследствие поступления на вход счетчика ложных импульсов. Для предотвращения этого применяют буферные блокирующие каскады (например, на тиратронах), которые исключают многократное срабатывание счетчика.

В) Приборы с более высокой разрешающей способностью имеют часто ограниченную область измерений. Для измерений более длинных промежутков времени прибегают к помощи приборов, отмечающих интервалы времени (например, секундный маятник с контактами); при этом или измеряют положение начала и конца исследуемого события на шкале отметок времени, или определяют момент события путем интерполяции между двумя последовательными отметками времени.

Если начало и конец процесса, длительность которого измеряется, не вполне точно определяются, то следует избегать применения приборов и методов, не улавливающих эту неточность, а именно, счетчиков, искровых хронографов, методов, основанных на разряде конденсаторов; в этих случаях следует пользоваться лупой времени или осциллографом.

§ 2. Секундомеры [5]

А) Уход

Вследствие старения масла часы можно считать надежными не более чем в течение двух лет. При ответственных измерениях секундомеры перед употреблением необходимо проверять. Следует обращать внимание на зависимость их хода от положения, температуры и состояния пружины завода. По возможности следует производить

измерения при горизонтальном положении секундомера с циферблатом, обращенным вверх, при температуре 20° С и заводе на 90%! Если секундомер долгое время не работал, то сначала необходимо завести секундомер полностью (до отказа) и предоставить ему возможность работать до тех пор, пока не кончится завод; только после этого секундомер можно проверять или применять для измерений.

Б) В ы б о р

В наиболее часто употребляемых секундомерах половина периода колебания балансира составляет 0,2 сек. Ошибка в измерениях коротких промежутков времени — до 1 минуты — может достигать 0,8 сек. Значительно более точными являются секундомеры, у которых, благодаря качественному изготовлению или свойствам конструкции, исключена дополнительная ошибка, вызываемая механизмом или циферблатом. Электромагнитные секундомеры (большого габарита) могут давать ошибку при измерении коротких промежутков времени менее 0,2 сек, а длинных (один час) — менее 0,5‰.

В) П р е д в а р и т е л ь н ы е и с п ы т а н и я

Если в наличии нет автоматического испытательного прибора, то необходимо иметь хотя бы какой-нибудь эталон времени: часы с маятником, точные карманные ручные часы, сигналы времени, передаваемые по радио, отметчики коротких промежутков времени или секундомер с известной точностью. Для проверки секундомера необходимо завести его на 90% и в том положении и при той температуре, которые будут при дальнейших работах с секундомером, измерить: 1) большое число раз — промежуток времени, равный нескольким секундам, и 2) один раз — возможно более длинный промежуток времени (1/2 часа или 1 час).

Ошибки, полученные при измерениях 1) и 2), наносят на график, точки соединяют линией, которая представляет собой кривую ошибок секундомера; в дальнейшем ею пользуются при измерениях времени этим секундомером

§ 3. Фотоконтакт

Диафрагма с отверстием укрепляется на детали часов, движущейся с наибольшей скоростью (спираль баланса, тяжелая часть маятника). На плоскость ее движения проектируется щель, например, с помощью оптики звукового кино. Модулированный диафрагмой свет преобразуется фотоэлементом или фотоумножителем в соответствующие колебания тока.

Г Л А В А XVI

ИЗГОТОВЛЕНИЕ УРАНОВОГО КОМПЕНСАТОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СЛАБЫХ ИОНИЗАЦИОННЫХ ТОКОВ (ПО Р. ЕГЕРУ)

На рис. III,50 показана конструкция уранового компенсатора для измерения ионизационных токов; этой конструкцией можно воспользоваться при самостоятельном изготовлении такого прибора [1]. Для предотвращения изменений емкости при установке ком-

пенсатор выполнен в виде дифференциального конденсатора. Для этой цели дно D разделено посредством перегородки St на две половины. Одна из половин, U , покрыта, например, окисью урана (U_3O_8), вторая свободна. В кожухе G помещена вторая система, которую можно поворачивать. Ее дно имеет вырез A . В зависимости от угла поворота этой системы радиоактивный слой более или менее закрывается. В крышку на изоляторе B (янтарь, тролитул) с заземленным защитным кольцом R вмонтирован коллекторный электрод E ; K — зажимы для подключения. Ток насыщения может непрерывно меняться от нуля до максимального значения. Шкала может быть отградуирована в величинах ионизационного тока или мощности дозы (*рентген/сек, рентген/мин, рентген/час*).

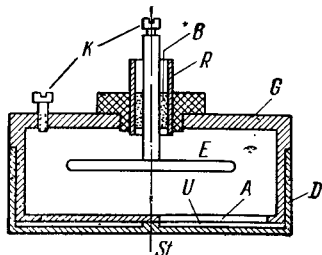


Рис. III,50. Урановый конденсатор для измерения слабых ионизационных токов.

Для того чтобы слой U_3O_8 крепко удерживался на дне, пластину можно положить в стеклянный сосуд и налить в него такое количество амиллацетата, чтобы пластина была полностью залита. К амиллацетату добавляют незначительное количество цапюплака. Окись урана в матерчатом мешочке равномерно перемещается над сосудом, и посредством легкого постукивания палочкой обеспечивается равномерное распределение частичек окиси урана на поверхности пластины. Эта работа должна выполняться в вытяжном шкафу. Просыпать окись урана недопустимо. Необходима также чрезвычайная осторожность при очистке деталей, которые не должны быть покрыты окисью. При расчете величины излучающей поверхности предполагается, что α -излучение в одном направлении с 1 см^2 слоя окиси урана U_3O_8 , очищенной от UX, при отсутствии поглощения этого излучения обеспечивает ток насыщения, равный $5,78 \cdot 10^{-13} \text{ а}$.

ГЛАВА XVII

СЧЕТЧИКИ, КАМЕРА ВИЛЬСОНА

§ 1. Счетчик Гейгера — Мюллера

А) Принцип действия

а) *Счетчик и схема включения.* Счетчик Гейгера — Мюллера ¹⁾, наряду со сцинтилляционным счетчиком, в большинстве случаев применяется для счета ионизирующих частиц и прежде всего β -частиц и вторичных электронов, возникающих под действием γ -лучей. Этот счетчик состоит обычно из цилиндрического катода, внутри

¹⁾ Редко применяющийся счетчик Гейгера с острием здесь не описывается. Краткие указания относительно пропорционального счетчика даны в подразделах д), г) раздела А), подразделах а), б), г) раздела Б) и в подразделе г) раздела В). Подробнее см. [1] и [1а].

которого вдоль его геометрической оси натянута на изоляторах тонкая проволока, служащая анодом. Давление газа внутри трубки обычно составляет величину порядка $1/10$ атм.

Принципиальная схема включения счетчика дана на рис. III, 51. К счетчику подводят напряжение U , которое для наиболее употребимых счетчиков достигает 1000 в; последовательно со счетчиком

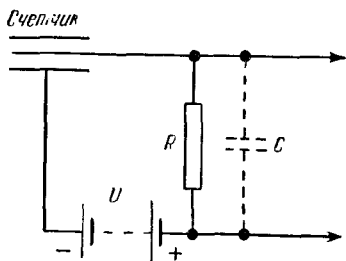


Рис. III,51. Принципиальная схема включения счетчика

включается сопротивление R (величиной от 10^8 до 10^{10} ом). Падение напряжения, которое вызывает R при прохождении тока через счетчик, можно определить соответствующим измерительным устройством. Для этой цели чаще всего служит усилитель, для простых опытов можно также использовать струнный электрометр. Обозначенная пунктиром емкость C представляет собой суммарную емкость цепи, включенную параллельно сопротивлению R .

Необходимо обращать внимание на то, чтобы на цилиндре всегда было отрицательное напряжение, так как при неправильном включении полюсов счетчик можно привести в негодность.

б) *Механизм разряда.* Действие описанной схемы существенно зависит от величины напряжения U . При очень низких напряжениях ионы, образующиеся в газе между катодом и анодом под действием заряженных частиц, двигаются к электродам так медленно, что часть их успевает рекомбинировать раньше, чем достигает электрода. Но при напряжении более высоком, чем напряжение тока насыщения U_S , все ионы достигают электродов, и, если постоянная времени цепи намного больше времени собирания ионов, то, благодаря сопротивлению R , возникает импульс напряжения, равный $\Delta U = ne/C$ (n — число первичных пар ионов, e — элементарный заряд), который спадает со временем, как

$e^{-t/RC}$. В этой области, простирающейся от U_S до напряжения U_{p1} (рис. III,52), счетчик действует, как обычная ионизационная камера.

При напряжении U_{p1} напряженность поля в непосредственной близости от анода становится настолько большой, что количество первичных ионов, образовавшихся ионизирующими частицами, увеличивается вследствие ударной ионизации (лавина Таунсенда). Вместо n первичных электронов на анод приходит nA электронов. Коэффициент газового усиления A , увеличивающийся с возрастанием напряжения, в «пропорциональной области» между U_{p1} и U_{p2} не

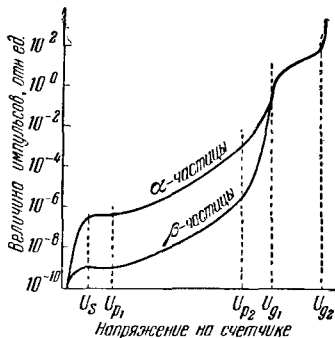


Рис. III,52. Амплитудная характеристика счетчика (величина импульсов) в зависимости от напряжения.

зависит от первичной ионизации; поэтому числа импульсов напряжения, которые возникают, например, на сопротивлении R под действием сильно ионизирующей α -частицы ($n \sim 5000$) и одной быстрой β -частицы ($n \sim 10$), будут относиться между собой, как первичные ионизации тех и других частиц. При напряжении U_{p_1} усиление $A=1$, а на верхней границе этой области может достигать значения 1000 и больше. При напряжении выше U_{p_2} усиление A более не зависит от первичной ионизации, так что импульсы, возникающие от слабо и сильно ионизирующих частиц, все более выравниваются («область ограниченной пропорциональности»). При U_{g_1} — пороговое напряжение, «плато счетчика» или «область Гейгера»— все импульсы имеют практически одинаковую величину независимо от первичной ионизации. При напряжениях более высоких, чем не очень четко определяемое напряжение U_{g_2} , появляется большое количество ложных импульсов, которые в конце концов переходят в сплошной разряд.

Описанные ниже счетчики работают в области Гейгера между U_{g_1} и U_{g_2} .

Очень сложный процесс разряда в области плато можно описать приблизительно следующим образом. Электроны, возникающие в процессе первичной ионизации, создают густое облако ионов в непосредственной близости от анода в результате совместного действия ударной ионизации и фотоионизации квантами ультрафиолетового света. Вследствие большой скорости движения появившиеся в этом облаке свободные электроны за очень короткое время попадают на анод, в то время как при величине коэффициента газового усиления 1000 более медленные положительные ионы еще незначительно удаляются от мест своего возникновения. Так как непосредственно вокруг проволоки возникает положительный пространственный заряд, то напряженность поля там в течение 10^{-6} сек или меньше уменьшается настолько, что ударная ионизация становится невозможной, и электронная лавина немедленно обрывается. Однако в течение 10^{-4} сек положительные ионы перемещаются к катоду и обычно при нейтрализации образуют там вторичные электроны (иногда имеет место фотоэффект). Эти фотоэлектроны движутся к аноду и там вызывают новую лавину; в результате могут появляться запаздывающие разряды или возникать колеблющийся коронный разряд. Появление ионов с отрицательными зарядами или метастабильных состояний атома может также быть причиной таких помех. Считается, что счетчик заряженных частиц отвечает своему назначению только в том случае, если удается подавить эти послеразряды. Для последнего необходимо или на достаточно длительное время понижать напряжение на счетчике после разряда, или подбирать подходящие газы для наполнения счетчика.

в) *Гашение разряда.* Напряжение на счетчике понижается при каждом его срабатывании на величину,

$$\Delta U = \frac{n\Delta e}{C}.$$

Если сопротивление утечки R достаточно большое, то заряд, равный $n\Delta e$, стекает так медленно, что напряжение вновь достигает порогового значения, необходимого для срабатывания счетчика, только после того, как исчезнут все положительные ионы; только после этого мертвого времени счетчик снова может считаться готовым к счету следующей частицы. Из опытов известно, что, например,

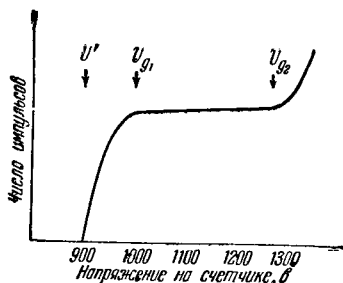
у счетчиков с воздушным наполнением необходимо иметь сопротивление $R > 10^9$ ом, так что падение напряжения ΔU достигается при паразитной емкости порядка 10^{-11} ф с постоянной времени $RC > 0,01$ сек. Таким образом, это устройство пригодно для измерений только при относительно незначительных частотах частиц (см. стр. 369). Значительно более короткое мертвое время может быть достигнуто с помощью гасящих схем (стр. 367), которые при каждом сосчитанном импульсе вырабатывают импульс напряжения, подающийся обратно на счетчик и снижающий на короткое время (около 0,1—0,5 мсек) напряжения на нем.

Самогасящиеся счетчики, которые дают разрядные импульсы продолжительностью только в несколько десятитысячных секунды (10^{-4} сек), получают, наполняя счетчики многоатомным газом, например метаном, или добавляя такой газ к благородному

газу, если последний вводится в счетчик (см. стр. 359). Эти газы, очевидно, получают энергию ионов, создающих помехи, или нестабильных атомов благородного газа при диссоциации; поэтому практически не появляется новых электронов и не возникает мешающих послеразрядов. Так как гасящий газ постепенно разлагается главным образом вследствие диссоциации, то такие счетные трубки становятся непригодными после 10^7 — 10^9 разрядов.

г) Характеристика счетчика.

Рис. III, 53. Характеристика счетчика.



находят количество N импульсов напряжения, возникающих на сопротивлении R при постоянном облучении счетчика в зависимости от напряжения на счетчике U . В результате получают характеристику счетчика в виде кривой, показанной на рис. III, 53. Напряжение U' , при котором начинают наблюдаться первые импульсы, зависит от порогового напряжения применяемого измерительного прибора, которое в большинстве случаев составляет несколько десятых долей вольта. Как только высота импульса превысит пороговое значение, он будет сосчитан, и при дальнейшем увеличении напряжения N должно оставаться постоянным при дальнейшем увеличении напряжения до конца области Гейгера (плато характеристики). Это, конечно, идеально не выполняется; напротив, в результате появления отдельных ложных разрядов плато имеет более или менее выраженный плавный подъем. В счетчиках, работающих в области пропорциональности, можно получить практически горизонтальное плато характеристики.

К хорошим счетчикам предъявляются следующие требования: плато должно быть возможно более длинным и ровным, т. е., если область между U_{g1} и U_{g2} должна быть равна минимум 100 в, то увеличение числа импульсов должно составлять не более нескольких процентов на каждые 100 в напряжения; характеристика должна быть на протяжении длительного времени неизменной и в достаточной области независимой от температуры; мертвое время должно по возможности быть коротким, чтобы можно было достичь высоких ско-

ростей счета; чувствительность для β -частиц должна практически составлять 100%, т. е. каждая проходящая через чувствительные пространства счетчика β -частица должна быть зарегистрирована. Желательно, чтобы счетчик имел низкое пороговое напряжение (U_{g1} незначительно выше 1000 в) и давал большие импульсы напряжения. Ниже мы подробно остановимся на том, в какой степени эти качества счетчика зависят от наполнителя, типа и формы электродов и схемы включения счетчика.

Б) Изготовление счетчиков

а) *Общие положения.* При изготовлении счетчиков необходимы большая осторожность и чистота; так, например, маленькие пылинки, или осколки электродов, или незначительные количества посторонних газов, например водяного пара, уже могут сделать счетчик непригодным. Но даже при выполнении этих требований не каждый счетчик оказывается удачным, так что в зависимости от различных обстоятельств счет частиц может происходить с большей или меньшей ошибкой. Важную роль при изготовлении счетчика играют отсутствие пыли (не должно быть даже табачного дыма), тщательная очистка электродов и стеклянной трубки от жира и других загрязнений и хорошая вакуумная техника. Для того чтобы трубка имела продолжительный срок службы, необходимо газ для наполнения неизменно сохранять чистым. С этой целью лучше всего применять стеклянные трубки с вылавленными электродами, которые возможно лучше отжигаются в вакууме. Так как не удастся иногда избежать соединений на клею, то по крайней мере необходимо применять клеи с низкой упругостью паров и незначительной растворимостью в органических газах, добавляемых к газу-наполнителю для гашения разряда (пригодны, например, аральдит, а также плицин).

Описываемые ниже счетчики при соответствующем напряжении (см. А, в) могут работать как пропорциональные счетчики, если между счетной трубкой и счетным устройством включается линейный усилитель с достаточно большим коэффициентом усиления.

б) *Наполнение газом.* 1) *Давление газа.* Средняя удельная ионизация быстрыми электронами составляет для большинства газов примерно от 20 до 100 ионных пар на см пробега при атмосферном давлении; она обратно пропорциональна давлению. Для того чтобы такой электрон на пробеге длиной примерно 2 см в счетчике наверняка образовал хотя бы одну пару ионов и таким образом вызвал бы в счетчике сигнал, требуется минимальное давление примерно в 50 мм рт. ст. Верхний предел давления чаще всего устанавливается на этом уровне; при более высоком давлении рабочее напряжение на счетчике пришлось бы устанавливать слишком высоким.

2) *Несамогасящиеся счетчики.* В несамогасящихся счетчиках, подбирая подходящий газ для их наполнения и соответствующие параметры контура, можно довести мертвое время до значения, меньшего 10^{-4} сек. Удачными наполнителями являются благородные газы, которые, конечно, не должны быть исключительно чистыми; лучше к ним добавлять определенное количество другого газа для устранения метастабильных состояний атомов благородного газа, появляющихся после разряда.

Удельная ионизация гелия очень мала, поэтому его следует использовать при давлении не менее 200 мм рт. ст.; гелий можно применять до атмосферного давления; поэтому он подходит для счетчика с очень тонкими окнами. Рабочее напряжение даже при атмосферном давлении составляет около 1400 в. Особенно подходящими газами являются аргон и неон, которые обладают высокой удельной ионизацией и относительно низким рабочим напряжением. Оказалось чрезвычайно удачным добавление до 10% водорода, а небольшое количество паров ртути может устранить нестабильные состояния; но добавления кислорода следует избегать вследствие опасности образования отрицательных ионов у катода. Если в качестве наполнителя применяется углекислый газ, то образования отрицательных ионов можно избежать, добавляя к нему CS_2 . В воздухе в большом количестве возникают отрицательные ионы, поэтому он мало подходит для наполнения счетчиков. Все газы необходимо тщательно осушать, так как в парах воды особенно легко образуются отрицательные ионы. Также следует избегать паров органических веществ; они могут возникать, например, при употреблении клея.

В качестве наполняющего газа в пропорциональных счетчиках применимы аргон с добавлением нескольких процентов CO_2 и, в особенности, чистый метан, который при атмосферном давлении медленно и непрерывно поступает из стального баллона через редукционный вентиль в изолированную от воздуха трубку счетчика (счетчик с метановым потоком [1а]).

3) Самогасящиеся счетчики. У самогасящихся счетчиков мертвое время, как правило, составляет несколько десятитысячных долей секунды. Для изготовления качественных самогасящихся счетчиков необходимо, чтобы как наполнитель, так и гасящий газ были очень чистыми, так как уже незначительные загрязнения могут нарушить процесс гашения.

Наиболее часто в качестве наполнителя применяется смесь из аргона (чистотой 99,8% и выше) и 5—10% этилового спирта при общем давлении около 100 мм рт. ст. Чем выше содержание спирта, тем менее ровным является плато счетчика. Следы водяного пара или воздуха так же, как и небольшое загрязнение азотом, приводят к ухудшению плато. При наличии паров спирта, вследствие их диссоциации под действием разрядов, плато счетчиков со временем ухудшается, а рабочее напряжение возрастает. Хорошие счетчики в запаянных стеклянных трубках после 10^8 — 10^9 разрядов выходят из строя и должны наполняться вновь. Счетчики, изготовленные с применением органического клея, еще менее устойчивы. Так как такие счетчики нельзя прокалывать, то, оставляя их на вакуумном насосе, пропускают через них разряд в течение 1—2 дней; вначале их наполняют только парами спирта, чтобы поверхность клея насытилась спиртом. Только в последующие дни происходит собственно наполнение их газом.

Кроме спирта, в качестве гасящей примеси можно применять также ряд других органических газов или паров, например метилалаль (формальдегиддиметилацетат $\text{CH}_2(\text{OCH}_3)_2$), муравьиноэтиловый эфир, метан, ксилол, четыреххлористый углерод, серный эфир, этилен и т. п. Срок службы счетчиков в зависимости от свойств паров, входящих в состав наполнителя, составляет от 10^7 до 10^9 разрядов. Метан можно применять также

как самостоятельный (наряду с благородными газами) наполнитель счетчика.

При диаметре анодной проволоки 0,1 мм и давлении газа от 50 до 120 мм рт. ст. пороговое напряжение имеет величину в диапазоне между 800 и 1200 в, если в счетчике применяются в качестве гасителей пары органических веществ.

Из двухатомных газов можно применять в качестве гасящей добавки к благородным газам только галоиды; эта добавка должна составлять только несколько тысячных долей, так как в противном случае будут образовываться отрицательные ионы, нарушающие процесс гашения. Так как молекулы галогенов не распадаются, то срок службы счетчика в этом отношении не ограничен. Особенно подходящим для наполнения счетчиков является по данным Либона и Фридмана [2] неон, который добавляется к смеси из четырех частей аргона с одной частью хлора в количестве 0,1—1%. При общем давлении от 200 до 500 мм рт. ст. величина рабочего напряжения лежит в диапазоне от 250 до 600 в. Аргон с добавкой нескольких тысячных долей брома или неона с хлором дает также низкое пороговое напряжение (от 300 до 500 в); однако плато в этом случае оказывается менее хорошим.

в) *Катоды.* В качестве материала для катодов наиболее пригодна медь; кроме того, можно применять графит, серебро, золото и платину; они применяются, в частности, в стеклянных счетчиках в виде тонких покрытий. Можно применять также нержавеющей сталь (прежде всего для счетчиков с галоидами) и латунь. Металлические трубки хорошо полируются внутри и перед монтажом тщательно очищаются спиртом или ацетоном. Обточенные на токарном станке или отшлифованные металлы обнаруживают непосредственно после обработки самопроизвольную электронную эмиссию, постепенно исчезающую [3]. Поэтому рекомендуется механически обработанные катоды перед сборкой счетчика прогреть или оставить лежать на воздухе в течение суток.

Для надежной очистки медных катодов, в частности, в несамогасящихся счетчиках применяется смесь из одинаковых частей 50% азотной кислоты и 90% серной кислоты, которая разбавляется 5—10 частями воды. После обработки этим составом катод промывают 5—10 раз водой, в конце — дистиллированной; затем прогревают трубку примерно в течение 2 часов в высоком вакууме при температуре 350—400° С. Если наполнитель содержит примесь водорода, то медные катоды в водороде восстанавливаются; если же постоянной составной частью наполнителя является кислород, то очищенные катоды после интенсивного нагревания в воздухе или кислороде покрываются тонкой пленкой окиси. Рекомендуется также нагревание в атмосфере окиси азота до образования пленки, окрашенной в темно-пурпурный цвет.

Некоторые металлы, например алюминий и свинец, иногда трудно применять в качестве материала для катодов. Но если, несмотря на это, ими все же приходится пользоваться, то изнутри трубку покрывают аквадагом или тонким слоем меди, отлагая его испарением в вакууме. Если необходимо в алюминиевую трубку запаковать латунные пробки, то концы трубки плакируют медью. (см. стр. 80).

Оптимальная чувствительность счетчика для исследования рентгеновских и γ -лучей достигается тем, что толщину стенки катода делают примерно равной длине пробега вторичных электронов в данном материале. Чувствительность счетчика для излучения, т. е. доля подсчитанных счетчиком квантов по отношению ко всем поступающим в счетчик квантам, зависит от материала катодов

и от энергии излучения. Чувствительность алюминиевых катодов уменьшается от 2% при энергии 10 *кэв* до примерно 0,05% при энергии 100 *кэв* и увеличивается затем снова на 1,5% при 2,6 *Мэв*. Чувствительность медных или латунных счетчиков при 10 *кэв* и 2,6 *Мэв* приблизительно одинакова; минимум ее лежит между 200 и 300 *кэв* и составляет около 0,1%. Катоды из тяжелых металлов, например из свинца или золота, имеют чувствительность, которая неравномерно уменьшается от 3—4% при 10 *кэв* до примерно 0,8% при 600 *кэв*, а затем снова возрастает до 2% при 2,6 *Мэв* [4]. Так как из тонкостенной свинцовой трубки нельзя откачать газ, то можно применить латунную трубку с толщиной стенки 0,5 мм, которую внутри облицовывают свинцом.

г) *Аноды*. В качестве анодов лучше всего применять вольфрамовую проволоку (нить) с одинаковым диаметром по всей длине. Также можно успешно пользоваться проволоками из других металлов, например кобара, нержавеющей и обычной стали. Так как рабочее напряжение возрастает с увеличением диаметра проволоки, то необходимо применять по возможности самую тонкую проволоку: нижняя граница диаметра лежит около 0,08 мм; при диаметре, большем чем 0,3 мм, хорошего плато уже не получается.

Чтобы вилать проволоку в стеклянную стенку счетчика или в стеклянный изолятор, к обоим концам проволоки приваривают точечной сваркой соответствующие отрезки проволок толщиной 0,5—1 мм для вилания в стекло. Перед установкой в счетчике проволока должна быть тщательно очищена; ни в коем случае нельзя дотрагиваться до проволоки пальцами. Лучше всю ее прокалить в высоком вакууме или в атмосфере водорода. Если конструкция счетчика такова, что оба конца проволоки выступают наружу, то проволока прокаливается непосредственно перед наполнением счетчика газом.



Рис. III,54.
Стеклянный
счетчик.

Чтобы получить определенную эффективную длину анода, оба конца проволоки заключают в тонкие стеклянные капилляры (рис. III,54, III,55, III,56) или в металлические штифты (раздел *д*, 3), которые немного выступают внутрь катода; можно ограничить проволоку по длине при помощи наплавленных стеклянных шариков или стеклянных стержней (рис. III,54 вверх и рис. III,57).

В пропорциональных счетчиках для предотвращения небольших мешающих разрядов в направлении к аноду по поверхности изолятора рекомендуется ввод анода окружить защитным кольцом, потенциал которого постоянен и примерно равен потенциалу анода.

д) *Форма счетчиков.* Ниже даются указания для самостоятельного изготовления счетчиков.

1) *Размеры.* Счетчики могут быть весьма различными по форме и величине, что объясняется большим разнообразием их применений. В большинстве случаев применяются счетчики с катодом диаметром между 5 и 25 мм и анодными проволоками длиной от 2 до 20 см [5]; при исследованиях, например, космических лучей употребляются значительно более длинные счетчики. Вообще, длина счетчика должна быть во много раз больше его диаметра. Так как мертвое время счетчика увеличивается приблизительно пропорционально квадрату диаметра катода, лучше вместо одного счетчика большого диаметра применять несколько включенных параллельно счетчиков малого диаметра; например, вместо одного γ -счетчика диаметром 3 см можно применять комплекс из семи счетчиков, каждый диаметром в 1 см, которые вплавляются в одну стеклянную трубку и имеют общее газовое наполнение. В очень длинных самогасящихся счетчиках можно получить более короткое мертвое

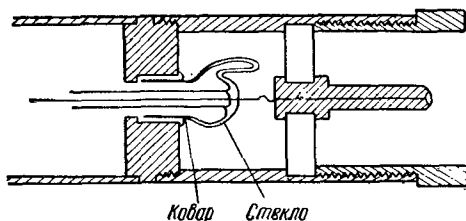


Рис. III,55. Ввод в металлический счетчик с впаянной металлической пробкой, стеклянным изолятором и металлическим цоколем.



Рис. III,56. Жидкостный счетчик.

время, если анодную проволоку разделить на несколько частей [6], наплавив на нее маленькие стеклянные бусинки диаметром приблизительно 0,5 мм.

2) *Стеклянные счетчики.* Простейший стеклянный счетчик показан на рис. III,54. В качестве катода служит тонкостенная металлическая или угольная трубка, вплавленная в стеклянную трубку, с концами, хорошо закругленными или выгнутыми немного наружу; можно также отложить на внутренних стенках стеклянной трубки тонкий слой металла, применяя для этого испарение в вакууме или химическое осаждение (например, меди, серебра, платины, золота, см. стр. 118). В частности, для этой цели пригодны также тонкие графитовые слои, которые получают, нанося слой аквадага (коллоидального графита). Перед нанесением метал-

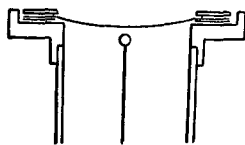


Рис. III,57. Счетчик с тонким слюдяным дном.

лического или графитового слоев необходимо стеклянную трубку весьма тщательно очистить с помощью раствора двуххромовокислого калия в серной кислоте или другим подобным очистителем, так как необходимо, чтобы слой хорошо прилип к стеклу; в противном случае, если от слоя будут отделяться маленькие пленки, счетчик быстро придет в негодность. Подвод к катоду изготавливается в виде тонкой выплавленной в стеклянную трубку проволоки. У трубки из мягкого натрового стекла (тюрингское стекло) с толщиной стенки менее 0,8 мм графитовый слой можно нанести на стеклянную трубку снаружи: проводимость тонких слоев стекла достаточна, чтобы ток мог пройти через стенку [7].

Так как большинство катодов уже под действием видимого света испускает небольшое количество фотоэлектронов, которые приводят счетчик в действие, то необходимо при измерениях тщательно защищать счетчики экранами от действия световых лучей. Стеклянные счетчики лучше всего покрыть светонепроницаемым хорошо изолирующим лаком (например, черным глифталевым лаком) или церезином, в который вводят непрозрачный краситель, растворимый в жирах (например, судан).

3) Металлические счетчики. Наиболее просто изготавлиется счетчик из металлической трубки, оба конца которой закрываются хорошо подогнанными изоляторами, приклеенными плицейном или, если они будут работать при высокой температуре, аральдитом. В изоляторы по центру устанавливаются просверленные по длине латунные штифты толщиной от 3 до 4 мм с хорошо закругленными краями, выступающие на несколько мм внутрь трубки. Анодная проволока протягивается через отверстия в штифтах и припаивается на их наружных концах. Кроме того, в одном из изоляторов устанавливается тонкая стеклянная трубочка для откачки и наполнения счетчика. Эбонит легко выделяет газ, который быстро приводит счетчик в негодность; поэтому такие изоляторы должны применяться только в тех случаях, когда срок службы счетчика не имеет значения. Лучше применять плексиглас, тролитул и подобные материалы; однако более подходящими материалами для изоляторов являются стекло или керамические вещества, такие, как фарфор, стеатит и т. п. При стеклянных изоляторах можно избежать применения клея, если пользоваться стеклянными трубками с припаянными к ним металлическими трубками (например, из кобальта, сплава никель-кобальт-железо, см. стр. 99). Эти стеклянные трубки можно впаять металлическими концами в латунные пробки, которыми заканчивается металлический счетчик (см. рис. III, 55). Анодная проволока выплачивается так же, как в стеклянные трубки. На рис. III, 55, кроме того, показан металлический поколь, приделанный к счетчику, со птекерным штифтом для соединения с экранированным кабелем, который ведет к усилителю. Керамические изоляторы можно по краям покрыть медью и припаять к металлическим катодам (см. стр. 105).

4) Тонкостенные счетчики для β -частиц. Вследствие незначительной проникающей способности β -частиц для их исследования необходимы очень тонкостенные счетчики. β -частицы с энергией 0,7 Мэв уже не проникают через стекло или алюминий толщиной 1 мм или через медь толщиной 0,3 мм. При диаметре трубки от 10 до 15 мм еще можно откачивать стеклянные счетчики (при толщине стенки до 0,15 мм) и алюминиевые (при

толщине стенки до 0,1 мм), если стенка очень равномерна по толщине. Тонкие алюминиевые трубки лучше всего изготавливать из диоралюминия, при этом для повышения устойчивости на концах трубки можно укрепить толстые фланцы. Если в состав газового наполнителя входят галогены, то рекомендуется в качестве катода в тонкостенную стеклянную трубку вставить почти вплотную к ее стенкам, проволочную спираль из нержавеющей стали; спираль должна иметь шаг, равный нескольким мм, и состоять из трех идущих параллельно проволок.

Счетчик для исследования жидкостей показан на рис. III, 56. Тонкостенная стеклянная трубка приплавляется к наружной стеклянной трубке счетчика так, чтобы жидкость можно было вводить в узкое промежуточное пространство между трубками [8]. При этом жидкость должна заполнить это пространство до верхнего конца трубки счетчика (объем примерно 10 см³). Для того чтобы повысить эффективность счета электронов с малой энергией, в трубке счетчика необходимо иметь очень тонкое окно, например из листочка слюды, как это показано на рис. III, 57. Слюдяную фольгу кладут на нагретый и равномерно смазанный клеем фланец, укрепленный на конце трубки счетчика, и прижимают ее горячим металлическим кольцом, также смазанным клеем. Слюдяное окно диаметром от 20 до 25 мм устойчиво до толщины приблизительно от 2 до 3 мг/см², т. е. округленно 0,01 мм. Проволока толщиной 0,2 мм укрепляется в счетчике только одним концом; непосредственно позади окна она оканчивается стеклянной бусинкой диаметром 1—2 мм.

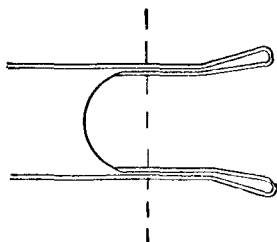


Рис. III, 58. Изготовление тонкого стеклянного окна.

Стеклянное окно можно изготовить толщиной от 10 до 15 мг/см². Для этого стеклянную трубку нагревают с заплавленного конца на длине 1—2 см до почти полного размягчения; затем ее заплавленный конец очень сильно нагревают и возможно быстрее втягивают в трубку воздух так, что она приобретает форму, показанную на рис. III, 58. Внутренняя часть трубки сплавляется с наружной стенкой; затем трубка откалывается примерно по месту, показанному на рисунке штриховой линией, и край трубки оплачивается.

В) Усилители для счетчиков

а) *Входной контур.* Для регистрации и счета числа импульсов напряжения, появляющихся на сопротивлении R счетчика, разработано большое количество схем, из которых здесь будут описаны только некоторые наиболее простые [1].

У самогасящихся счетчиков импульсы подводятся к измерительной схеме или непосредственно, или через предварительный усилитель, который в наиболее простом случае состоит из одного пентода (рис. III, 59) или же из двух триодов с резистивно-емкостной связью между каскадами. Поступающие в схему импульсы превращаются в импульсы, равные по величине и форме. Для этого может, например, служить тиратрон [9] в триггерной схеме (рис. III, 59),

в которой конденсатор C_3 разряжается через тиратрон, как только сеточное напряжение под действием положительных импульсов превысит запирающее напряжение. Отрицательное запирающее напряжение составляет обычно примерно 5% от анодного напряжения; чтобы обеспечить надежное гашение, сеточное напряжение устанавливают на 5—10 в ниже напряжения запираения тиратрона. Тиратроны, наполненные гелием, обладают временем срабатывания около 10^{-6} сек, а наполненные аргон — несколько большим временем.

Тиратроны очень дороги, поэтому в большинстве случаев, особенно когда требуется высокая разрешающая способность, применяют триггеры на вакуумных электронных лампах. Пример такого

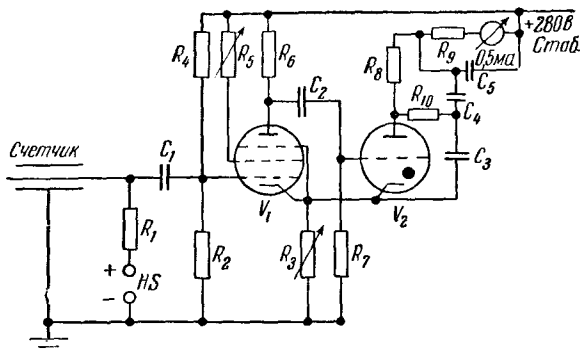


Рис. III,59. Предварительный усилитель на тиратронной схеме с непосредственным отсчетом числа импульсов.

- | | | |
|----------------------------|----------------------|----------------------------|
| $R_1=1$ Мом, | $R_7=50$ ком, | $C_{3,4}=0,001-0,1$ мкф, |
| $R_2=0,2$ Мом, | $R_8=7,5-100$ ком, | $C_5=500-5000$ мкф, |
| $R_3=10$ ком, переменное, | $R_9=1-5$ ком, | V_1 , например RNS 1284, |
| $R_4=2$ Мом, | $R_{10}=200-500$ ом, | AF7, EF12, |
| $R_5=0,2$ Мом, переменное, | $C_1=20$ нф, 2500 в, | V_2 ЕС50; 4690, |
| $R_6=0,1$ Мом, | $C_2=200-500$ нф, | $C_3R_5=10^{-4}$ сек. |

устройства показан на рис. III,60. Оба триода имеют общее сопротивление в цепи катода; в устойчивом состоянии через первый триод протекает ток (около 8 ма), в то время как второй триод заперт напряжением на сетке, отрицательным относительно катода. Отрицательный импульс от счетчика, усиленный первым триодом, подается в положительной полярности на сетку второго триода и отпирывает лампу. Первый триод вследствие катодной связи запирается и остается в этом состоянии до того момента, пока положительный заряд на емкости в цепи второй сетки не стечет через сопротивление утечки, в результате чего схема возвратится в свое устойчивое состояние. Это происходит при каждом сосчитанном импульсе, величина которого превышает пороговое значение приблизительно на 1 в; на аноде второго триода отрицательный прямоугольный импульс величиной в 50 в и продолжительностью 100 мксек служит для управления пересчетной схемой. В качестве усилительных ламп в этой схеме лучше всего применять двойные триоды типа 6SN7¹⁾,

¹⁾ Эта лампа соответствует отечественной лампе типа 6Н8.— Прим.: ред.

однако можно, конечно, использовать и соответствующие отдельные триоды.

Подобная схема [10], служащая одновременно гасящим контуром, показана на рис. III,61. Здесь в устойчивом состоянии ток идет через вторую лампу, в то время как первая лампа заперта.

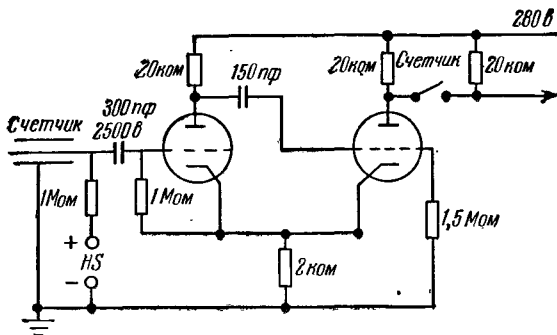


Рис. III,60. Входной мультивибраторный контур.

Импульс от счетчика через конденсаторы емкостью 0,001 мкф и 27 пф поступает на сетку второй лампы и приводит к «прокидыванию», так что при этом на аноде первой лампы возникает отрица-

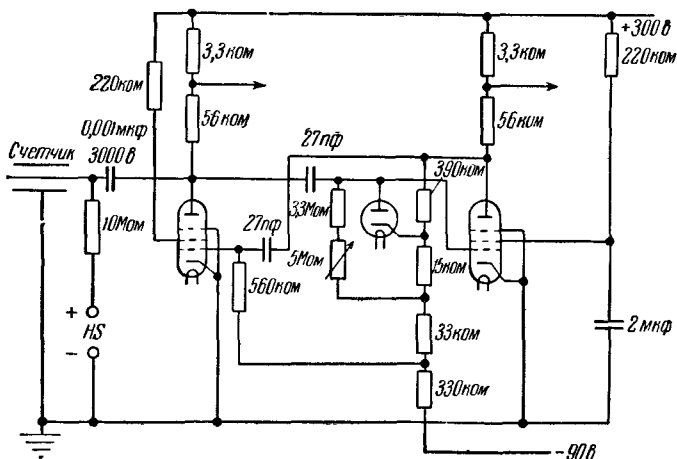


Рис. III,61. Входной контур в качестве цепи гашения.

тельный прямоугольный импульс примерно в 270 в, который подводится в качестве гасящего импульса к нити счетчика через конденсатор связи, в результате ее напряжение падает до нуля. Длительность прямоугольных импульсов регулируется в

пределах 150—430 мксек с помощью переменного сопротивления 5 *Мом*. Отрицательный импульс для управления последующей пересчетной схемой снимается с делителя напряжения в цепи анода первой лампы, в то время как положительный импульс с делителя напряжения второй лампы используется для управления механическим счетчиком (см. ниже).

По данным Ф. Дросте в схеме, приведенной на рис. III,59, можно также сделать гасящий контур, если катоды счетчика не заземлять, а соединить с анодом входной лампы; таким путем получают гасящий импульс величиной не менее 200 *в*.

б) *Пересчетные схемы и механические счетчики*. Для счета импульсов применяются обычные электромеханические счетчики. Однако для согласования сопротивления катушки счетчика с выходным сопротивлением оконечной лампы усилителя необходимо увеличить число витков катушки так, чтобы ее сопротивление составляло несколько тысяч *ом*. Наиболее просто использовать для этой цели телефонный счетчик, у которого катушка с относительно малым числом витков заменена катушкой с числом витков от 5000 до 10 000. Счетчик вместе с конденсаторами емкостью от 0,01 до 0,1 *мкф* включают в аподную цепь тиратрона или выходной лампы, мощность которых достаточна для работы счетчика. Положительный импульс от делителя напряжения в предыдущей схеме подается на тиратрон, в то время как оконечными триодом или пентодом можно управлять также отрицательным импульсом, если ток покоя этих ламп выбран таким образом, что якорь счетчика в состоянии покоя притянут, а при появлении импульса освобождается.

Следствие сравнительно большой инерции срабатывания механических счетчиков уже при скоростях счета около 100 импульсов в минуту возникают значительные просчеты (см. стр. 370).

Механические счетчики с малой инерцией можно изготовить только при больших затратах. Значительно проще достичь надежных результатов, если перед счетчиком включить пересчетный контур, который передает на механический счетчик, скажем, только каждый второй импульс (пересчет 1 : 2). Если включить последовательно *n* таких контуров, то к механическому счетчику поступит только каждый $2n$ -й импульс. На рис. III,62 приведены две широко применяемые пересчетные схемы. Контур, использующий принцип симметричного мультивибратора, имеет, в отличие от несимметричных схем, показанных на рис. III,59 и III,60, два устойчивых состояния, в которых, смотря по обстоятельствам, одна лампа запирается, в то время как другая проводит ток. Двойные диоды включены в схему для отсеки положительных импульсов. Их катоды находятся под потенциалами анодов ламп триггера, поэтому питание нити накала подогревных катодов этих диодов должно осуществляться от отдельного источника. Отрицательный импульс подается на анод только запертого триода. Потенциал анода другого триода значительно ниже потенциала катода диода и через разделительный конденсатор поступает на сетку отпертого триода (~ 2 *ма*). Этот триод запирается, и схема переходит во второе устойчивое состояние, в котором она остается до прихода следующего счетного импульса. Нескольким таким триггерам соединяют последовательно так, как это показано на рисунке. Установка нуля пересчетной схемы осуществляется разрывом на короткое время ключа, обозначенного на схеме словом «нуль». Таким образом, перед началом счета вторые лампы

триггеров оказываются открытыми. На неоновых лампах GL , соединенных с анодами первых ламп триггеров, нет напряжения. При первом импульсе через первую лампу первого триггера проходит ток, неоновая лампа «1» зажигается, но возникающий на втором аноде положительный импульс не передается на второй триггер. При втором импульсе первый триггер снова возвращается в его начальное состояние, неоновая лампа «1» гаснет, отрицательный импульс на втором аноде вызывает опрокидывание второго триггера, и неоновая лампа «2» зажигается.

Припишем неоновым лампам следующих друг за другом триггеров числа 1, 2, 4, 8, 16 и т. д. Тогда полное число импульсов, поступивших на вход n -ячеечной счетной схемы, последняя из ячеек которой управляет через конечную лампу механическим счетчиком,

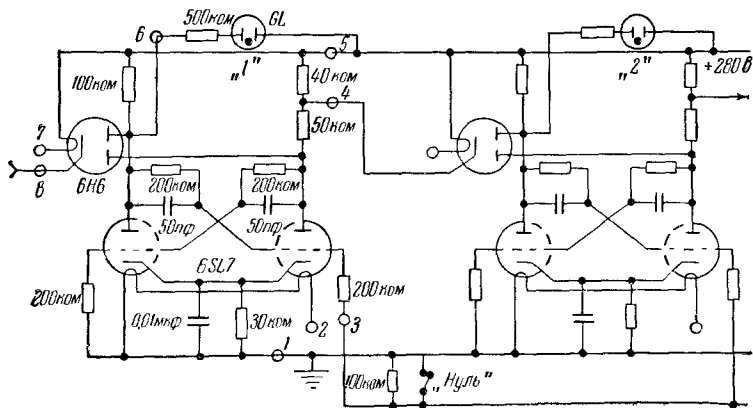


Рис. III.62. Пересчетная схема.

будет равно показанию этого счетчика, умноженному на 2^n плюс число, показываемое горящими неоновыми лампочками. Так, например, если горит первая, четвертая и пятая лампочки, то надо прибавить число 25.

Простые декадные счетные схемы можно собрать и из имеющихся в продаже специальных счетных ламп, таких, как E1T, декатрон, трахотрон или EZ10.

в) *Индикатор среднего значения.* Можно получить отсчет, пропорциональный среднему сосчитанному числу импульсов в единицу времени, если, например, измерить средний анодный ток тиратрона в схеме, изображенной на рис. III.59. Инерцию прибора, которая необходима для уменьшения колебаний тока, связанных со статистическим распределением импульсов, можно получить, если гальванометр с последовательно включенным сопротивлением в несколько ком зашунтировать большим конденсатором с возможно большим сопротивлением изоляции. Этот прибор градуируется в имп/мин путем сравнения его показаний с показаниями пересчетной схемы. Кроме того, предусматривают ряд конденсаторов C_3 , C_4 и сопротивлений R_3 различной величины, которые с помощью переключателя могут включаться по выбору. Таким путем можно изменять область

измерений в широких пределах. Если вместо тиратрона пользуются обычной выходной лампой, то анодный ток покоя, протекающий через гальванометр, должен быть скомпенсирован. Другие схемы для отсчета среднего числа импульсов в минуту можно найти в литературе [1].

г) *Стабилизация напряжения.* Напряжение на счетчике для точных измерений надо поддерживать как можно более постоянным. Это осуществляется, например, путем стабилизации рядом последовательно включенных малых ламп тлеющего разряда, потребляющих мало тока. Усилитель счетчика часто работает удовлетворительно также с нестабилизированным напряжением; однако лучше стабилизировать его анодное напряжение (см. стр. 242).

Г) Статистические ошибки и их коррекция

а) *Статистические ошибки.* Если за определенное время подсчитано N импульсов, то средняя статистическая ошибка этого результата равна $\pm\sqrt{N}$. Вследствие наличия в окружающей среде космических лучей и радиоактивности каждый счетчик даже при отсутствии источника излучения дает небольшой фон (у счетчика размерами 6×2 см — примерно 30 *имп/мин*). Этот фон можно значительно уменьшить путем экранирования счетчика со всех сторон слоем свинца или железа толщиной в несколько сантиметров. При каждом измерении фон необходимо предварительно определять. Если за одинаковое время при наличии источника излучения подсчитано N импульсов, а без него N_0 импульсов, то эффект излучения составляет $N - N_0$ импульсов, а средняя статистическая ошибка этого значения равна $\pm\sqrt{N + N_0}$.

б) *Поправка на ограниченную разрешающую способность.* Если наиболее инерционный элемент счетного устройства (при правильном расчете счетчика или гасящего контура, или механического счетчика) имеет время разрешения (мертвое время) τ секунд и средняя скорость счета равна N' *имп/сек*, то истинная средняя скорость счета

$$N = \frac{N'}{1 - N'\tau}.$$

Следовательно, например, при среднем значении $N' = 100$ *имп/сек* и времени разрешения $\tau = 10^{-3}$ *сек* просчет составляет 10% полного числа импульсов [11].

§ 2. Сцинтилляционный счетчик

А) Принцип действия и область применения

В сцинтилляционном счетчике [12] ионизирующее излучение вызывает вспышку света в соответствующем сцинтилляторе, который может быть как твердым, так и жидким. Эта вспышка передается в фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), который преобразует ее в импульс электрического тока. Импульс тока усиливается в последующих ступенях (отражательных электродах, или динодах) ФЭУ вследствие их высокого коэффициента вторичной эмиссии.

Несмотря на то, что при работе с сцинтилляционными счетчиками в общем случае необходима более сложная электронная аппаратура (рис. III, 63), эти счетчики обладают по сравнению со счетчиками Гейгера — Мюллера существенными преимуществами.

1. Эффективность для счета рентгеновского и гамма-излучений значительно больше; при благоприятных обстоятельствах она достигает 100%.

2. Световая отдача в некоторых сцинтилляторах пропорциональна энергии возбуждающей частицы или кванта.

3. Временная разрешающая способность более высока (от 10^{-6} до 10^{-9} сек).

Сцинтилляционный счетчик является, таким образом, детектором, пригодным для регистрации излучений малой интенсивности, для анализа распределения по энергиям при не слишком высоких требованиях к разрешающей способности и для измерений с помощью схемы совпадений при высокой интенсивности излучения.

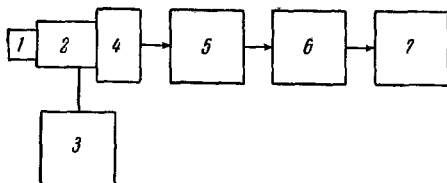


Рис. III, 63. Блок-схема сцинтилляционного спектрометра. 1 — сцинтиллятор, 2 — ФЭУ, 3 — источник высокого напряжения, 4 — катодный повторитель, 5 — линейный усилитель, 6 — амплитудный анализатор импульсов, 7 — регистрирующий прибор.

Б) Сцинтилляторы

а) Выбор.

1) Протоны и другие сильно ионизирующие частицы. Если речь идет только о регистрации этих частиц, то одинаково пригодны все виды сцинтилляторов, причем, вследствие их высокой тормозной способности, достаточны слои толщиной порядка миллиметра и еще меньше. Надо, однако, иметь в виду, что световая отдача протонов и α -частиц в органических сцинтилляторах составляет лишь около $1/10$ от световой отдачи электронов той же энергии, в то время как в неорганических сцинтилляторах $ZnS(Ag)$ и $NaJ(Tl)$ обе они одного порядка.

Зависимость между энергией световых вспышек и связанной с ней величиной импульсов, а также энергией частиц, переданной сцинтиллятору, для органических веществ, вообще говоря, нелинейна. Для $ZnS(Ag)$, $NaJ(Tl)$ и $CsJ(Tl)$ эта зависимость, однако, близка к линейной. Вследствие хорошей прозрачности для собственного флуоресцентного излучения кристаллы $NaJ(Tl)$ и $CsJ(Tl)$ позволяют получить отличную энергетическую разрешающую способность; надо, однако, следить за тем, чтобы поверхность, через которую частицы проникают в кристалл, была очень чистой.

2) Нейтроны [14]. Медленные нейтроны можно обнаруживать, пользуясь реакциями $Li^6(n,\alpha)H^3$, $B^{10}(n,\alpha)Li^7$ или $Cd^{113}(n,\gamma)Cd^{114}$. В качестве сцинтилляторов для этой цели применяются монокристаллы из $LiJ(Eu)$, порошкообразные смеси, например, 1 весовая часть B_2O_3 и 5 весовых частей $ZnS(Ag)$, их напыляют непосредственно на окошко ФЭУ; также можно применять

$ZnS(Ag)$, суспендированный в расплавленном B_2O_3 , соответствующие соединения бора в сцинтилляторах из искусственных веществ и смеси метилбората или пропионата кадмия с жидкими сцинтилляторами (см. ниже). Если при измерении нейтронов надо исключить влияние γ -излучения, то при тех реакциях, которые вызывают эмиссию тяжелых частиц, надо учитывать указанное выше соотношение для световой отдачи различных сцинтилляторов в зависимости от рода частиц.

Быстрые нейтроны регистрируются с помощью протонов отдачи, образующихся в водородсодержащих веществах. Так как высокое содержание водорода имеет место только в органических сцинтилляторах, то вследствие упомянутых причин уменьшить влияние γ -излучения затруднительно. Лучшие результаты достигаются, если процесс образования протонов отдачи отделить от возбуждения сцинтиллятора γ -лучами. В этом случае слой последнего должен быть тонким, его толщина определяется пробегом протонов отдачи, так что вероятность регистрации γ -излучения существенно уменьшается. В качестве сцинтиллятора в этом случае предпочтительнее применять $ZnS(Ag)$. Можно также суспендировать порошкообразный $ZnS(Ag)$ в прозрачном искусственном веществе, содержащем водород (сцинтиллятор Хорньяка [15]).

Энергетический спектр быстрых нейтронов при помощи сцинтилляторов исследовать почти невозможно. Это объясняется тем, что энергия протонов отдачи может принимать всевозможные значения, вплоть до полной энергии нейтронов, в зависимости от того, каким образом происходит столкновение.

3) Э л е к т р о н ы, β -ч а с т и ц ы. Как и для других типов излучений, энергетическая разрешающая способность сцинтиллятора для электронов зависит от соотношения между световой энергией и энергией, переданной сцинтиллятору ионизирующей частицей. Это обусловлено тем, что полуширина кривой распределения величин импульсов, вызванных моноэнергетическими падающими частицами, вследствие статистических колебаний [16] в первом приближении обратно пропорциональна квадратному корню из числа фотоэлектронов, выбитых из фотокатода ФЭУ. Из применяемых в настоящее время сцинтилляторов наибольшие амплитуды импульсов дает $NaJ(Tl)$, а из органических сцинтилляторов — антрацен, который при прочих равных условиях дает импульсы примерно в два раза меньшей амплитуды, чем $NaJ(Tl)$.

Так как эффективные сечения рассеяния электронов сильно возрастают с увеличением атомного номера, то при применении $NaJ(Tl)$ 80—90% всех падающих электронов снова рассеивается из кристалла; при применении антрацена этот эффект достигает приблизительно 10%. Рассеянные электроны вызывают импульсы, величина которых меньше величины, отвечающей полной энергии электронов. Вследствие этого количественная оценка β -спектров, полученных при помощи кристаллов из $NaJ(Tl)$, весьма затруднительна. Поэтому для β -спектроскопии часто более целесообразно применять органические сцинтилляторы, которые состоят из элементов с малыми атомными номерами.

Обратное рассеяние можно ослабить также следующими приемами. Вещество, β -излучение которого должно исследоваться, или примешивают к сцинтиллятору (твердому или жидкому),

если оно не подавляет флуоресцентного излучения, или помещают между двумя поверхностями сцинтилляторов, флуоресцентное излучение которых действует на фотокатод, или, наконец, применяют сцинтиллятор с внутренним каналом (см. рис. III, 66, б), в который проходит β -излучение.

Зависимость между световой энергией и энергией, переданной сцинтиллятору излучением, для NaJ(Tl) линсейна. Для всех органических сцинтилляторов это отношение при малой энергии электронов (для антрацена примерно ниже 100 кэв) уменьшается. Указанная нелинейность должна учитываться при количественной оценке спектров.

4) Рентгеновское и гамма-излучение. Процесс взаимодействия электромагнитного излучения с сцинтиллятором в основном состоит из трех элементарных процессов.

При фотоэффекте энергия кванта переходит почти полностью в кинетическую энергию фотоэлектрона, причем она вследствие малого пробега фотоэлектрона в большинстве случаев поглощается в сцинтилляторе. Вторичный квант, соответствующий энергии связи электрона (в основном рентгеновское K -излучение), или также поглощается сцинтиллятором, или выходит из него.

В эффекте Комптона электрону передается только часть энергии кванта. Эта часть с большой вероятностью поглощается в сцинтилляторе. Рассеянный фотон, энергия которого уменьшилась на величину, равную энергии комптон-электрона, также или поглощается сцинтиллятором, или выходит из него.

При образовании пар энергия первичного кванта, за вычетом энергии образования пары (1,02 Мэв), переходит в кинетическую энергию этой пары и в основном поглощается сцинтиллятором. Излучение, образующееся при аннигиляции электрона и позитрона (два кванта по 511 кэв), поглощается в сцинтилляторе или выходит из него.

Энергетическая зависимость эффективных сечений (см. рис. III, 64а и III, 64б) для этих процессов такова, что при малой энергии квантов в основном имеет место фотоэффект; начиная с энергии 1,02 Мэв, может наблюдаться образование пар, однако вероятность этого процесса достигает заметной величины лишь при существенно более высоких энергиях. В промежуточной области основную роль играет эффект Комптона.

С увеличением порядкового номера Z эффективные сечения при фотоэффекте и при образовании пар возрастают значительно сильнее, чем при эффекте Комптона (см. рис. III, 64а и III, 64б). Однако при этом электрону передается: 1) при фотоэффекте, — кроме энергии кванта, переходящей в энергию электрона уже при первичном эффекте, еще только энергия связи фотоэлектрона, отвечающая вторичному излучению, мягкому и легко поглощаемому; 2) при образовании пар — только излучение аннигиляции с дискретной известной энергией. При эффекте Комптона энергия вторичных электронов и рассеянных квантов имеет широкую область возможных значений. Так как вторичные кванты, как уже было сказано, могут не испытать поглощения и выйти из сцинтиллятора, то для облегчения интерпретации спектров целесообразно по возможности сузить область, в которой преобладает эффект Комптона, выбирая сцинтилляторы с большим Z , например NaJ(Tl). Кроме

того, отношение энергии света к переданной сцинтиллятору энергии для NaJ(Tl) практически не зависит от энергии электронов; поэтому во всех сложных процессах, при которых все кванты поглощаются, выделяется одинаковое количество света. Такие сложные процессы происходят с тем большей вероятностью, чем больше размеры сцинтиллятора. Это значит, что для увеличения отноше-

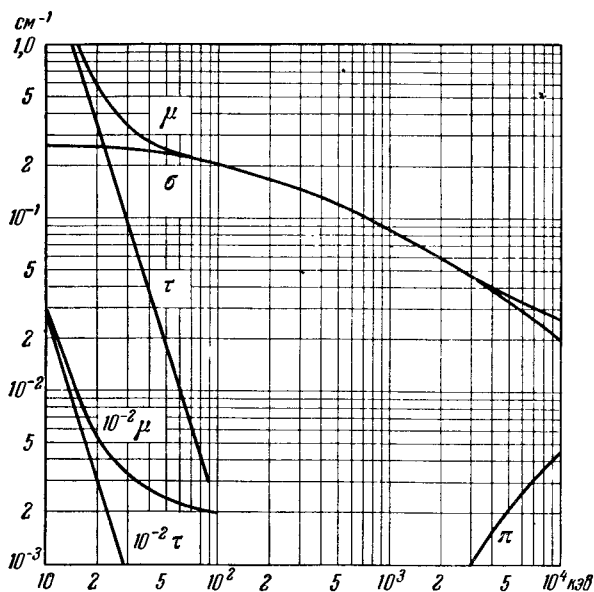


Рис. III,64а. Ослабление гамма-лучей в антрацене. μ — коэффициент ослабления ($\mu = \tau + \sigma + \pi$); τ — коэффициент фотопоглощения, σ — коэффициент комптоновского рассеяния, π — коэффициент образования пар.

ния числа импульсов в линии к полному числу импульсов в спектре надо увеличивать размеры применяемого сцинтиллятора. Это, однако, дорого обходится. При этом надо обращать внимание на то, что достижимая энергетическая разрешающая способность и практически достижимая световая отдача в больших сцинтилляторах ограничиваются, наряду с другими причинами, недостаточной их прозрачностью для флуоресцентного излучения¹⁾. NaJ(Tl) применяется в виде цилиндрических кристаллов стандартного размера $\varnothing 38 \text{ мм} \times 25 \text{ мм}$ ($\varnothing 1\frac{1}{2}'' \times 1''$). Для увеличения поглощения вторичных квантов, возникающих при указанных выше процессах, целесообразно направить поток лучей на сцинтиллятор через коллиматор так, чтобы края коллиматора,

¹⁾ Так, например, нецелесообразно увеличивать толщину слоя антрацена свыше примерно 10 мм.

из которых могут выйти вторичные электроны, не подвергались облучению.

б) Количественная оценка сцинтилляционных спектров рентгеновских и гамма-лучей. На рис. III,65а и III,65б приведены две кривые сцинтилляционных спектров γ -лучей, полученные с кристаллом NaJ(Tl). Граница эффекта Комптона (граничная энергия для

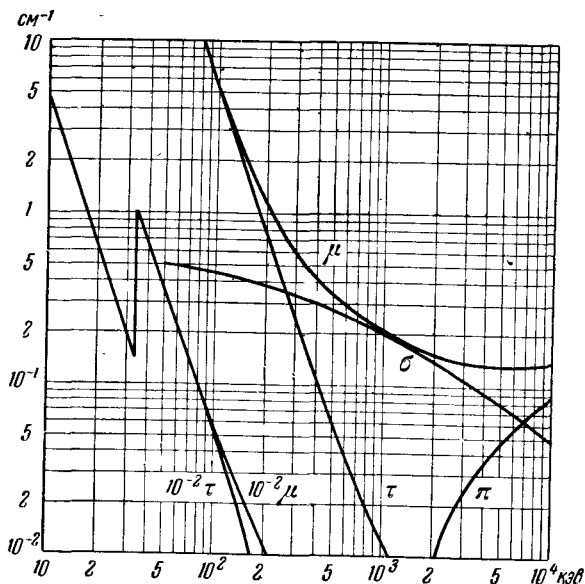


Рис. III,646. Ослабление гамма-лучей в NaJ (Tl). μ — коэффициент ослабления ($\mu = \tau + \sigma + \pi$); τ — коэффициент фотопоглощения, σ — коэффициент комптоновского рассеяния, π — коэффициент образования пар.

комптоновского распределения электронов; рассеянный квант выходит из кристалла) определяется равенством

$$W_{\text{Комптон}} = \frac{W_{\gamma}}{1 + \frac{2W_{\gamma}}{mc^2}},$$

где $W_{\text{Комптон}}$ — граничная энергия комптоновских электронов, W_{γ} — энергия первичных γ -квантов, mc^2 — энергия покоящегося электрона (511 кэв).

Для сцинтилляторов с малым Z часть спектра, соответствующая комптон-эффекту, соответственно возрастает. Комптоновская область с энергиями ниже граничной часто перекрывается так называемым максимумом обратного рассеяния; оно появляется в результате поглощения в сцинтилляторе комптоновских квантов, возникающих при процессах рассеяния в объектах вблизи сцинтиллятора (в оправе, в ФЭУ и т. д.); соответствующие этим квантам

комптоновские электроны не достигают сцинтиллятора. Значение этого максимума определяется из соотношения

$$W_{\text{обр. рас}} = W_{\gamma} - W_{\text{Комптон}}$$

Для уменьшения обратного рассеяния коллиматору первичного излучения придают такую форму, чтобы рассеянное излуче-

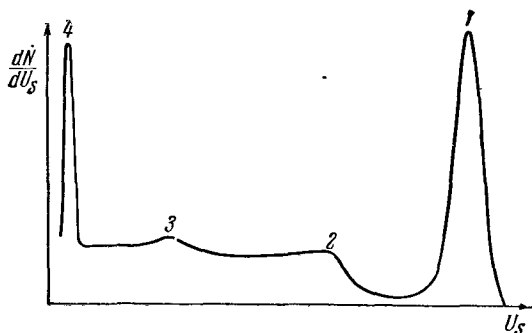


Рис. III,65а. Спектр импульсов от гамма-излучения Cs^{137} в кристалле NaJ(Tl) 38 ммØ, 38 мм высотой; ширина параллельного пучка гамма-лучей 5 мм; 1 — линия $W_{\gamma} = 661$ кэв, 2 — граница эффекта Комптона, 3 — максимум обратного рассеяния, 4 — рентгеновское К-излучение $\text{Ba}^{137}(W = 32$ кэв), вызванное внутренней конверсией гамма-излучения.

ние не попадало в сцинтиллятор. Для этого целесообразно поставить перед сцинтиллятором узкую диафрагму, после него — диафрагму с широким отверстием, а объекты, вызывающие рассея-

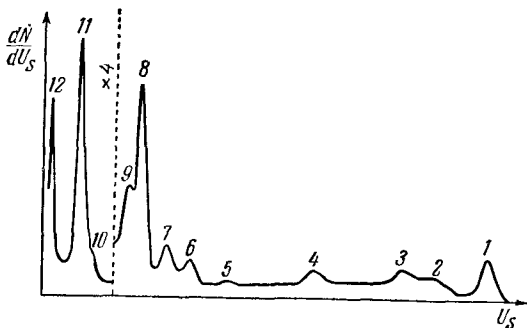


Рис. III,65б. Спектр импульсов гамма-излучения источника RdTh , аналогично рис. III, 65а, но с шириной пучка 8 мм; 1—фотолиния, $W_{\gamma} = 2,62$ Мэв, 2—граница эффекта Комптона, 3 — образование пар (2,62—0,511) Мэв, 4 — образование пар (2,62—1,02) Мэв, 5—12 — прочие гамма-линии.

ние, располагать на достаточно большом расстоянии. Из тех же соображений лучи, падающие на сцинтиллятор, не должны попадать на ФЭУ (т. е. должны быть параллельными поверхности катода), они должны проходить лишь через кожух сцинтиллятора

(обычно тонкий). Кривые на рис. III,65 получены именно при таких условиях; поэтому максимум обратного рассеяния на этих кривых заметен лишь слабо.

При исследованиях излучения с малой энергией наблюдается так называемый максимум внутренней конверсии, соответствующий энергии

$$W_{\text{внутр. конв}} = W_{\gamma} - W_K.$$

Его появление вызвано тем, что при фотоэффекте на йоде, находящемся в кристалле NaJ(Tl), возникает рентгеновское K -излучение, выходящее из поверхностных слоев сцинтиллятора.

При энергиях квантов свыше 1,02 $Mэв$ возникают еще два максимума, соответствующие энергиям

$$W_1 = W_{\gamma} - mc^2 \quad \text{и} \quad W_2 = W_{\gamma} - 2mc^2$$

(см. рис. III,65б). Они возникают в результате выхода из сцинтиллятора одного или обоих квантов аннигиляционного излучения (см. выше об образовании пар).

Разрешающая способность, которая получается с кристаллами NaJ(Tl) и при хороших ФЭУ, составляет около 7% для линии с энергией 661 $кэв$, испускаемой при распаде ^{137}Ba .

Разрешающая способность меняется с изменением энергии W_{γ} (см. выше для электронов и β -частиц) примерно по закону $\frac{1}{\sqrt{W_{\gamma}}}$ [16].

Калибровать сцинтилляционные спектрометры принято при помощи источников, энергия излучения которых хорошо известна.

В табл. III,7 приведены некоторые излучатели рентгеновских и гамма-лучей, пригодные для этой цели.

Таблица III,7
 γ -излучатели для калибровки

Радиоактивное вещество	Энергия γ -квантов в $Mэв$, в скобках — относительная частота появления квантов	Период полураспада
Tu ¹⁷⁰	0,08	127 дней
Cd ¹⁰⁹	0,098	1,3 года
Cs ¹³⁷	0,661	30 лет
Na ²²	1,280; 0,511 (1:1)	2,6 года
Co ⁶⁰	1,33; 1,17 (1:1)	5,2 года

в) Крепление и монтаж твердых сцинтилляторов. Для повышения световой отдачи и разрешающей способности сцинтиллятора, кроме его прозрачности для люминесцентного излучения, имеет большое значение еще возможно более совершенная оптическая система, срабатывающая независимо от места возникновения вспышки света. Для этого сцинтиллятор окружается тонким (1—2 мм) слоем диффузно отражающего вещества (мелко размолотый MgO или Al₂O₃); свободной остается лишь поверхность, прилегающая к окну ФЭУ. Если поглощение, вызванное этим слоем, влияет на исследуемое излучение, как это имеет место для α - или

β -частичек, то приходится удовлетворяться рефлектором из тонкой алюминиевой фольги [17а].

Гигроскопические сцинтилляторы, такие, как NaJ(Tl), должны быть герметически защищены (рис. III,66). В этом случае окно не рекомендуется делать из плексигласа, так как влага, проникая после достаточно длительного употребления, может вызвать потускнение кристалла. В качестве оптического контакта между сцинтиллятором и окном (а также оправой) ФЭУ применяется силиконовое масло DC 200 ($\eta=10^5 \div 10^6$ сантискосов), которое прозрачно до длины волны 3000 Å. Канадский балзам около 3400 Å обладает широкой полосой поглощения, поэтому его можно применять только в тех сцинтилляторах, в которых флуоресцентное излучение достаточно длинноволновое (например, антрацен).

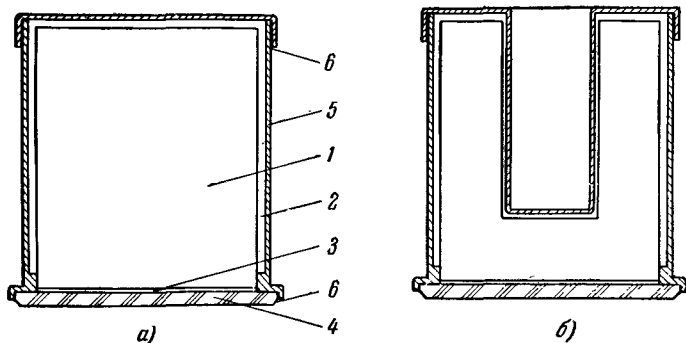


Рис. III,66. Крепление кристалла NaJ(Tl): а) сплошной кристалл, б) кристалл с просверленным отверстием; 1 — сцинтиллятор (монокристалл NaJ(Tl)), 2 — рефлектор (MgO или Al₂O₃ толщиной 1—2 мм), 3 — оптический контакт (например, силиконовое масло DC 200, $\eta=10^6$ сантискосов), 4 — стеклянное окно, 5 — алюминиевый кожух (с толщиной стенок 0,5—1 мм), 6 — замазка.

Если сцинтиллятор нельзя наложить непосредственно на окно ФЭУ, например, когда оно имеет неплоскую поверхность или когда ФЭУ необходимо отодвинуть от сцинтиллятора (находящегося, например, в рассеянном магнитном поле, влияющем на работу ФЭУ, см. ниже), то можно применять светопроводы от сцинтиллятора к ФЭУ в виде цилиндров или конусов из люсита или плексигласа [17].

Монокристаллические сцинтилляторы из NaJ(Tl), CsJ(Tl), LiJ(Eu), антрацена и стильбена¹⁾ имеются в продаже в готовом виде, т. е. закрепленными в оправу. Не рекомендуется самостоятельно закреплять в оправу сильно гигроскопичные кристаллы, если нет специальных приспособлений для этого. Сцинтилляторы из пластмассовых материалов можно изготовлять из имеющегося в продаже сырья. Они обрабатываются так же, как плексиглас, и полируются затем мелким порошком окиси алюминия (полировальный глинозем).

¹⁾ Монокристаллы вообще чувствительны к термическим воздействиям и требуют поэтому осторожного обращения.

е) *Жидкие сцинтилляторы.* В тех случаях, когда существенную роль играет высокая временная разрешающая способность, или необходимы сцинтилляторы большого объема, применяют жидкие сцинтилляторы [18], у которых, однако, световая отдача приблизительно в два раза меньше, чем у антрацена. В некоторых случаях вещество, излучение которого исследуется, можно добавлять в жидкий сцинтиллятор. Этот метод особенно рекомендуется применять в тех случаях, когда корпускулярное или мягкое волновое излучение сильно поглощается в оправе сцинтиллятора. Вещество, введенное в сцинтиллятор, должно растворяться в нем; оно также не должно мешать флуоресцентному излучению. Укажем два рецепта проверенных жидкостей для сцинтилляторов.

1) Раствор 5 г/л п-терфенила + 0,02 г/л 1,1,4,4-тетрафенил-1,3-бутадиена в фенилциклогексане.

2) Раствор 3 г/л 2,5-дифенилоксазола в толуоле.

Жидкие сцинтилляторы чувствительны к загрязнениям растворителя, тушащим флуоресценцию. Поэтому рекомендуется применять химические продукты, специально изготовленные для сцинтилляторов. Особенно сильно уменьшает амплитуды импульсов растворенный кислород. Значительного улучшения сцинтилляционных свойств можно достичь, пропуская через раствор пузырьки азота, свободного от кислорода, или аргона [19].

Если исследуемое вещество не растворяется в сцинтилляционной жидкости, то можно применять желеобразные сцинтилляторы [20], исключаящие седиментацию. Типичные свойства применяемых сцинтилляторов даны в табл. III, 8.

В) Фотоэлектронный умножитель (ФЭУ)

Имеется большой выбор умножителей разных типов, различающихся чувствительностью фотокатода (25—60 $\mu\text{ка/лм}$), числом диодов (от 6 до 14) и усилением по току (до 10^7), а также величиной прозрачной поверхности катода (диаметр окна до 350 мм). В общем случае большая поверхность катода является нецелесообразной, так как при этом увеличивается и темновой ток, имеющих порядок величины 10^{-7} а^1). Максимум спектральной чувствительности большинства ФЭУ, предназначенных для сцинтилляционных целей, лежит около 4400 А ; имеются, однако, также ФЭУ с кварцевыми окнами, обладающие чувствительностью и в ультрафиолетовой области. Окна большинства ФЭУ плоские, так что сцинтиллятор можно устанавливать непосредственно на них. Для получения хорошей энергетической разрешающей способности целесообразно применять ФЭУ с высокой чувствительностью катода, как это было разъяснено на стр. 371.

Рабочие напряжения большинства ФЭУ лежат между 500 и 1500 в. Обычно не рекомендуется работать при максимальном напряжении, указанном в паспорте, так как в этом случае пространственные заряды могут нарушить линейность усиления. Распределение напряжения между отдельными ступенями ФЭУ также может несколько влиять на его линейность и разрешающую способность (наряду с коэффициентом усиления) [21]. Если нет

¹) В исследованиях, в которых ожидается получение маленьких импульсов (излучение с малой энергией или сцинтилляторы с малой световой отдачей), рекомендуется охлаждать ФЭУ для снижения шумов.

Свойства обычно применяемых оптицилаторов [12, 13]

Спцицилатор	Длина волны в максимуме эмиссионного центра, Å	Время затухания, 10^{-8} сек	Соотношение между амплитудой импульса и энергией излучения		Относительная амплитуда на вачастии для 3-частии ¹⁾	Плотность, g/cm^3	Примечания
			фотоны	α β			
ZnS(Ag)	4550	~1000	линейное	приблиз. линейное	100	4,10	Мелкие кристаллы или порошок
NaJ(Tl)	4100	30	линейное	приблиз. линейное	100	3,67	Возможно изготовление больших кристаллов, гидроскопичен
CsJ(Tl)	4200—5700	~60	линейное	приблиз. линейное	28	4,51	Хорошие кристаллы, не гидроскопичен
LiJ(Eu)	~4400	~200	линейное	линейное	35	4,06	Возможно изготовление больших кристаллов, очень гидроскопичен
Антрацен	4120, 4720	3	нелинейное	линейное при 425—1900 нм	50	1,25	Хорошие кристаллы, трудно изготавлиются
Стильбен	3950, 4200	0,8	линейное	линейное	25	1,16	Хорошие кристаллы, легко изготавлиются
Дифенилксавол в толуоле	3820	$\leq 0,3$	линейное	линейное	25	0,87	Жидкость
Памелон	4100	0,8	линейное	линейное	25	1,05	Пластический материал
NE 102	4300	0,4	линейное	линейное	30	1,04	Пластический материал

¹⁾ Приведенные численные значения являются лишь грубым приближением.

специальных указаний, то наиболее выгодное распределение (которое изменяется от прибора к прибору) подбирают экспериментально. Важную роль играет также возможно полное улавливание фотоэлектронов. По этой причине напряжение между катодом и первым диодом должно быть выше (до двойного значения), чем между остальными диодами. Некоторые типы ФЭУ снабжены фокусирующими электродами, расположенными между катодом и первым диодом.

Усиление ФЭУ [22] сильно изменяется под влиянием рассеянных магнитных полей. В некоторых случаях усиление ФЭУ оказалось зависящим от его ориентировки относительно магнитного поля Земли. Поэтому ФЭУ целесообразно экранировать от воздействия магнитных (и электрических) полей; в этом отношении хорошо действует мю-металл.

Если необходимо получить высокую временную разрешающую способность, то применяют такие типы ФЭУ, в которых путь электронов сделан возможно короче, а разброс времени их пролета возможно меньше. Для таких требований ФЭУ с диодами в виде жалюзи малопримодны.

При монтаже ФЭУ надо обеспечить полное экранирование его от света, в том числе и от свечения катодов электронных ламп.

Г) Вспомогательные электронные устройства [23]

а) *Высоковольтное питание ФЭУ.* Так как коэффициент умножения ФЭУ сильно зависит от величины приложенного напряжения, то необходимо обеспечить хорошую стабилизацию последнего, особенно при амплитудном анализе импульсов. При помощи электронных стабилизаторов высокое напряжение можно поддерживать постоянным в течение нескольких часов с точностью до 0,01% [24].

Напряжение на отдельные диоды подается с делителя напряжения (применяются прецизионные сопротивления). При этом ток через делитель должен быть большим по сравнению со средним током через ФЭУ. Между последними диодами надо дополнительно включать конденсаторы, чтобы при прохождении импульса напряжение не падало.

Если катод ФЭУ находится под высоким напряжением, то наряду с другими эффектами могут возникать разряды между катодом и заземленным цилиндрическим экраном, который тесно примыкает к стенкам стеклянной трубки; это вызывает появление ложных импульсов и может привести к разрушению катода. Поэтому потенциал защитного цилиндра целесообразно устанавливать на уровне потенциала катода [25]. Это соображение надо иметь в виду при выборе точки заземления источника высокого напряжения.

б) *Линейный усилитель* [26]. Непосредственно вблизи ФЭУ — часто в одном блоке с ним — располагается каскад катодного повторителя, к которому может быть присоединен длинный коаксиальный кабель. Если длина L этого кабеля в метрах меньше чем $3 \cdot 10^7 T_A$, где T_A — время нарастания импульса в секундах¹⁾,

¹⁾ T_A приближенно равно времени затухания люминесценции сцинтиллятора.

то кабель можно рассматривать как емкостную нагрузку катодного повторителя. Поэтому желательнее применять кабели с малой емкостью. Если кабель длиннее указанного характерного размера, то для предотвращения нежелательных отражений на его конце надо включить сопротивление, равное волновому.

За катодным повторителем, являющимся в основном импедансным преобразователем, обычно следует пропорциональный усилитель (усиление в несколько тысяч раз), линейно увеличивающий амплитуду импульса. При применении ФЭУ с большим коэффициентом умножения от дополнительного усиления можно отказаться. Это может оказаться существенным при получении коротких времен нарастания импульсов для схем совпадений. Времена нарастания в обычных линейных усилителях имеют порядок 0,2 мксек (что соответствует полосе пропускания в 2 мегц); усилители с линейной задержкой значительно менее инерционны (ширина полосы до 100 мегц), однако их коэффициент усиления значительно ниже, а характеристики часто менее близки к линейным. Линейные усилители для достижения хорошей стабильности и линейности обычно содержат отрицательную обратную связь.

Для подавления низкочастотных помех (фона, шума) линейные усилители в большинстве случаев содержат элемент связи с малой постоянной времени, дифференцирующий входной импульс; кроме того, этим достигается разделение импульсов, следующих очень тесно друг за другом, в том случае, когда возможны ошибки в определении амплитуды за счет набега импульсов друг на друга. Формирование импульсов может осуществляться RC-звеном или линейной задержкой, закороченной на одном конце. Малая постоянная времени должна, однако, превышать время нарастания импульса так, чтобы достигалась максимальная его амплитуда. Постоянные времена всех других элементов (нагрузочное сопротивление \times выходная емкость ФЭУ, временные постоянные звеньев усилителя) должны быть много больше малой постоянной времени. Это необходимо для предотвращения выбросов импульса, вносящих ошибки в измерение его амплитуды.

При формировании импульсов при помощи линии задержки их вершины получаются плоскими, что удобно для определения амплитуды импульсов; для этой цели достаточна длительность импульса около 1 мксек; такая величина обычно и используется.

Во многих практических случаях необходимо исследовать малые импульсы при наличии больших. При этом усилитель не должен блокироваться большими импульсами, искажающими его режим. Специальные электронные схемы [26] позволяют предотвратить такую блокировку. В продаже имеется много различных конструкций линейных усилителей. Самостоятельное их изготовление требует определенного опыта и вспомогательного оборудования (импульсного генератора, электронного осциллографа).

в) *Амплитудные анализаторы импульсов* [27]. Для нахождения функции $i(V)$ распределения амплитуд импульсов V в импульсном спектре в простейшем случае может применяться пороговый дискриминатор (триггер Шмидта) [12], [23]. Это — двух-лаговая схема с двумя устойчивыми состояниями, с помощью которой можно получить стандартные импульсы во всех случаях, когда входные импульсы превосходят по амплитуде заданное

пороговое значение V_0 . Измеренная частота импульсов $\dot{N}(V_0)$ равна

$$\dot{N}(V_0) = \int_{V_0}^{\infty} \dot{n}(V) dV.$$

Изменяя V_0 на небольшие значения (или непрерывно) на протяжении всего спектра, можно получить так называемый интегральный спектр. Интересную в большинстве случаев функцию распределения $n(V)$ вычисляют по интегральному спектру, производя (графическое или численное) дифференцирование, что, однако, является весьма неточным методом. Более удовлетворительные результаты можно получить при непосредственном измерении дифференциального спектра. Для этого используют два пороговых дискриминатора, разность пороговых значений которых (ширина окна) равна dV ; они регистрируют только импульсы, амплитуды которых лежат в интервале от V_0 до $V_0 + dV$ [28]. Метод легко может быть автоматизирован. В этом случае пороговое напряжение V_0 непрерывно меняется, и показания прибора, измеряющего среднее значение амплитуды импульсов, записываются самоисцем¹⁾.

В методе анализа амплитуд импульсов, описанном выше, отбрасываются все импульсы, за исключением тех, амплитуды которых лежат между V_0 и $V_0 + dV$. При небольшой частоте повторения импульсов и при заданных статистических ошибках это сильно увеличивает время, необходимое для измерений. Рационализация метода заключается в применении большого числа так называемых одноканальных анализаторов, пороговые напряжения которых подобраны таким образом, что перекрывается вся область спектра, интересующая исследователя. Описание таких многоканальных анализаторов можно найти у Хигинботэма [27].

§ 3. Камера Вильсона

Самый простой для изготовления тип камеры Вильсона, который часто применяется в настоящее время, приведен на рис. III,67. Собственно камера состоит из стеклянного цилиндра (диаметр от 10 до 30 см) с плоско отшлифованными краями, который оканчивается сверху толстой стеклянной пластиной, а внизу — зачерненной проволочной сеткой D , припаянной к латунному кольцу. Вместо поршневого насоса, служившего для распырения в прежних камерах, в нижней части этой камеры натянута резиновая мембрана M , которая в нерабочем состоянии лежит на плоском основании прибора. При введении через отверстие O_1 сжатого воздуха мембрана M , растягиваясь, поднимается кверху. Если после этого внезапно открыть вентиль V , то мембрана снова возвращается в начальное положение. Вентиль состоит из металлической пластинки, покрытой резиной, которая прижимается снизу к основанию прибора при помощи электромагнита (катушка, железный футляр которой имеет круглое отверстие против якоря); можно также применять сильный пружинный вентиль. Вся

¹⁾ Представленные на рис. III,65а и III,65б импульсные спектры были получены этим методом.

камера, уплотненная резиновыми кольцами, сжимается несколькими болтами, пропущенными через основание прибора и верхнее латунное кольцо. Для того чтобы при расширении движение газа в верхней части камеры было равномерным, ее нижняя часть должна быть по крайней мере в полтора раза больше верхней.

Трубка O_2 с краном служит для того, чтобы в случае необходимости выровнять давление в камере с атмосферным; если

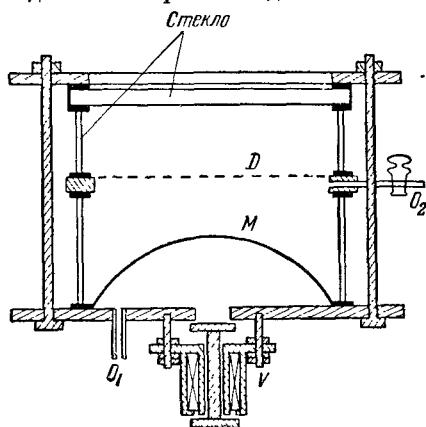


Рис. III,67. Камера Вильсона мембранного типа.

поставить две такие трубки, то можно в камеру вводить, кроме воздуха, другие газы. Чтобы газ в камере был насыщен паром, в нее вводят несколько см³ воды. Лучшая величина расширения для воздуха и водяного пара равна примерно 1,32. Более выгодной, чем вода, является, например, смесь из 65% этилового спирта и 35% воды (лучшее расширение 1,125) или смесь из 50% спирта с 25% ацетона и 25% воды (лучшее расширение 1,112) [29].

Улучшенные образцы камеры Вильсона, изготовление которых требует, однако, больших затрат,

предложили, например, Дейчман [30], Эмиш [31]; поршневые камеры: Цубер [32], Крэн [33]. Сводные обзоры о камерах Вильсона и работе с ними принадлежат Джентнеру, Мейер-Лейбницу и Боте [34], Дас Гупта и Гошу [35], Штаубу [36]. Непрерывно работающие (диффузионные) камеры Вильсона см. в [37].

ГЛАВА XVIII

ЯЧЕЙКИ И ЭЛЕМЕНТЫ

§ 1. Ячейка Керра [1]

А) Устройство

Ячейка Керра, рассчитанная на напряжения от 3 до 50 кВ, изображена на рис. III,68 [2]. Расстояние между латунными электродами P ($2\text{ см} \times 1,2\text{ см} \times 0,2\text{ см}$), прикрепленными к коротким никелевым стерженькам с вольфрамовыми проволочками L , составляет для 12 кВ величину $a = 0,5\text{ см}$. Латунные и никелевые части позолочены. Окна W или припаиваются к резервуару (охлаждение), или крепятся с помощью церезина; они не должны иметь механических напряжений.

Б) Применение

Чтобы применять в ячейках Керра более низкие напряжения, следует пользоваться веществами с большими значениями постоянной Керра. На этом основании чаще всего применяется нитробензол. Он обладает, однако, невыгодным поглощением в синей области спектра, что особенно заметно, если применяется искровое освещение. Начиная с 430 *мк* и далее в ультрафиолетовую область, нитробензол поглощает настолько сильно, что эти лучи не удастся применять для технических целей. Если на основании исследований Кароллуса применять фенилгорчичное масло, то это ограничение отпадает, но зато постоянная Керра оказывается почти в два раза меньше. Много веществ, имеющих вполне достаточное значение постоянной Керра, оказываются непригодными, так как их пробивное напряжение недостаточно высоко по сравнению с тем напряжением, которое необходимо наложить для получения четкого эффекта ¹⁾. Если ячейка продолжительное время находится под напряжением, даже если ее время выключать, то сопротивление ее должно быть достаточно велико, с тем чтобы она чрезмерно не перегревалась вследствие слишком большого поглощения энергии. После многократной дистилляции продажного нитробензола в вакууме

[2] получается продукт с удельным сопротивлением порядка 10^{10} *ом/см*². Весьма эффективная очистка [3] нитробензола происходит под действием постоянного напряжения, которое прикладывается к свеженаполненной ячейке. Через ячейку пропускают ток в несколько миллиампер, который за несколько минут экспоненциально уменьшается от 1/10 до 1/100 его начального значения. Очистка объясняется тем, что на электродах происходит электролитическое выделение диссоциированных загрязнений. Впоследствии ячейку необходимо применять при том же расположении полюсов, так как перемена направления тока вновь повышает проводимость. Так как при переменном напряжении эффект очистки не наблюдается, то целесообразно подавать управляющее переменное напряжение, наложенное на постоянное сдвигающее напряжение (Кароллус, 1924).

Если ячейка не эксплуатируется периодически, а служит только для фотографирования однократных процессов с экспозициями, равными микросекундам или еще меньшими, то сопротивление ячейки и поглощение ею энергии не играет большой роли. В таких случаях обычно оказывается вполне удовлетвори-

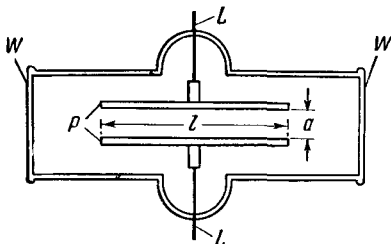


Рис. III, 68. Схема ячейки Керра.

¹⁾ Напряжение, при котором в первый раз наступает просветление поля, $E(e) = \frac{300a}{\sqrt{2Bl}}$, где *l* (*см*) — длина светового пути в ячейке, *a* (*см*) — расстояние между пластинами конденсатора Керра, *B* — постоянная Керра, зависящая от частоты и температуры.

тельным наиболее чистый продажный нитробензол без какой-либо дополнительной обработки.

Если ячейкой Керра пользоваться как затвором для каких-либо имеющихся в продаже фотоаппаратов, например, для «лейки», то свободное отверстие ячейки должно быть очень большим по сравнению с отверстиями в ячейках для подзорных труб. Если ячейку расположить перед аппаратом Лейтц-Ксенон, то ее оптическое сечение должно составлять примерно 34 мм при длине ячейки около 2 см. При этом для четкого эффекта требуется напряжение около 80 кВ, что практически неудобно. Если вводить промежуточные электроды, то четкое явление можно получить при значительно более низких напряжениях.

В качестве поляризаторов для ячеек с малым оптическим сечением применяют призмы Николя, Глана—Томпсона и Аренса. Две последние, вследствие их относительно меньшей длины, предпочтительнее призм Николя. Для ячеек с большим рабочим отверстием практический смысл имеют только поляризационные пленки (поляроиды) разных величин. Степень затемнения поля при двух скрещенных поляроидах всегда значительно ниже, чем при двух призмах; кроме того, поляроиды сами весьма значительно поглощают свет. Степень затемнения определяется отношением яркостей света, проходящего при параллельных и при скрещенных поляризаторах. При хороших поляризаторах для нее получаются значения порядка от 10^4 до 10^5 . Двойное преломление, вызываемое внутренними напряжениями в результате плохого монтажа и неоднородностью температуры, может значительно уменьшить степень затемнения поля. Частицы пыли, локальные дефекты пленки и т.д. могут способствовать рассеянию света и приводить таким образом к уменьшению степени затемнения поля. Она находится в сложной зависимости от угла падений луча и от угла луча с плоскостью поляризации. Вследствие этого ее величина, определенная для расходящегося пучка света, может быть на один или два порядка меньше, чем для параллельного пучка света.

В большинстве случаев затемняющая способность пленок оказывается недостаточной для того, чтобы предотвратить почернение чувствительных фотографических слоев при скрещенных поляризаторах на сильном дневном свете и при большой продолжительности освещения. Значительное улучшение степени затемнения достигается применением трех поляроидных пленок (первая и третья параллельны, вторая скрещена с ними). При этом следует, однако, учитывать тот недостаток, что между поляроидами должны быть включены две ячейки Керра. Степень затемнения поля при этом легко увеличить на два порядка.

В диапазоне между 430 и 630 мкм поглощение нитробензола весьма ограничено. Включая потери на отражение в кюветке, оно составляет 12%. Наряду с этим поглощение поляроидных пленок составляет 70%, для двух параллельных поляроидов — 80% и для трех — 87%.

В) Магнито-оптический затвор [4]

Оптически активное вещество, например, твердый флинтглас в виде параллелепипеда или цилиндра, вводится в цилиндрическую катушку. На обоих плоскошлифованных концах стеклянного тела

располагаются две скрещенные поляроидные пленки. Чтобы повысить степень затемнения поля, можно, как это уже было указано выше для затвора Керра, применить три слоя поляроида [5].

§ 2. Фотоэлементы

Фотоэлементами различных конструкций можно пользоваться для практически безынерционной регистрации и измерения видимого света и излучений в области длин волн от 0,2 до 3,5 мк. Для видимой, ультрафиолетовой и инфракрасной областей применяются щелочные фотоэлементы [6] с катодами, покрытыми слоями с малой работой выхода электронов; эти фотоэлементы изготавливаются в виде диодов, вакуумных или газонаполненных, и все чаще — вместе с фотоэлектронными умножителями (ФЭУ).

Изготовление в лабораторных условиях чувствительных фотокатодов из окисла щелочного металла на базе $\text{Ag} - \text{O} - \text{Cs}$ или $\text{Ag} - \text{O} - \text{Rb}$ требует большого опыта. В принципе их изготавливают так, что серебряный слой окисляется с поверхности, на которую затем испарением наносится слой щелочи; после этого катод подвергается термообработке, в процессе которой вследствие диффузии образуется необходимое распределение слоев.

Для получения фотоэлементов, работающих с достаточным постоянством, весьма важно исключить образование светочувствительных слоев на стенках баллона и деталях фотоэлемента; таким слоем должна быть покрыта только поверхность катода. Светочувствительные слои вне катода вызывают при слабом освещении фотоэлемента неконтролируемые помехи и нарушают линейное соотношение между фототоком и величиной светового потока [7]. Подробности об изготовлении фотоэлементов см. в [8], [9], [10], [11]. Самостоятельное изготовление фотоэлементов может быть оправдано лишь при исследовании некоторых областей спектра, так как для большинства применений в продаже имеются фотоэлементы различных типов и конструкций (см. литературу).

Фотоэлементы с катодами типа $\text{Ag} - \text{O} - \text{Cs}$ обладают в инфракрасной области чувствительностью до $\lambda = 1,2$ мк, с катодами типа $\text{Ag} - \text{O} - \text{Rb}$ — до $\lambda = 0,95$ мк; при освещении лампой накаливания с цветовой температурой 2700°K они дают фототок около $10 - 30$ мка/лм. Элементы с длинноволновой границей в инфракрасной области имеют при комнатной температуре темновые токи порядка $10^{-9} - 10^{-12}$ а. В тех случаях, когда такие токи могут оказывать вредное действие, следует применять фотокатоды с длинноволновой границей в области желтых лучей, например из $\text{Sb} - \text{Cs}$. Их можно изготавливать, нагревая слои сурьмы в высоком вакууме и затем откладывая на них пары Cs [12]. Такие катоды обладают чувствительностью только до $\lambda < 0,6$ мк; их можно изготавливать в виде тонких, прозрачных слоев, нанося на слои $\text{Ag} - \text{O} - \text{Cs}$, чувствительные к красным лучам. Таким путем получают катоды с широкой областью чувствительности, имеющей максимумы в синей и красной частях спектра. Аналогичное распределение чувствительности в широкой области спектра можно получить, если отложить на катоде фотоэлемента рядом два слоя с различными областями чувствительности и подвергать освещению всю поверхность катода.

Вакуумные фотоэлементы с катодом из окисла щелочного металла не следует перегружать, в особенности при продолжительной

работе. Допустимой является максимальная удельная мощность освещения 10^{-8} *вт/см²*, что соответствует освещенности 150 *лк* от лампы накаливания с температурой 2700° К. В качестве меры здесь может служить предельная сила тока: чувствительный фотоэлемент при таком предельном освещении не должен давать фототок более 1 *мкА* на *см²* поверхности катода. При еще более сильном освещении фотокатоды быстро стареют и утрачивают линейную характеристику. Старение, возникшее в результате кратковременной перегрузки, часто удается устранить, применяя инфракрасное облучение или осторожно нагревая фотоэлемент [13].

При точных электрометрических измерениях с фотоэлементами необходимо по возможности устранять токи утечки по поверхности стеклянных стенок фотоэлемента; с этой целью стенки протирают спиртом для удаления влаги; кроме того, их покрывают парафином вблизи электродов, подводящих напряжение, а сами электроды окружают заземленными металлическими защитными кольцами (из станиоля). Хорошие вакуумные фотоэлементы должны иметь темное сопротивление (между анодом и катодом) по меньшей мере 10^{12} — 10^{15} *ом*. При высокой влажности фотоэлемент необходимо защищать футляром и применять осушающие вещества (P_2O_5). Дальнейшие подробности относительно методов измерений см. в [11]. Дифференциальный метод измерения с применением света переменной интенсивности и усилителя имеет то преимущество, что при этом можно исключать нежелательное влияние постороннего света (освещение помещения, дневной свет и т. п.).

Газонаполненные фотоэлементы требуют хорошего постоянства напряжения питания; остающиеся при этом колебания чувствительности стабилизируются оптической отрицательной обратной связью; при этом часть фототока после соответствующего усиления направляется к лампе тлеющего разряда, дополнительно освещающей фотоэлемент. При уменьшении фототока яркость дополнительного освещения возрастает, и фототок принимает первоначальное значение [14].

Для фотоэлементов с электронными умножителями остается в силе сказанное выше относительно самостоятельного изготовления фотоэлементов: оно имеет смысл лишь в исключительных случаях. В качестве эмиссионных катодов можно применять те же слои, что и для обычных фотокатодов [15], [16]. Фотоумножители, как и всякие щелочные фотоэлементы, не должны подвергаться слишком сильному освещению (см. выше). Для получения достаточно линейной зависимости между световым потоком и фототоком более целесообразно избегать излишне большого общего усиления и применять вместо этого измерительный прибор с высокой чувствительностью. Выходной ток при точных измерениях по возможности не должен превышать 10^{-5} *а*.

Собственно фотоэлементы, т. е. ячейки, не требующие питания и самостоятельно вырабатывающие при освещении фототоки, в подавляющем большинстве являются селеновыми с запирающим слоем. При изготовлении возможны многочисленные варианты [17]. Слой селена толщиной около 0,1 *мм* наносится на металлическое основание (в большинстве случаев из железа) [18], [19], [20], затем его нагревают в печи для отжига; благодаря этому слой переходит в хорошо проводящую кристаллическую модификацию. На этот слой с дырочной проводимостью напыляется тонкий, прозрачный

слой полупроводника с электронной проводимостью, чаще всего селенида кадмия. Между селеном и слоем селенида создается градиент концентрации электронов, имеющий важное значение для возникновения электродвижущей силы при освещении. Слой селенида снабжен прозрачным контактным электродом, электрическая проводимость которого должна быть возможно большей. Он может состоять из тонкого слоя Au или Pt, полученного испарением в вакууме. В последнее время вместо металлических электродов с успехом применяются контактные электроды из окиси кадмия [21], которые при той же прозрачности обладают более высокой электрической проводимостью. При этом чувствительность фотоэлемента к видимому свету увеличивается, а в ультрафиолетовой части спектра уменьшается в результате поглощения, так что спектральное распределение чувствительности приближается к таковому для человеческого глаза.

Толщина контактного электрода обычно увеличивается к краям фотослоя — здесь электрод соединяется с контактным кольцом, которое является отрицательным электродом фотоэлемента. Между этим электродом и положительным основанием фотоячейки и измеряют фототок при освещении или с них снимают фототок. Внешняя поверхность элемента обычно покрывается еще прозрачным защитным лаком или тонким слоем кварца, если фотоэлемент должен иметь чувствительность к ультрафиолетовым лучам; этот защитный слой предохраняет светочувствительный слой от атмосферных влияний, которые могли бы изменить его свойства. Такие элементы обычно остаются устойчивыми в течение длительного времени; их чувствительность уменьшается в результате старения лишь очень медленно. Селеновые элементы необходимо очень хорошо защищать от действия паров оснований или кислот.

Эдс холостого хода селеновых элементов с увеличением светового потока растет по логарифмическому закону для широкой области спектра; ток короткого замыкания растет линейно вплоть до 10^4 лк [22]. Если желательно увеличить диапазон освещенности (как, например, при фотографическом измерении освещенности), то нелинейность характеристики, получаемая при применении высокоомных измерительных приборов, часто полезна [23]. Если же необходима линейная зависимость между освещенностью и фототоком, то для измерения фототока надо применять низкоомные измерительные приборы. При повышенных требованиях к линейности этой зависимости еще лучше за счет дополнительного источника напряжения применить метод компенсации напряжения на фотоэлементе; таким образом полностью исключается сопротивление измерительного прибора. В этом случае фотоэлемент работает практически в режиме короткого замыкания и его характеристики наиболее близки к линейным [24]. В известных пределах вид характеристик фотоэлемента может изменяться сопротивлениями, включаемыми в цепь параллельно фотоэлементу [25].

Спектральная чувствительность селеновых элементов максимальна в средней части видимой области спектра (около $\lambda=560$ мк); при применении соответствующих фильтров [26], [27], ее можно приблизить к спектральной чувствительности глаза. Для измерений в красной и начале инфракрасной областей спектра в продаже имеются специальные типы селеновых элементов, имеющие второй максимум чувствительности при $\lambda=780$ мк; они применимы до длин волн в 1 мк [22].

При освещении модулированным световым потоком существенную роль играет большая емкость селеновых элементов ($\sim 0,05 \text{ мкф/см}^2$), определяющая сильную зависимость их характеристик от частоты. Поэтому такие элементы лучше применять при освещении постоянным световым потоком. Однако при низкомных нагрузках их можно применять и для измерений коротких импульсов света [28], [29]; в специальных случаях возможно также их применение в высокочастотной технике [30].

Наряду с селеновыми фотоэлементами все большее применение находят кремниевые фотоэлементы. Кремний активизируется ионной бомбардировкой и покрывается контактным электродом из родия [31]. Эти элементы в инфракрасной части чувствительны до $\lambda=1,2 \text{ мк}$ и дают более сильные фототоки, чем селеновые.

В последнее время важное значение приобрели полупроводниковые фотосопротивления. Их включают в цепь последовательно с сопротивлением нагрузки около 10^6 ом , которое подключается к входу усилителя; напряжение в цепи может изменяться от 10 до 100 в. Освещение производится модулированным светом (примерно от 100 до 1000 гц). Для видимой части спектра в основном применяются элементы из сульфида кадмия. Об изготовлении для этой цели монокристаллов CdS см. [41] и [32]. На их концы наносятся испарением слой Pt, Au или Al; после этого кристаллы укрепляются в оправе, снабженной электрическими контактными выводами. Для получения хорошей стабильности и линейной зависимости между освещенностью и фототоком важно, чтобы контакты были чисто омическими, т. е. чтобы в местах их соединения с кристаллом не образовывались заметные запирающие слои. Для этого необходимо предварительно весьма основательно очистить кристаллы CdS химическим путем, а затем подвергнуть их поверхности действию тлеющего разряда [33]. Только после этого можно отложить на их концах металлический слой.

В инфракрасной области до примерно 3—6 мк можно применять полупроводниковые фотоэлементы из PbS, PbSe или PbTe. Слои PbS получают или химически, осаждая их на изолирующее основание действием водного раствора щелочи на раствор уксуснокислого свинца в присутствии тиокарбамида, или испарением в вакууме порошкообразного PbS [41]. Для получения светочувствительного слоя в процессе испарения необходимо незначительное добавление кислорода (при давлении в несколько десятых долей мм рт. ст.).

Фотоэлементы из PbSe или PbTe имеют свойства, аналогичные свойствам фотоэлементов из PbS. Их чувствительность при охлаждении твердой углекислотой простирается примерно до 4,1 мк [34]; при температуре жидкого воздуха с такими фотоэлементами можно работать до $\lambda=6$ или 7 мк [35], [36].

Полупроводниковые элементы с контактными выводами помещаются в сосуды из твердого стекла. Окна для инфракрасного излучения можно изготовлять из сернистомышьякового стекла или KRS5 (йодистобромистого галлия). Они укрепляются вакуумной замазкой (см. стр. 193). Для длин волн примерно до 5 мк можно применять сапфировые пластинки, которые приплавляются к стеклянной колбе [37], [38]. О разного рода элементах и ячейках см. [39]—[51].

ЛИТЕРАТУРА

РАЗДЕЛ I. ЛАБОРАТОРНЫЕ МАТЕРИАЛЫ, ПРИЕМЫ ИХ ПОЛУЧЕНИЯ И ОБРАБОТКИ

ГЛАВА I. ПРИМЕНЕНИЯ НЕКОТОРЫХ МАТЕРИАЛОВ, ПОЛУЧЕНИЕ ИХ В ЧИСТОМ ВИДЕ

§ 1. Металлы, сплавы, карбиды

1. E s p e W. und K n o l l M., Werkstoffe der Hochvakuumtechnik, Berlin, 1936 (ниже цитируется как «E s p e - K n o l l»); S c h e i b e W., Über die Grundlagen der Entgasung von Metallen in festem Zustand, Vakuumentchnik 3 (1954), 67; F a s t I. D., L u t e i j n A. N. und O v e r b o s c h E., Bereiten und Gießen von Metallen und Legierungen im Hochvakuum, Philips technische Rundschau 15 (1953), 81; W i n k l e r O., Der Entgasungsvorgang bei der Vakuumbehandlung von Metallschmelzen, Vakuumentchnik 3 (1954), 87; V a s s i l l i e v A., Ann. Radioelectr. 12 (1957), 15 (ферриты).
2. V a n A r k e l A. E., Über die Herstellung von hochschmelzenden Metallen durch thermische Dissociation ihrer Verbindungen, Metallwirtschaft 13 (1934), 81.
3. V a n A r k e l A. E., Reine Metalle, Berlin, 1939; H o o v e r M. M., Chem. Engng. 60 (1953), 212 (для высоких температур); P o w e l l A. R., Atomes 10 (1955), 2219; S c h m i d E., Z.VDI 98 (1956), 1355; H e l l i n g W., D. P. B. (angem.) 1000156 (3.I.1957) (алюминий).
4. K a y s e r O., P a w l e k F. und R e i c h e l K., Die Beeinflussung der Leitfähigkeit reinsten Kupfers durch Beimengungen, Metall 8 (1954), 532. Проведение плавки без реакции с тиглем описывает W i n k l e r O., Z. Metallkunde 44 (1953), 333; также см. P o l o n i s D. H., B u t t e r s R. G. and G o r d o n P a r r I., Research, Lond. 7 (1954), 273.
5. P f a n n G., Principles of Zone-Melting, Metals 4 (1952), 747; 7 (1955), 964; см. также O l s e n R. M., Bell. Lab. Rec. 33 (1955), 201; H e y w a n g W. und H e n k e r H., Physik und Technologie von Richtleitern und Transistoren, Z. Elektrochem. 58 (1954), 282—327; C h a u d r o n G., Contribution au problème des traces ultimes d'impuretés dans les métaux, Bull. Soc. chim. France 5 (1954), 419—422; T r e n d e l e n b u r g F., Die Bedeutung

- chemisch reiner Ausgangsstoffe für die Festkörperforschung, *Angew. Chemie* 66 (1954), 520; *Handley R.*, *Ind. Chemist* 31 (1955), 535; *Davis M.*, *Calverley A. and Lewer R.*, *J. Appl. Phys.* 27 (1956), 195 (нагревание электронной бомбардировкой; для бензола см. *Röck H.*, *Naturwiss.* 43 (1956), 81).
6. *Güntner P. W.*, *D. B. P.* (angem.) 1000155 (3.1.57).
 7. *Van Arkel A. E.*, *Reine Metalle*, Berlin, Springer, 1939. *Gmelins Handb. d. anorg. Chemie, System Nr. 24 (Rb) und 25 (Cs)*, Berlin, 1937, 1938, 8. Aufl.; *Campbell*, *Vakuumtechn.* 6 (1957), 12.
 8. Согласно *Grosz F.*, *Z. Physik* 7 (1924), 316.
 9. *Joos G.*, *Hdb. Exp.-Phys.* 22 (1935).
 10. Merkblatt über den Umgang mit Natriummetall, Verlag Chemie, Weinheim, 1952. О разрезании щелочных металлов стальной проволокой, ср. *Tranger D. B.*, *Rev. Sci. Instr.* 24 (1953), 989.
 11. Li и его применения, *Rev. Ind. Fabrill.*, 1950, 776; *Baker P. S.*, *Dunson F. R.*, *Greene H. B.*, *Science* 118 (1953), 778 (вакуумная очистка); также *Szarowicz T.*, *Orman M.*, *Prace Instr. Ministerstwa Hutnictwa* 7 (1955), 720.
 12. Петролейный эфир, бензин, ксилол немного гигроскопичны. Вследствие реакции металла со впитанной им водой он может нагреться до такой степени, что пары очищающего вещества воспламенятся. Поэтому очищающее вещество следует предварительно осушить, лучше всего расплавленным хлористым кальцием. Очистка хлороформом или четыреххлористым углеродом недопустима, так как эти вещества образуют со щелочным металлом взрывчатое соединение. О Na-прессах см. *Schulek E.*, *Magyar Kemiai Folyoirat* 56 (1950), 255.
 13. Точное описание различных методов дистилляции см. *Simon H. und Suhrmann R.*, *Lichtelektrische Zellen und ihre Anwendung*, s. 66—70, Berlin, 1932; также в «*Espe-Knoll*».
 14. *McLennan J. C. and Ainslie D. S.*, *Proc. Roy. Soc. Lond. (A)* 103 (1923), 304.
 15. *De Boer J. H.*, *Broos J. and Emmens H.*, *Z. anorg. u. allgem. Chemie* 191 (1930), 113.
 16. *Shurmann R. und Breyer F.*, *Phys. Z.* 31 (1930), 823.
 17. *Loebe W. W. und Ledig W.*, *Z. techn. Phys.* 6 (1925), 287.
 18. *Forro M. und Patai E.*, *Z. techn. Phys.* 12 (1931), 256.
 19. *Pike E. W.*, *Rev. Sci. Instr.* 4 (1933), 687.
 20. Описание лекционной демонстрации аллотропии см. *Fraden H. J.*, *J. chem. Educat.* 28 (1951), 34.
 21. *Lieneweg F.*, *Technische pH-Messungen*, *Siemens-Z.* 26 (1952), 188.
 22. *Justi E. und Lautz G.*, *Z. Naturforsch.* 7a (1952), 191, 602.
 23. Ср. *Crane H. R.*, *Rev. Sci. Instr.* 9 (1938), 428.
 24. *Pahler R. E.*, *Metal. Progr.* 65 (4) (1954), 86 (реакторная техника); *Miller G. L.*, *Times Rev. Ind. (N. S.)* 10 (1956), 24; *Schofield M.*, *Light Metals* 19 (1956), 312; *Reinbach R.*, *Vacuumtechnik* 5 (1956), 100.
 25. *Audrieth L. F.*, *Metallwirtschaft* 14 (1935), 3.
 26. *Einescke E.*, *Studien über das Gallium, Indium, Thallium*, *Z. anorg. u. allgem. Chemie* 238 (1938), 113; *Einescke E.*,

- Metallwirtschaft 18 (1939), 302; галлий и его получение см. *Ind. chimique* 57 (1950), 215; также Brown R. W., F. P. 964344/50 A. Pr. 1947. Zimmerman W., *Science* 119 (1954), 411 (выращивание монокристаллов).
27. Schwarz R. und Baronetzky E., *Z. anorg. u. allgem. Chemie* 275 (1954), 1; Heywand W. und Henker H., *Z. Elektrochem.* 58 (1954), 283.
 28. Salow H., *Z. angew. Physik* 3 (1951), 231.
 29. Law J. T., *J. Phys. Chem.* 59 (1955), 543; Rüsner O., *Metallkunde* 46 (1955), 225; Ziesalek G., там же, 229.
 30. D. R. P. 453184, D. R. P. 454213, A. P. 1793303. См. далее статью: Indium and its uses, *Rev. Sci. Instr.* 12 (1941), 560; *Phys. Ber.* 23 (1942), 2021. Вакуумный вентиль с индиевым уплотнением: Reynolds F. L., *Vacuumtechn.* 4 (1955), 181; см. также Adam H. A., *J. Sci. Instr.* 34 (1957), 123.
 31. Belsler R. B., *Phys. Rev.* 92 (1953), 1098.
 32. Trendelenburg F., *Siemens-Z.* 27 (1953), 391; Welker H. Z., *Naturforsch.* 8a (1953), 248.
 33. Van Arkel A. E., *Reine Metalle*, Berlin, 1939; *Metall* 9 (1955), 1000; Miller G. L., *Times Rev. Ind. (N.S.)* 10 (1956), Nr. 112, 28 (ядерный реактор).
 34. Reimann A. L. and Kerr Grant C., *Phil. Mag.* 22 (1936), 34; Miller G. L., *Times Rev. Ind. (N.S.)* 11 (1956), No. 113, 24.
 35. Corruccini R. C., *Phys. Rev.* 79 (1950), 202.
 36. Gmelins Handh. d. anorg. Chemie, System Nr. 68, Platin, Teil A, Lieferung 6. Weinheim Verlag Chemie 1951, behandelt die Legierungen der Pt-Metalle Os, Ir, Pt; см. также Chaston J. C., *Metallurgia* 42 (1950), 310; Wise E. M., *Les metaux de la famille du platine*, *Rev. Metall.* 52 (1955), 265.
 37. См. Heraeus-Festschrift «100 Jahre Heraeus, Hanau», 1951, s. 101; также Schwenk V., *Pt in Industrie und Technik*, *Mitt. chem. Forsch.-Inst. Ind. Österreich* 4 (1950), 96 (термометры сопротивления, термоэлементы, катализаторы); Keil K., *Metallkunde* 44 (1953), 166.
 38. Milazzo G., *Rend. Ist. super. Sanità* 18 (1955), 317 (тройная дистилляция); Espre W., *Z. Nachrichtentechn. Berlin* 6 (1956), 155.
 39. Burstyn W., *Z. techn. Physik* 13 (1932), 505; Fuschillo N., *Rev. Sci. Instr.* 27 (1956), 410.
 40. Dobrowsky A., *Chem. Ztg.* 64 (1940), 32 (очистка окислением в растворе марганцевокислого калия); Bergmeuer H. U., *Chem.-Ing.-Techn.* 22 (1950), 330 (полностью автоматизированная аппаратура); Krehs & Co., N. P. 76686/50, Schwz. Pr. 1948 (описание электролизера с Hg в качестве щелочного электрода).
 41. Lit. Rohm W., *Z. Instrkde* 32 (1914), 349; Valentiner S., *Z. techn. Phys.* 2 (1921), 260.— Проспекты фирм.
 42. Hullet G. A., *Phys. Rev.* 33 (1911), 307.
 43. v. Steinwehr H. und Schulze A., *Ann. Phys.* 87 (1928), 769; *Z. Instrkde* 49 (1929), 566.
 44. Jaeger W., *Z. Instrkde* 12 (1892), 354.
 45. Bates L. F. and Baker C. J., *Proc. Phys. Soc.* 50 (1938), 409.
 46. Stock A., *Z. angew. Chemie* 47 (1934), 64; D. R. P. 583531/31/33.

47. N o d d a c k I. und W., Das Rhenium, Leipzig, 1933; K l e e s e W., Über den Stand der Anwendungsmöglichkeit von Ré-metall und seinen Legierungen, Metall 5 (1951), 155; см. также Werkstoffe und Korrosion 2 (1951), 296; H a s s e G. und S c h n e i d e r G., Z. Phys. 144 (1956), 256 (термоэлементы из сплавов Ir—Re).
48. Das Tantal und seine Verwendung in der Industrie, Druckschrift, Siemens & Halske AG., Wernerwerk, Berlin-Siemensstadt; M i l l e r G. L., Times Rev. Ind. (N.S.) 11 (1956), No. 113, 24.
49. W a g e n e r S., Die Herstellung von Höchstvacua mit Hilfe von Getterwerkstoffen, Z. angew. Phys. 6 (1954), 433; Gmelins Hdb. d. anorg. Chem. 8. Aufl., Thorium. Syst. No. 44, Verl. Chemie 1955.
50. L i t t o n F. B. and G o n s e r B. W., Composition, structure and properties of iodid titanium, Metal Progr. 55 (1949), 346; N i c o l a u s H. O., Titan in der Technik, Z.VDI 92 (1950), 153; S c h u l z e W. M. H., Titan und seine Verbindungen in der Elektrotechnik, ETZ 72 (1951), 51; плавление см. Engng. 180 (1955), 293; M a r g o l i n H., Z. Metallkunde 46 (1955), 827; F i s c h e r R. W. und v a n K a n n H., Chem.-Ing. Techn. 28 (1956), 565.
51. L e v i R., Philip's Techn. Rdsch. 17 (1956), 305; Z.VDI 98 (1956), 1732.
52. B a r k h a u s e n H., Elektronenröhren, 1. Band, Leipzig, 1931.
53. K e i l A. und M e y e r C. L., ETZ 72 (1951), 343.
54. Ср. B a s - T y m a z E., Über die Lebensdauer einer glühenden Wolframwendel und Verdampfungsgeschwindigkeit des glühenden Wolframs im Hochvakuum, Z. angew. Phys. 2 (1951), 374—376; о высоковакуумных печах см. H ä n l e i n W., Glas u. Hochvak. 2 (1953), 279; C h a c k e t t F. A., J. Sci. Instr. 33 (1956), 505 (пайка твердым припоём).
55. D e B o e r H. und F a s t J. D., Z. anorg. u. allgem. Chemie 153 (1926), 1; 187 (1930), 177; E s p e W., Zirkonium, Füssen (Bayern), 1953; M i l l e r G. L., Zirconium, a structural material for nuclear reactors, Nucleonics 11 (1953), 27; M i l l e r G. L., Times Rev. Ind. (N.S.) 10 (1956), 24.
56. H o u d r e m o n t E., Handbuch der Sonderstahlkunde, Berlin, Springer-Verlag, 1956; R a p a t z F., Die Edelmehle, Berlin, Springer-Verlag, 1951; M i t s c h e R., Arch. Metallkunde 3 (1949), 299 (систематика сплавов); S c h u l z e A., Metallische Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, Metallverlag, 1949; R a n d a l l W. F., Fortschritte bei Legierungen für Instrumentenbau, Trans. Instr. Mens. Conf., Stockholm, 1949 (1950), 250; E s p e W., Werkstoffe der Elektrotechnik in Tabellen und Diagrammen, Berlin, 1954, Akademia-Verlag.
57. R e i p r i c h J. und v o n Z w e h l W., Aluminium-Taschenbuch, Düsseldorf, 1955.
58. Siemens-Z. 27 (1953), 391; Ergebn. d. exakten Naturw. 29 (1956), 275.
59. F i s c h e r H., Z. Metallkunde 27 (1935), 25; B i r e t t W., Metallwirtsch. 14 (1935), 188; см. также Z-VDI 97 (1953), 531; S a n d s J. W. and M i l l e r O. O., Materials and Methods 43 (1956), 94; B r a c e A. W., Metallurgia (Manchester) 55 (1957), 173.

60. Сведения об алюминиевых (сверхпрочных) сплавах получены из Aluminium-Zentrale, Düsseldorf.
61. DIN-Taschenbuch 4. Teil B, 1954, Beuth-Verlag; Metall 7 (1953), 248.
62. Hoffmann W., Blei und Bleilegierungen, Berlin, 1941.
63. Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen, 1953; также Electr. Engng, N. J. 72 (1953), 441; Andrews K. W., Iron Steel Inst. 184 (1956), 414 (аустенит-феррит); о биметаллических полосках из стали с бронзой см. Valicki, Prace Instr. Ministertwa Hutnictwa 8 (1956), 40.
64. Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen, 1953. Так как сплавам Al—Ni как в холодном, так и в горячем состояниях трудно придать нужную форму, то с этой целью их размалывают до порошкообразного вида и либо спрессовывают с искусственными веществами (громалитом, прессмагнетом), либо соответствующим образом металл спекают после прессования. См. также Zumbusch W., Bericht über die Eigenschaften der technisch wichtigen sinterbaren Dauermagnetlegierungen des Metallsystems Eisen-Nickel-Aluminium mit Zusätzen von Titan und Kobalt, Z. angew. Physik 1 (1948), 45, 98; Haufe W., Industriekunde 56 (1956), 207.
65. Z. techn. Physik 15 (1934), 99; Pawlek, Magnetische Werkstoffe, Berlin, 1952.
66. Espe-Knoll; Drucksch. F. Krupp AG (1953).
67. Römpf H., Chemie-Lexikon, 3. Aufl., Stuttgart, 1953, стр. 1244 и 1896; см. также Chem.-Ing. Techn. 28 (1956), 214.
68. Espe-Knoll; Ingenieur, Haag 9 (1934), 49.
69. Espe-Knoll; Physics 5 (1934), 384.
70. Espe-Knoll; Pawlek, Magnetische Werkstoffe, Berlin, 1952.
71. ETZ 72 (1951), 337.
72. Heraeus, Festschrift (1933), 408.
73. Schulze A., Metallische Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1949.
- 73a. См. Technica, Bern 6 (1957), 215.
74. Ullmann, Encyclopädie d. techn. Chemie, Berlin—Wien, 1928; Ruthardt K. (Heraeus), D. B. P. 888180 (31.8.1953) (потенциометрические провода); Espe W., Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1954; Vacuumtechnik 4 (1955), 51.
75. Z. angew. Phys. 4 (1952), 321.
76. Schulze A., Metallische Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1949.
77. Finn. Pat. 24552 (23. 2. 1948), Chem. Zentralblatt 122, II (1951), 297.
78. Fischer J., Dauermagnetkunde, Springer, 1949.
79. Z. Metallkde 30 (1938), 217.
80. Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen, 1953.
81. Справки и советы по применению меди и медных сплавов можно получить в Deutsche Kupferinstitut e. V., Berlin—Charlottenburg, Niebuhrstr. 2.
82. Espe-Knoll; Z.VDI 96 (1954), 107.
83. Schulze A., Metallische Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1949.
84. DIN-Taschenbuch 4 (1954), Teil B; Z. Phys. 129 (1951), 219.

85. Z i m m e r m a n n E., Werkstoffkunde und Werkstoffprüfung, Leipzig, 1949; Werkstoffhandbuch Nichteisenmetalle 1939.
86. F i s c h e r J., Dauermagnetkunde, Springer, 1949; P a w l e k F., Magnetische Werkstoffe, Berlin, 1952.
87. S c h u l z e A., Metallische Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1949; Rose A. S. and Lewis W. N., Welding J. 34 (1955), 30 (для совел); Foerster C. V. and Kopituk, Iron Age 175 (1955), 79 (для твердой пайки).
88. Elektr. Nachrichtentechnik 5 (1928), 83; Z.VDI 92 (1950), 565.
89. Gmelins Handbuch der anorg. Chemie, Eisen D. (1936).
90. Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen, 1953.
91. Z. Metallkunde 24 (1932), 107.
92. Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen, 1953.
93. Espe-Knoll; Klein M., Einführung in die DIN-Norm., Stuttgart, 1955.
94. Espe-Knoll; Ann. d. Phys. 36 (1939), 567; Reinbach R., Draht 6 (1955), 79 (контрацид для пружин).
95. Z. angew. Phys. 2 (1950), 423.
96. Espe-Knoll; Klein M., Einführung in die DIN-Norm., Stuttgart, 1955.
97. Hansen W., Metallkunde der Nichteisenmetalle, Wiesbaden, 1948, Teil II.
98. Schulze A., Metallische Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1949.
99. Z. techn. Phys. 17 (1936) 33; J. Appl. Phys. 24 (1953), 498.
100. Phys. Z. 36 (1935), 544; Pawlek F., Magnetische Werkstoffe, Berlin, 1952.
101. Phys. Z. 37 (1936), 885; Instruments 27 (1954), 1070.
102. Baka & Co., D. B. P. 804/605/51, A. Pr. 1948.
103. DIN-Taschenbuch 4 (1954), Teil B.
104. Espe-Knoll; Feinwerktechnik 57 (1953), 309; Vacuum-technik 4 (1955), 51.
105. Schulze A., Metallische Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1949.
106. Espe W., Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1954; см. также Keil A., Metall 8 (1954), 515; 9 (1955), 689; Spengler H., Metall 9 (1955), 682 (интервал температур от -40 до $+420^{\circ}$ C).
107. Schulze A., Metallische Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1949.
108. Espe-Knoll, [1].
109. Cp. Kieffer R. und Hotop W., Pulvermetallurgie und Sinterwerkstoffe, Berlin, 1948.
110. Houdremont, Sonderstahlkunde, Berlin, 1956.
111. Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen, 1953.
112. Smithells C. J., Nature 139 (1953), 490.
113. Metallwirtschaft 23 (1944), 56.
114. Espe W., Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1954.
115. DIN-Taschenbuch 4 (1954), Teil B.
116. Исчерпывающий обзор с литературным указателем см. Schoeneck H. and Veleger H., Metallwirtsch. 18 (1939), 576; Buckley H. E., Crystal Growth, New York—London, 1951; Lazarus D. and Chipman D. R., Rev. Sci. Instr. 22 (1951), 211 (вакуумные печи для металлических монокри-

- сталлов); Neuhaus A., Chem.-Ing. Techn. 28 (1956), 155, 350; Nitschmann, Z.VDI 98 (1956), 1661; Piontelli R., Rivolta B. and Sternheim G., Rev. Sci. Instr. 26 (1955), 1206 (резание монокристаллов). Электрокристаллизация: Fischer H., Z. Elektrochem. 59 (1955), 612. Алюминий и его сплавы: Ind. Engng. Chem. 45 (1953), 2270, 2282; Брискина Т. М., Природа 42 (1953), 74; Elliott E., Metallurgia 55 (1957), 67; Syz W., Aluminum 31 (1955), 157 (рафиналь и рефлектал); Rienäcker W., Z. Metallkunde 46 (1955), 429. Редкие земли: Trombe F., Rev. Metall 53 (1956), 1. Германий: Bridgers H. E., Bell. Lab. Rec. 33 (1955), 41. Магний: Bretschneider O., D. B. P. (angem.) 1000157 (3.1.1957). Никель: Nickel-Ber. 14 (1956), 8. Серебро: Keil A. and Meyer C. L., Schweiz. Arch. angew. Wiss. Techn. 21 (1955), 264. Кремний: Amberger E., Diss. Univ. München; Оно К. and Matsushima, Sci. Rep. Tôhoku Univ. 6 (1954), 47; Мурач Н. Н., Природа 44 (1956), 82; Schäfer H., D. B. P. (angem.) 12i, 38. Н. 20850 (9.8.1956).
117. Schmid und Boas, Kristallplastizität, Berlin, 1935 (есть русский перевод).
118. Karnop R. und Sachs G., Z. Phys. 42 (1927), 283; Weik H., Z. angew. Phys. 5 (1953), 119.
119. Andrade E. N., Preparation of single crystal wires of metals of high melting point, Proc. Roy. Soc., London (A) 163 (1937), 16.
120. Dahl O. und Pawlek F., Kornordnung und Kornwachstum bei Walzblechen, Z. Metallkunde 28 (1936), 266—271.
121. Alterthum H., Z. phys. Chemie 110 (1924), 1.
122. Bridgman P. W., Proc. Amer. Acad. 60 (1952), 305—383 (вакуумное устройство для этой цели см. Gilman J., Rev. Sci. Instr. 22 (1951), 854; также Hideo Takaki, J. Phys. Soc. Jap. 9 (1954), 204).
123. Bridgman P. W., Proc. Amer. Acad. 63 (1929), 351; Sckell O., Ann. d. Phys. 6 (1930), 932.
124. Glocker R. und Graf L., Über die Herstellung von Metalleinkristallen bestimmter Orientierung, Z. anorg. u. allgem. Chemie 188 (1930), 232; Z. Phys. 67 (1931), 388.
125. Steiner K. und Schoenes H., Phys. Z. 40 (1939), 43; способы изготовления сферических монокристаллов из Zn и Cd описывает German S., Z. Metallkunde 45 (1954), 684.
126. Czochralski J., Moderne Metallkunde, Berlin, Springer-Verlag, 1924; Hall R. N., Phys. Rev. 78 (1950), 645; Kleinknecht H., Naturwiss. 39 (1952), 400.
127. Schiebold E. und Siebel G., Z. Physik 69 (1931), 458; для полупроводников: Dorendorf H., Kerkhoff W., Jäger A. und Henker H., D. B. P. 2/8.11/02, s. 30360 (16.8.56); Dorendorf H. und Henker H., D. B. P. (angem.) 2/8. 1/2, S. 37207 (18.10.56); Köhl G., D. B. P. (angem.) 1005736 (4.4.57); Meißner W., Hdb. Experimentalphysik 11, 2 (1935), 30; о бестиглевом выращивании кристаллов кремния см. Emeis R., Z. Naturforsch. 9a (1954), 67; Henker H. und Rummel Th., D. B. P. (angem.) 21g,

- 11/02, s. 34548 (23.8.56); Rummel Th., 21g, 11/02, s. 39697 (31.10); D.B.P. 1004818 (21.3.57).
128. Howey J., Phys. Rev. 55 (1939), 578; Shaw D. and Mason B. J., Phil. Mag. 46 (1955), 249.
129. Koref F., Z. Elektroch. 28 (1922), 511.
130. Van Arkel A. E., Physica 2 (1922), 56; 3 (1923), 76; Molière K. und Wagner D., Z. Elektrochem. 61 (1957), 65 (W и Zr).
131. Koref F. und Fischvoigt H., Z. techn. Phys. 6 (1925), 296.
132. Westphal P., Metallwirtschaft 17 (1938), 1164; Maddin R. and Asher W. R., Rev. Sci. Instr. 21 (1950), 881; Pearson R. F., Brit. J. Appl. Phys. 4 (1953), 342.
133. Получение твердых металлов из карбидов и вспомогательных металлов см. Inst. Financier, Schwz. P. 268907/50; Roos A., Usine nouv. 9 (1953), No. 17, p. 53; Gardner A. C., Metallurgie (Manchester) 47 (1953), 163; Kieffer R. und Schwarzkopf P., Hartstoffe und Hartmetalle, Wien, 1953; Girschig R., Metaux 31 (1956), 80; Schneider A., Beispiele angew. Forschung, Frauenhofer Ges. 1957 (Juni, s. 37) (MgC); Trippe P. Metalworking Product 101 (1957), 751 (обработка в высокому вакууме).
134. Kozacka J. S., Erickson H. A., Highrifer H. W. and Gabriel A. F., Trans. ASME 78 (1956), 1403.
135. Bryjak E., Missol W., Bojarski Z., Hutnik 23 (1956), 117; «самым твердым веществом в мире» считают боразон (кубическая модификация нитрида бора), см. Chem. Ztg. 81 (1957), 147.
136. Alliegro R. A., Coffin W. B. and Tinklepaugh, J. Am. Ceram. Soc. 39 (1956), 386.
- 136a. Jaeger G., Metall 9 (1955), 358.
137. Münster A., Angew. Chem. (A) 69 (1957), 281.
138. Rideal E. K., Proc. Roy. Inst. Great Britain 34 (1950), 415; Nowacki W., Moderne allgemeine Mineralogie, Sammlung Vieweg No. 123, 1951; Neuhaus A., Chem.-Ing. Techn. 28 (1956), 155, 350; об ориентированном росте парафиновых кристаллов см. Willemms J. U. I., Nature (London) 178 (1956), 429. Титанат бария: Reimeika J. P., J. Am. Chem. Soc. 76 (1954), 940. Хлорид натрия: Thompson F. W., Rose C. S. and Morrison J. A., J. Sci. Instr. 32 (1955), 325. Йодид натрия: Cranberg L., Rev. Sci. Instr. 24 (1953), 328. Кварц: Franke I., Bull. Soc. France Mineralog. Cristallogr. 77 (1954), 1102; пьезоэлектрические кристаллы: см. E. P. 680773 (8.10.1952).
139. Tamman G. und Veschi G., Z. anorg. u. allgem. Chemie 150 (1926), 355; Walther H., Rev. Sci. Instr. (N.S.) 8 (1937), 406; Neuhaus A. und Nitschmann G., Z. Elektroch. 56 (1952), 483.
140. Stockbarger D. C., J. Opt. Soc. Am. 27 (1937), 416; 39 (1949), 731; Rev. Sci. Instr. 7 (1936), 133; 10 (1939), 205.
141. Leininger R. F., Rev. Sci. Instr. 23 (1952), 127.
142. Eitel W., Handh. d. Arbeitsmethoden in der anorg. Chemie 4, 2 (1926), 448, Berlin—Leipzig.
143. Bouhet Ch., Lafont R., C. R. 226 (1948), 1823.

144. K ö r n e r H., Z. Physik 94 (1935), 801; M o s a n e r M. und W u r l M., Arch. el. Übertragung 5 (1951), 463; W a l k e r A. C., J. Franklin Inst. 250 (1950), 481 (пьезокристаллы); реферат в Angew. Chem. 62 (1950), 542; также Nature 167 (1951), 940.
145. A r e n d H. und N e u h a u s W., Die Härtharkeit des Stahls, Essen, 1955.
146. См. Normblätter und Werkstoffblätter «Stahleisen», Düsseldorf; S t u h l m a n n W., Z.VDI 98 (1956), 1486; S e u l e n G. W., Metal Treatment Drop Forging 23 (1956), 305.
147. H o u d r e m o n t E., Hdb. Sonderstahlkde, 3. Aufl., Berlin—Göttingen—Heidelberg, 1956; см. также S c h o t t k y H., Z.VDI 96 (1954), 165 (инструментальная сталь, закалка и испытание).
148. B i e l a u K., Fertigungstechn. 7 (1957), 103.
149. K a l p e r s H., Maschinenmarkt 63 (1957), 20.

§ 2. Неметаллы

А) Неметаллические элементы

1. Формованные детали из угля см. C. D. Patents Ltd., Schwz P. 270260/50.
2. Пропитка угольных деталей, например щеток для коллекторов, см. M o b e r l y L. E., Schwed. P. 128646/5, Amer. Pr. 1943.
3. Новый материал из угля «деланиум» фирмы Powell-Duffryn Products, Times Rew. Ind. (1950), 25.
4. R u s s a n o w A. K., Z. anorg. Chem. 219 (1934), 332; O ' M a r a F. B., Metal Progr. 69 (1956), No. 4, 81 (электрод дуговой печи).
5. H e y n e G., Z. angew. Chem. 45 (1932), 612.
6. D o e t s c h E., D. B. P. 912674/1954.
7. Графит в химической аппаратуре см. C a m p r e F., Dtsch. Landwirtschaft. 1 (1950), 308; S c h m i d t A., Werkstoffe und Korrosion 2 (1951), 93 — собственно пропитанный графитовый материал (игмит, диабон, пробен — пропитаны воском или искусственной смолой).
8. V o i g t A. und K r e b s H., D. B. P. 800860/50.
9. H ö n i g s c h m i d O. und S a c h t l e b e n R., Z. anorg. u. angew. Chem. 221 (1934), 65. Получение из раствора соли: C o a n d a H., D. B. P. (angem.) 1006750 (18.4.1957).
10. G u n t z A., J. Phys. Radium 8 (1937), 47.
11. S o r e l l Fr., F. P. 967639/50.
12. C o m a r u n d Co., F. P. 965333/50.
13. S c h i n d e r a E. und V e t t e r H., Dtsch. Apotheker-Ztg. 90 (1950), 509.
14. C. R. 185 (1937), 271; о растворимости благородных газов в воде см. V a l e n t i n e r S., Z. Phys. 42 (1927), 253.
15. Medd. norsk. farmac. Selsk. 15 (1953), 95, 113, 131, 149.
16. M o r t o n R. J. and S t r a u b C. P., J. Am. Water Works Assoc. 48 (1956), 545.
17. J a c o b s S., Chem. and Ind. (1955), 944.
18. T r o n s t a d L., B r u n J., N. P. P. 77176; 177/50, E. Pr. 1947 (прутный вентиль); C h a n d h r i R. M., Proc. Phys. Soc. (B) 68 (1955), 1157; H o f m a n n H., Chem.-Ing. Techn. 27 (1955), 607; B e c k e r E. W., Angew. Chem. 68 (1956), 6.

19. См. литературу по экспериментальным исследованиям газов в *Estreicher T., Braunschweig, 1905; Moser L., Reindarstellung von Gasen, Stuttgart, 1920; Klemenс A., Die Behandlung und Reindarstellung von Gasen, Leipzig, 1938.*
20. *Landsberg H., Escher E. E. und Dawkins St. A., Vakuuи Techn. 5 (1956), 1.*
21. *Боресков Г. К., Селинко М. Г., Хим. промышленность (1956), стр. 69.*
22. *Möbius W. Z., Erzbergbau Metallhüttenwes. 8 (1955), 107.*
23. *Barth W., там же, стр. 109.*
24. *Кальпичев К. И., Химия в школе 10 (1955), 44 (высокопроизводительный аппарат Киппа).*
25. *Gaede W., Ann. d. Phys. 41 (1913), 302.*
26. *Niese G., Phys. Z. 24 (1923), 12.*
27. *Wulff O. R., J. Opt. Soc. Amer. 15 (1927), 119.*
28. *Schuh H., Z. phys. chem. Unterr. 44 (1931), 79.*
29. *Wood R. W., Phil. Mag. 44 (1922), 538.*
30. *Lau E. und Reichenheim O., Z. Phys. 73 (1931), 31.*
31. *Kroepelin H. und Vogel E., Naturwiss. 20 (1932), 821.*
32. *Slack C. M. and Ehrke L. F., Rev. Sci. Instr. 8 (1937), 39.*
33. *Hertz G., Naturwiss. 21 (1933), 884; см. также Clusius C., Z. phys. Chem. (B), 1939.*
34. *Bonhoeffer K. F. und Harteck P., S.-B. Pr. Akad. Wiss. Berlin, 1929, s. 103; Z. phys. Chem. (B) 4 (1929), 113; 5 (1929), 292; Mund W., Bull. Cl. Sci. Acad. Roy. Belgique 40 (1954), 1280.*
35. *Rindtorff E., Ruschmann W. und Bracht G., D. B. P. (angem). 121,1/01 B 34451 (22.12.55); Herbert W. und Bayer R., D. B. P. (angem). 121,1/01. L 11277 (22.12.55).*
36. *Stock A. und Ritter G., Z. phys. Chem. 124 (1926), 204.*
37. *Taylor J. B., Rev. Sci. Instr. 6 (1935), 243; de Percin G., Bull. Inst. Int. Froid. Suppl., 1955, No. 2, 27.*
38. *D. B. P. angem. 121,15. R. 14669 (2.2.56).*
39. *Justi E., Ann. Phys. 10 (1931), 985.*
40. *Heyne G., Z. techn. Phys. 6 (1925), 290.*
41. *Elzin J. A., Z. Phys. 82 (1933), 620.*
42. *Pirani M. und Lax E., Wiss Veröffentlich. a. d. Siemenskonzern 2 (1922), 203.*
43. *Chlopin V., Herling E. und Joffé E., Nature 133 (1934), 28. Выход при 500° составлял в вакууме 10%, в водороде при давлении 500 мм рт. ст.— 60% (смоляная урановая руда).*
44. *Grotewold R., D. B. P. 930033 (8.3.1956).*
45. *Taubenberg Fr., D. B. P. (angem.) 121,27 M 25388 (19.1.56).*
46. *Welzel W., Z. techn. Phys. 19 (1938), 146.*
47. *Born F., Ann. Phys. 69 (1922), 473.*
48. *Van Voorhis C. C. and Pike E. W., Rev. Sci. Instr. 5 (1934), 367.*
49. *Цериевая смесь металлов для научных целей может быть получена от I. G. Farbenindustrie AG., Verkaufsgemeinschaft Chemikalien, Abt. M/Metalle, Berlin-Halensee I.*
50. *Gibbs D. S., Svec H. J. and Harrington R. H., Ind. Engng. Chem. 48 (1956), 289.*
51. *Hansen N. R., J. Sci. Inst. 32 (1955), 75.*

В) Разделение газообразных изотопов

0. Walcher W., Naturwiss. 44 (1957), 132 (ионный источник; электромагнитное разделение; то же в реакторе); de Haller P., Bull. techn. Suisse romande 82 (1956), 392.
1. Smyth H., de Wolf, Atomenergie, E. Reinhardt, Basel, 1947. Walcher W., Ergebnisse exakter Naturwiss. 18 (1940); там же обзор методов обогащения и обнаружения изотопов.
2. Kuhn W. und Martin H., Z. physik. Chem. (B) 21 (1933), 93 (обогащение изотопов хлора в фосгене и двуокиси хлора).
3. Groth W. und Harteck P., Naturwiss. 27 (1939), 390.
4. См. Keesom W. H., van Dijk H., Naantjes I., Physica 1 (1934), 1409; 2 (1935), 984; Johns T. F., London H., A.E.R.E. Report, 1951; Wahl M. H., Urey H. C., J. Chem. Phys. 3 (1935), 411; Clusius K., Stavelley L. und Dickel G., Z. physik. Chem. (B) 50 (1941), 403; Krell E., Chem. Techn. 9 (1957), 333.
5. См. Urey H. C., J. Chem. Soc. London (1947), 562; Becker E. W. und Vogell W., Z. Naturforsch. 5a (1950), 174.
6. Harteck P. und Melkonian G. A., Naturwiss. 37 (1950), 450.
7. Hertz G., Z. Physik 79 (1932), 408; Wulkkopf H., Z. Physik 146 (1956), 389. См. также Trawick W. G., Berman A. S., J. Chem. Phys. 26 (1957), 709.
8. Beckey H. D. und Groth W., Naturwiss. 38 (1951), 558; Trawick W. G., Berman A. S., J. Chem. Phys. 26 (1957), 709; Caldirola P., Rossi G., Nuovo Cim. 5 (1957), 1374.
9. Harmsen H., Hertz G. und Schütze W., Z. Physik 90 (1934), 932; см. также Developments in the gaseous Diffusion Process, McGraw-Hill Book Co., New York, 1949.
10. Cichelli M. T., Weatherford W. D., Bowman D. R., Chem. Engng Progress 52 (1951), 12, 98.
11. Clusius K. und Dickel G., Naturwiss. 26 (1938), 546.
12. Clusius K. und Dickel G., Z. physik. Chemie (B) 44 (1939), 397; Fleischmann R. und Jensen H., Ergebn. exakt. Naturwiss. 20 (1942); Becker E. W., Chem. Ing. Techn. 29 (1957), 365.
13. Groth W. und Harteck P., Naturwiss. 27 (1939), 584; Alexander K. F., Z. Naturforsch. 10a (1955), 1034 (в жидкой фазе); McMillan J. A., Españaol C. E., Am. J. Phys. 24 (1956), 287.
14. Heymann D., Kistemaker J., J. Chem. Phys. 24 (1956), 165.
- 14a. Becker E. W., Bier K. und Burghoff H., Z. Naturforsch. 10a (1955), 585; совместно с Beyrich W. und Zigan F., там же 12a (1957), 609.
15. Beams J. W., Rev. Mod. Physics 10 (1938), 245; Mullikan R. S., J. Am. Chem. Soc. 44 (1922), 1033.
16. Beyerle K., Groth W., Harteck P. und Jensen H. D., Beihefte zu «Angew. Chemie» und «Chemie-Ing. Techn.», No. 59 (1950).
17. Martin H. und Kuhn W., Z. phys. Chem. (A) 189 (1941), 219.
18. Groth W. und Harteck P., Z. Elektrochem. 54 (1950), 129.

§ 3. Искусственные материалы (пластмассы)

А) Органические искусственные материалы

1. Saechtling H. J. und Zebrowski W., Kunststofftaschenbuch, München, 1955; Vieweg R., Z. angew. Phys. 2 (1950), 426; Modern Plastics Encyclopedia, New York, 1956, Plastics Catalogue Corp.; Словарь терморепротивных и термопластических искусственных веществ см. Petroleum Proc. 12 (1957), 129.
2. DIN-Taschenbücher, Bd. 21, Kunststoffnormen.
3. Алфавитный указатель в книге [1]; Materials and Methods 45 (1957), 153.
4. Houwink R., Chemie und Technologie der Kunststoffe, Bd. 1, 3. Aufl., 1954; Kunst E., Elektrotechn. u. Maschinenbau 74 (1957), 111 (клофен); Materials and Methods 44 (1956), 98 (локтит).
5. Stuart H. A., Physik der Hochpolymeren, Berlin—Heidelberg—Göttingen, 1955.
- 5a. Riley M. W., Materials and Methods 45 (1957), No. 2, 121 (указания по выбору).
6. Описание методов испытания см. DIN 53462.
7. Стандарт на электрические испытания см. DIN 53482.
8. Esser F., Z. Kunststoffe 40 (1950), 305.
9. Kühnel R., Werkstoffe für Gleitlager, 2. Aufl., Berlin, 1952; White S., J. Res. Nat. Bur. Stand. 57 (1956), 185—204.
10. Rrunner M. E., Barlog B., Analyt. Chem. 28 (1956), 1180—1182.
11. Zirkel M., Z. Kunststoffe 41 (1951), 77.
12. Mehdorn W., Kunstharzpreßstoffe, 3. Aufl., Berlin—Göttingen—Heidelberg, 1949.
13. Voigt F., Z. Kunststoffe 41 (1951), 417, 466.
14. Meyerhans K. Z., Z. Kunststoffe 41 (1951), 365.
15. Hagen H., Glasfaserverstärkte Kunststoffe, Berlin—Göttingen—Heidelberg, 1956.
16. Brown A. F., Jones W. M., Nature 159 (1947), 635.
17. A. P. 2615857.
18. Saechtling H. J., Z. Kunststoffe 41 (1951), 117.
19. Krannich, Kunststoffe im technischen Korrosionsschutz, München—Berlin, 1949.
20. DIN-Normblatt 53503.
21. Lexikon für technische Gummiwaren, Continental-Gummiwerke, Hannover, 1950.
22. Thinius K., Z. Kautschuk und Gummi 4 (1951), 128.
23. Kämpf G. und Kohlschütter H. W., Anorg. Chem. 68 (1956), No. 10, 355.
24. Stäger H., Werkstoffkunde der elektrotechnischen Isolierstoffe, 2. Aufl., 1955; Höbbergh H., Z. Kunststoffe 46 (1956), No. 12, 557.
25. Horn H., Z. Kunststoffe 30 (1940), 53.
26. Schwarz A., Z. Kunststoffe 40 (1950), 13.
27. Vieweg R., Glastechn. Ber. 22 (1948), 353.
28. Esser F., Z. Feinwerktechnik 54 (1950), 253.

29. Thorndike N. S. and Telford J. W., J. Sci. Instr. 33 (1956), 123.
30. Föppl E. und Münch E., Praktische Spannungsoptik, Berlin—Göttingen—Heidelberg, 1950.
31. Jakob H. R., Z. Kunststoffe 39 (1949), 315.
32. Stastny F., Plastverarbeiter (1954), No. 9, 260.
33. Oberst H., Z. Kunststoffe 46 (1956), 190.
34. Hader H., Neues Rezeptbuch für die Farben- und Lackindustrie, 1952; Wagner H. und Kittel H., Taschenbuch der Farben- und Werkstoffkunde, Stuttgart, 1953.
35. Stock E., Rezeptaschenbuch für die Farben- und Lackindustrie, Stuttgart, 1949.
36. Ermiler W., ETZ 71 (1950), 527.

Б) Неорганические искусственные материалы

а) Стекло

1. Lauster, ETZ 57 (1936), 517.
2. Henning F., Die Grundlagen, Methoden und Ergebnisse der Temperaturmessungen, Leipzig, 1951.
3. McLennan J. C. and Wilhelm J. O., Trans. Roy. Soc. Canada 26 (1932), Sect. III, 119.
4. Terrien J., Rev. d'Opt. 15 (1936), 258.
5. Matossi Fr., Bluschke H., Z. Phys. 108 (1938), 295.
6. Lachbir Singh, J. Sci. Industr. Res. 11 (1952), No. 2, 63—66.
7. Mönch, Hochvakuumtechnik, Pöbneck, 1950.
8. Z. angew. Phys. 3 (1951), No. 6, 209—212.
9. Z. Phys. 86 (1933), 621.
10. Das Glas в Gelhoffs Handbuch «Die techn. Physik» 3, Leipzig, 1929.
11. Dralle R. und Kepler G., Glasfabrikation, München, 1911.
12. Thiene, Glas I, II, Jena, 1931.
13. Espe W. und Knoll M., Werkstoffe der Hochvakuumtechnik, Berlin, 1936.
14. Partridge J. H., Glass-to-Metall Seals, Sheffield 10, 1949.
15. См. Stooke S. D., Ind. Eng. Chem. 41 (1949), 856; Silicates 15 (1950), 23; также Foto-Kino-Technik 2 (1948), 141.
16. Z. Röntgenkde 13 (1911), 141.

б) Керамические массы

17. Salmang H., Keramik, Berlin—Göttingen—Heidelberg, 1951; Westbrook J. H., Am. Ceram. Soc. Bull. 31 (1952), 205; Grice L., Brit. Clay-Worker 64 (1955); Köhne K. H., Glas-Email-Keramo-Techn. 7 (1956), 44; Zwetsch A., Sprechsaal, Keram., Glas, Email 90 (1957), 5; Sugaike K., Kurihara K., Kagaku (Наука, япон.) 27 (1957), 171 (фарфор); Reihart Fr., Glas-Email-Keramo-Techn. 8 (1957), 42.
18. См., напр., Johannes E., Verwey W., Shereis J. M., A. P. 2534391/50 Holl. Gr. 1944 или Cr. Stone R. L., Maßgerechte Isoliergegenstände für die Radiotechnik, A. P. 2524739/50.

19. Бюро стандартов. Керамический материал высокой твердости для применения при высоких температурах. J. Appl. Phys. 21 (1950), 65.
- 19a. R y s c h k u r i t s c h E., Oxydkeramische Einstoffsysteme, Berlin—Göttingen—Heidelberg, 1948.
20. K u l l P., Elektrotechn. u. Maschinenbau 74 (1957), 11.
21. H a n d r e k H., ATM Z. 944—1 (1931) und 944—3 (1935).
22. G e r d i e n H., Z. techn. Phys. 13 (1932), 586; Z. Elektrochem. 39 (1933), 13; C a h o o n H. P. and C h r i s t e n s e n C. J., J. Am. Ceram. Soc. 39 (1956), 337.
- 22a. E g a n E. J., Iron Age 177 (1956), 91.
23. B a x t e r J. R., Aust. Engr. (1955), 45.
24. См. S t r o n g J. and P r i c e R. T., J. Opt. Soc. Amer. 25 (1935), 205; K ö t h e m a n n K. H., T r e p p s c h u h H. und F i s c h e r W. A., Arch. Eisenbüttenwes. 27 (1956), 563.
25. E b e r t H. und T i n g w a l d t C., Phys. Z. 37 (1936), 471.

в) Замазки и клеи

1. D e B r u y n e N. A. und H o u w i n k R., Klebtechnik, Stuttgart, 1957; B e r n h a r d P., Techn. Rdsch. (Bern) 49 (1957), 25.
2. M i c k s c h - P l a t h, Taschenbuch der Kitte und Klebstoffe, Stuttgart, 1952, 3. Aufl.
3. M a t t i n g A. und H a h n K. F., Technik 12 (1957), 297.
4. S a e c h t l i n g H. J. und Z e b r o w s k i W., Kunststofftaschenbuch, München, 1955.
5. V a r i c a k Th. and P e j o s k i B., Stain Techn. 26 (1951), 225; П а н и И. Е., ЖТФ 25 (1955), 2369 (оптический клей); B e s s e Y., D e m a r c q J., Rev. d'Opt. 35 (1956), 21; 36 (1957), 476 (замазки).
- 5a. H ö c h t l e n A., Z. Kunststoffe 40 (1950), 230.
6. B l a c k J. M., B l o m q u i s t R. F., Mod. Plast. 33 (1956), No. 10, 225, 235; B l o m q u i s t R. F., Machine Design 28 (1956), Nr. 11, 99 (эпоксидные смолы); M a t t i n g A. und H a h n K. F., Technik 12 (1957), 297; Wiss. Z. Ilmenau 3 (1957), 29.
7. M i c k s c h - P l a t h, Taschenbuch der Kitte und Klebstoffe, Stuttgart, 1952, 3. Aufl.
8. K ö n i g H., R a u t e n f e l d F. B., Z. techn. Phys. 23 (1942), 273.

. ГЛАВА II. НЕКОТОРЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ ПРИЕМЫ

§ 1. Пайка и сварка

1. M ö h l e r I. B., Machine Design 28 (1956), No. 12, 123/28.
2. K e i l A., Z. Metallkunde 47 (1956), 491.
3. M e Q u i l l a n W. P., Metalworking Production 100 (1956), 1072.
4. Materials and Methods, 1950, p. 59.
5. W e b b e r H. M., Steel 139 (1956), 94, 97, 100.
6. См. также Steel 138 (1956), 80; R u d o l p h H. и др., Rev. de la Soudure 12 (1956), 88.
7. S i m o n G., Z. Metallkunde 47 (1956), 494.

8. Bankloh W., Metalloberfläche 3 (A) (1949), 165, 197.
9. Krekel P., Feinwerktechnik 60 (1956), 171; Jewell R. C., Sheet Metall Ind. (1956), 606.
10. См. Schweißen und Schneiden 4 (1952), 42.
11. См. Aircraft Produktion 18 (1956), 242; Zwicker U. und Pfeiffer E., D. B. P. (angem.) 1009454 (29.5.57).
12. Kinzel A. B., Swan D. und Biers H., Schweißen und Schneiden 2 (1950), 358; Pfender M., там же 9 (1957), 81; Klein H. W. und Lenk C., там же, 102.
13. Pease G. R., A. P. 2518366/50.
14. Schimpke P. und Horn H. A., Handbuch der Schweißtechnik, Berlin, 1948—1957.
15. Espe W., Vakuumtechn. 4 (1955), 51 (в основном для техники высокого вакуума).

§ 2. Обработка поверхностей (защитные слои и пленки)

1. Wiederholt W., Jahrbuch d. Obeflächentechnik, 1957, Berlin; Henry R. P., Le Vide 10 (1955), 50; см. также Iron Age 177 (1956), 97; Pollack A., Industriebl. 57 (1957), 44; Reichel F., там же, с. 35. Основы обработки металлов см. Carter W. A., Machinery Lloyd (европ. изд.) 26 (1954), No. 24, 69 (1. Mitt.); 27 (1955), No. 26A, 37 (5. Mitt.).
2. Law J. T., J. Phys. Chem. 59 (1955), 543; Espe W., Feinwerktechn. 60 (1956), 137.
3. Huguesin E. L., Gauzit M., C. R., Paris 241 (1955), 378; Sawyer J. W., Iron and Steel 25 (1952), 17.
4. Stine V. F., Metal Progr. 65 (1954), 104, 142, 144, 146; Finkelburg H. H., Metall 9 (1955), 466; Orefice A., Fonderia ital. 4 (1955), 332; Peltser O., Stahl und Eisen 75 (1955), 1681.
5. Rogner H. und Mayer E., D. B. P. (angem.) 48 d, 2/20 H 25113/20. 12.56 und H 25114 (7.2.57).
6. См. E. P. 736638 (14.9.55).
7. См. Metallwaren-Ind. und Galvanotechn. 47 (1956), 525; Pollack A., там же, 534.
8. Rivière G., Rev. de'Aluminium 31 (1954), 101; об устройстве для обезжиривания металлов см. Höhn H. J. und Reissner H., D. B. P. (angem.) 49 d, 2/20. H 12234 (29.11.56); главным образом для сплавов Ti см. Muehnik S. N., Sand. Machinery Manufact. News 66 (1955), No. 12, 318.
9. Hall N., Metal Finishing 53 (1955), 58; Astori C., Pitture e Vernici 12 (1956), 263.
10. Schmidt R., Glas-Email-Keramo-Techn. 7 (1956), 77.
11. Workum L., F. P. 1117250 (18.5.56); другое средство для керамических поверхностей см. McNaillu M. J., A. P. 2714094 (26.7.55).
12. Springer R., D. B. P. 939659 (1.3.56); Дополнение к 937209 (29.12.55). Для титана см. Chem. Engng News 35 (1957), 92; Sipel R. W., Werkstoffe und Korrosion 8 (1957), 185.
13. Bignon J., Cuivre, Laitons, Alliges, 1951, Juni/Juli, s. 23; Sept./Okt., s. 21.
14. См. E. P. 736750 (14.9.55); MacPherson C. D., A. P. 2724667 (22.11.55); Chem. Engng News 35 (1957), 78; см. также

- Alexander H. L., Farrel H., Wheatley Q. D., Metal Progr. 69 (1956), 78; Nieth F., Metalloberfläche (A) (1955), 174.
15. Freud H. M., F. P. 1088940 (11.3.55).
 16. Bauch Fr., A. P. 2721119 (18.10.55).
 17. Jordan M. F., J. Inst. Metals 85 (1956/57), Ch. II, 33.
 18. См. D. B. P. (angem.) 48 d, 2/02. W. 15702 (17.5.56).
 19. Palazzolo B., Metallurgia ital. 48, No. 8; Atti Notizie 11 (1956), 263.
 20. Литература по травлению: Rossi-Landi G., Métallurgie construct. mécan. 86 (1954), 597; Labergère J., там же, 127; van Oeteren-Panhäuser K. A., Metalloberfläche 10 (1956), 49, 81.
 21. Коррозия: см. также [1]; Grubitsch H., Chem.-Ing. Techn. 27 (1955), 287; 28 (1956), 9; 29 (1957), 312; Lange E., Z. Metallkunde 47 (1956), 52; Cygan R., Reed E., US Atomic En. Comm. Publ. AECD 3473; рефер. см. Werkst. u. Korr. 7 (1956), 34 (Na); на неметаллах: Hedvall J. A., Z. Elektrochem. 59 (1955), 350; защита от коррозии: Derungs W. A., Petroleum Refiner 35 (1956), 319; Gatos H. C., Corrosion (Houston) 12 (1956), No. 1, 39; см. также там же 11 (1955), No. 2, 19; No. 4, 65; Voigt P., Chem. Ztg. 80 (1956), 712; покрытия из жидких искусственных веществ: Neumann J. A., Woskhoff F. J., Prod. Engng 28 (1957), 140; для гирь аналитических весов: Bigg P. H., Burch F. H., Brit. J. Appl. Phys. 5 (1954), 382; защита от окалины: v. Goldbeck, Metalloberfl. (A) 8 (1954), 81A; Cartledge G. H., J. Phys. Chem. 59 (1955), 979; 60 (1956), 28, 32, 1037; катодная защита: Waite W. G., Commonwealth Engr. 43 (1956), 245.
 22. Elze J., Metall 9 (1955), 983; Lutter E., Metallwaren-Ind. Galvanotechn. 47 (1956), 2.
 23. Hurst J. E., Foundry Trade J. 90 (1950), 133.
 24. Herenguel J. Fr. G., F. P. 1088615 (9.3.1955).
 25. Hermann A. und Mootz L., D. B. P. 946981 (9.8.1956).
 26. Chielenski H. und Lisicki T., Silikat-Techn. 5 (1954), 437; Holecsek K., Feinwerktechn. 58 (1954), 298; Wendt Fr., D. B. P. (angem.) 67a, 5. W 12192 (20.10.1955); Burkart W., Metalloberfl. (B) 9 (1955), 161; Dettner H. W., Industr.-Anz. 76 (1954), 341 (немеханические методы).
 27. Brünner H. und Lange E., Naturwiss. 41 (1954), 475; Mondon R., Metalloberfl. 10 (1956), 305, 376; Aronson H. T., Wells C., J. Iron Steel Inst. 185 (1957), 240.
 28. Bennighoff H. und Decker R., Techn. Rdsch. (Bern) 48 (1956), No. 41, 29.
 29. Koscholke G., Werkstatt-Techn. u. Maschinenbau 45 (1955), 562.
 30. Johannsen Kl., D. B. P., 803739/51.
 31. F. P. P. 955319 und 955320/650 Holl. Pr. 1946.
 32. См. [1]; см. также «Bonder-Post», Frankfurt/Main; King A. R., Paint Manufact. 22 (1952), 325, 463 (Обзор 1945—1952); Putman A. W., Metal Ind. (London) 82 (1953), No. 5, 89; Brown R. J., там же, 125; Duchange G., F. P. 1098687 (17.8.55); см. также D. B. P. (angem.) 1004012 (7.3.1957).

33. Hyams M., Johnson S. W., Barent M., E. P. 747816 (18.4.56).
34. См. в [1].
35. Group G. B., Materials and Methods 44 (1956), 110.
36. Bruckfield W. F., A. P. 2750308 (12.6.56).
37. Müller-Bralitz E., D. B. P. 904615 (1954).
38. Gramer, The Engineer 193 (1952), 367; см. также Electr. Rev. 152 (1953), 1069; Amend K. F., D. B. P. 941687 (19.4.56); Colbert W. H. und Weirich A. R., D. B. P. (angem.) 21c, 2/34. L 13 792 (18.10.56); изготовление проводящих покрытий на внутренней поверхности вакуумных ламп см. Webb A. J., A. P. 2685861 (1954).
39. См. F. P. 1034706 (1953).
40. Thelen A. und König H., Naturwiss. 43 (1956), 297.
41. Tator K., Chem. Engng Progr. 51 (1955), No. 8, 40; No. 9, 78; No. 10, 64; No. 11, 88; см. также (в особенности относительно нанесения) Zahn E. A., Plating 42 (1955), 1266; о сохранении блеска лакового покрытия см. Bruxelles G. N., Mahlmann B. H., Paint Varnish Product 45 (1955), No. 10, 23.
42. Fuller W. R., Plating 42 (1955), 1271.
43. Cahen H. L., Ind. Finishing 32 (1956), No. 3, 42.
44. Rensch Joe E., Off. Digest Federat. Paint Varnish Product Clubs 1952, p. 749; см. также Paint Manufact. 26 (1956), 145.
45. Seymour R. B., Steiner R. H., Chem. Engng Progr. 49 (1953), 452.
46. Reiner St., Farben, Lacke und Kitte in der Gummi- und Kunststoffindustrie, Berlin, 1956.
47. Anders H., Ind. Vernice-Lack- u. Farben-Chem. 7 (1953), 59, 95; Lohausen K. A. und Mielke K. H., D. B. P. (angem.) 75a, 20. F 13017 (29.3.56), в особенности для проволок и лент.
48. Brown K. R., Ind. Finishing 30 (1954), No. 8, 68.
49. Lauterbach H., Ind.-Anz. 76 (1954), 739; Stordy J. J., Appleton W. G. J., J. Oil Colour Chemists' Assoc. 39 (1956), 565.
50. Tangermann H. D., D. B. P. (angem.) 75a, 20. Sch. 12142 (5.1.56); Woolard H. J., D. B. P. (angem.) 75a, 22. C 6755 (5.1.56).
51. Anders H., Metalloberfläche (B) 9 (1955), 116, 180; см. также Fletcher A. C., Hirsch S. H. A., Maune J. E. O., J. Oil Colour Chemists' Assoc. 37 (1954), 300.
52. См. F. P. 55858 (8.9.56).
53. Goeldte W., Chem.-Ztg. 80 (1956), 708; Колесникова П. Ю. и Корзин Н. В., Хим. промышленность (1955), № 6, 345.
54. Halls E. E., Ind. Chemist 28 (1952), 441; см. также Werkstoffe u. Korrosion 5 (1954), 5; Wirshing R. J., Ind. Engng Chem. 48 (1956), 1320.
55. Letsky B. M., Paint Manufact. 22 (1952), 367.
56. См. F. P. 1028190 (20.5.53).
57. См. D. B. P. 893820 (19.10.53); Брооскманн К., Verpackungs-Rdsch. (1955), No. 12, 81.
58. Pye C. R. und Bremer H. F., Schwed. P. 137702 (21.10.52).
59. Magnusson K., Paint Manufact. 24 (1954), 255.

60. Scheifele B. F. H., Ind. Lackier-Betr. 22 (1954), 244, 262; также Dtsch.-Farben-Z. 9 (1955), 341.
61. Bernhard P., Ind. Vernice-Lack- u. Farben-Chem. 7 (1953), 113; см. также Schweiz. Maschinenmarkt 55 (1955), 62.
62. Bell A. E., Canad. Paint Varnish Mag. 28 (1954), Nr. 11, 20.
63. Phillips H. G., Paint Varnish Product 46 (1956), No. 8, 27.
64. Bewick H. L. und Brown K. R., A. P. 2627478 (3.2.53).
65. Knopfle. und Ogait A., D. B. P. 898790 (3.12.53).
66. Belawsky E., Termignomi, Rev. Quim. ind. 24 (1955), No. 274, 21.
67. Lesser M. A., Soap Sanit. Chemicals 29 (1953), No. 2, 133, 161.
68. Boyle S. C., E. P. 737616 (28.9.55).
69. См. F. P. 967344/50.
70. Guipet J., F. P. 968978/50.
71. Miller E. R., A. P. 2525178/50.
- 71a. Skvarla J. E., Evans E. C., Rev. Sci. Instr. 22 (1957), 341; Heron A. G., D. B. P. (angem.) 1000836 (17.1.57).
72. Hall J. G., Glass 28 (1951), 82.
73. Kaufmann Fr. H., A. P. 2527884/50.
74. Carpenter V. W., A. P. 2533351/50.
75. Duchon B. G. R., F. P. 970130/50.
76. Petronio M., A. P. 2524076/50.

§ 3. Обработка стекла

1. Ebert H., Anleitung zum Glasblasen, 6. Auflage, Leipzig, 1921; Woytacek K., Lehrbuch der Glasbläserei, Hamburg, 1923; Friedrichs F., Das Glas im chem. Laboratorium, Springer, Berlin, 1955; Mönch H., Hochvakuumtechnik, Pößneck, 1950; см. также Glasindustrie 29 (1948); Веселовский С. Ф., Стеклодувное дело. Руководство по изготовлению аппаратуры из стекла. Изд. АН СССР, 1952; Steiner-Stauch H., Glastechnik, Glasinstrumententechnik, Essen, 1956; McNokes, Modern glass-working and laboratory technique, London, 1948.
2. Munson R. I., Rev. Sci. Instr. 26 (1955), 236.
3. Fischer A., Z. Naturforsch. 9a (1954), 508.
4. Ebert H., Fortschritt der Vakuumtechnik, Glastechn. Ber. 23 (1950), 273, 304; Glastechn. Ber. 24 (1951), 152, 177; Espe W., Werkstoffe der Hochvakuumtechnik, Berlin, 1936; Espe W., Kovar. Füssen, 1956; Hermann H., Metall 9 (1955), 744; Hermann H., Z. angew. Phys. 7 (1955), 174—176; Kalzing H., Sprechsaal 86 (1953), 212 (стекла для впавления); Dietzel A., Glastechn. Ber. 24 (1951), 263 (реакция и сцепление стекла с металлом при сплавлении); Düsing W., Telefonken-Ztg. 26 (1953), 111 (вакуум-плотное сплавление стекла с коваром); Strong J., Modern Physical Laboratory Practice, London, 1950 (есть русский перевод); Nokes M. C., Modern Glass Working, London, 1948; Martin L. H., Hill R., A Manual of Vacuum Practice, Melbourne Univ. Press, 1949; Partridge J. H., Glass-to-Metal Seals, Sheffield, 1949; Dalton R. H., J. Am. Ceram. Soc. 39 (1956), 109 (стекла для впавления).
5. Handrik H., Z. techn. Phys. 15 (1934), 494.

6. Morris S. D. D., J. Sci. Inst. 11 (1934), 232; ср. также Klumb H. und Glimm H. O., Phys. Z. 34 (1933), 550.
7. Palmer F., Phys. Rev. 45 (1934), 556; кроме того, Weber A. H., Bazzoni C. B., Rev. Sci. Instr. 8 (1937), 170.
8. Strong F., Brice R. T., Rev. Sci. Instr. 8 (1937), 209.
9. McKelvey E. C., Taylor C. S., J. Am. Chem. Soc. 42 (1920), 1364.
10. Mundsön R. J., Rev. Sci. Instr. 26 (1955), 236/37 (рефер. в Glastechn. Ber. 30, Jahrgang, 62).
11. Schultz H., Das Polieren des Glases, Dtsch. Glaser-Ztg. 51 (1940).
12. Jepsen-Marwedel H., Glaser-Diamanten, Dtsch. Glaser-Ztg. 51 (1940), No. 22; см. VDI-Nachr. 9 (1955), 2.
13. Vorgang beim Schneiden von Glas, Dtsch. Glaser-Ztg. 51 (1940), Nr. 3.
14. Травление кислотой: Dtsch. Glaser-Ztg., 1943. Облагораживание стекла: Hesse K., Leipzig, 1928.
15. Mertes E., Der Siebdruck auf Glas, Email, Keramik, Z. Glas-Email-Keramo-Technik 7 (1956), Heft 9/10.

§ 4. Металлические покрытия

1. Ср. «The making of reflecting surfaces», London, 1920; Рефер. в Z. Instrkde 45 (1922), 84; «The making of Mirrors...», Circ. Bur. of Stand. No. 389, 1931. Портер и Рассел описывают в Scientific American, сентябрь 1929 г., необходимое каждые полгода серебрение 100-дюймового зеркала на Маунт Вильсон по Брешу. Для этого необходимо 1,5 кг азотнокислого серебра; в слое остается лишь 1% серебра.
2. Bothe, J. Prakt. Chem. 42 (1863), 191; Böttger R., Polytechn. Notizbl. 38 (1833), 217; 39 (1884), 342; см. Hopkins A. A., The Standard Am. Encyclopedia of Formulas, N. Y., No. 1953, 471.
3. Весьма подробное описание процесса серебрения зеркал для астрономических целей по рецепту Бетгера дал Креслер в «Die Sterne» 9 (1929), 42. Мы здесь в основном придерживаемся этого описания; см. также Дорохов А. К., Мискуирч С. А. и Бриллиант О. А., Стекло и керамика 11 (1954), № 11, 25; Роннан Fr. J., A. P. 2723919 (15.11.55).
4. Кармаус Н. J., Glas-Email-Keramo-Techn. 2 (1951), 385, 412 (обзор патентной литературы с рецептами); Schieb G., Das Belegen von Spiegeln, Wien, 1955.
5. Дорохов А. К., Мискуирч С. А. и Бриллиант О. А., Стекло и керамика 11 (1954), № 11, 25.
6. Ermes H., D. B. P. No. 950230 (4.10.56); Glas im Raum 4 (1956), No. 2, 21.
7. Guilleminot V. L., F. P. 1033835 (8.4.53).
8. Low K. S., Brit. Plastics 26 (1953), 457.
9. Hass G., Schroeder H. H., Turner A. F., J. Opt. Soc. Am. 46 (1956), 31.
10. Согласно «Europäische Technische Informationen» 1957, No. 4, 100.
11. Gibson Ch. St., Nield J., E. P. 686167 (21.1.53; A. Pr. 1948); см. также Chem. Engng News 35 (1957), 81 (химическое золочение растворимым в воде аминокислотным комплексом золота).

12. E r m e s H., Glas im Raum 3 (1955), 22; S t o o k e y St. D., A. P. 2733167 (31.1.56).
13. Trans. Opt. Soc. 25 (1924), 229; Z. Instrkde 45 (1925), 461.
14. С м. D. B. P. (angem.) 1001872 (31.1.57); Об омеднении серебряных зеркал см. Легкая промышленность 15 (1955), № 5, 44; о природе осажденных на стекле металлов (Ag, Au, Cu, Pt) см. В а n e r j e e В. К., Proc. Nat. Inst. Sci. India 20 (1954), 241.
15. С м. Am. Mach. 97 (1953), No. 7, 150.
16. P r i c e J. W., Galvano (Paris) 24 (1955), 20.
17. H o p k i n s A., The Standard Am. Encyclopedia of Formulas, N. Y., 1953, 499.
18. F i t z e r E., Ö. P. 182024 (25.5.55); M ü n s t e r A. und S c h l e i c h e r H. W., D. B. P. 946060 (26.7.56); окись индия (полупроводящая): F i s c h e r A., Z. Naturforsch. 9a (1954), 508.
19. G e b a u e r K., D. B. P. (angem.) 1006234 (11.4.57); S t r a u s s W., D. B. P. (angem.) 1001078 (17.1.57); K i r s t r a h l e r A., D. B. P. (angem.) 1004010 (7.3.57); см. также D. B. P. (angem.) 1004881 (21.3.57) для проволок.
20. Растворы (ванны) для покрытий из Ag, Au, Bi, Co, Cu, Fe, In, Mn, Ni, Pd, Pt, Rh, Sn, Zn (на Al, Be, Mo, Nb, Th, Ti, U, Zr, итконеле, стеллите): F a u s t C. L., B r e a c h J. G., Plating 43 (1956), 1134; Ag: G u r n h a m C. Fr., Products Finishing 20 (1956), No. 7, 62; K r ä m e r O. P., Metallwaren-Ind. Galvanotechn. 47 (1956), 344 (недостатки можно исправить добавлением цианистых соединений никеля, кадмия или цинка); Au (на Mo): см. F. P. 1056488 (26.2.54); Cd: см. Metallwaren-Ind. Galvanotechn. 45 (1954), 337; Cd, Zn: M i l l w a r d W. H., Plating 42 (1955), 545; Cr: см. Metalloberfläche 10 (1956), 387 (DIN 50966); Cu: B r i e s e W., Metallwaren-Ing. Galvanotechn. 45 (1954), 65; H u r d D. Th., D. B. P. 951694 (31.10.56); Ir: O v e n d e n P. J., Nature 179 (1957), 39; Mo: P r i c e D., Ind. Engng Chem. 47 (1955), 1511; Ni: K ü l l K., S c h w e d e l h e l m A. und W ü r t h n e r E., D. B. P. (angem.) 1005803 (4.4.57); G r a h a m A. K., Metal Finishing (1956), 65 (известные в настоящее время заменители никелирования неудовлетворительны); G o r e R. T., L o w e n h e i m F. A., Iron Age 177 (1956), 29 (покрытия, экономящие никель, из 65% Sn, 35% Ni); Rh: P a r k e r E. A., Plating 42 (1955), 882; G e r l e t t i M., Galvanotecnica (Varese) 6 (1955), 227; Sn: L o w e n h e i m F. A., Tin and its Uses (1955), No. 31, 7 (соли калия вместо станнага натрия); Zr (сплавы): B e a c h J. G., S c h i c k n e r W. C., F a u s t Ch. L., A. P. 2711389 (21.6.55).
21. K u t z e l n i g g A. und G r ü t t n e r S., D. B. P. 936124 (15.11.56) (гальванические полировочные ванны).
22. M i r p h y J. F., A. P. 2719079 (7.9.1955); H e s c h F. H., A. P. 2719781 (4.10.1955).
23. С м. Alluminio 24 (1955), 381; Galvanotecnica (Varese) 7 (1956), 119; см. также Techn. Rdsch. (Bern) 48 (1956), No. 13, 13.
24. H e r g m a n n E., Aluminium 29 (1953), 465, 513; см. также Metalloberfl. (B) 6 (1954), 76; B o s d o r f L., B e y e r A., Aluminium 31 (1955), 321; v a n d e n B e r g R. V., Materials and Methods 44 (1956), 90 (толстые покрытия обеспечивают долговечность металлического основания).
25. H ü b n e r W. W. G., Aluminium 30 (1954), 283.

26. Wogrinz A., Vom Galvanisieren und Metallfärben, Wien—Heidelberg, 1956; см. также Kramer O., Metallfärbung u. Metallüberzüge ohne Stromquelle, 3. erg. Aufl. Saulgau/Wttbg., 1956; на Al: Hafer R. F., Metal Progr. 67 (1955), No. 5, 93; Spooner R. C., Loucks J., Mod. Metals 12 (1956), No. 6, 62; (окраска нержавеющей стали в черный цвет: McFee W. E., Finish 13 (1956), 27).
27. Müller E., Draht 5 (1954), 379.
- 27a. Zietz A., Metallwaren-Ind. Galvano-Techn. 47 (1956), 166; Hoeltgen R., там же, 348.
28. Patton W. G., Iron Age 169 (1952), No. 24, 115 (ванна из расплавленного Al), также Hodges W. A. P. 2738289 (13.3.56).
29. Eisenberg P. H., Schneider H. C., Plating 42 (1955), 1268 (Ni-покрытие).
30. Straumanis M. E., Schlechten A. W., Metall 10 (1956), 901 (Ti-покрытие).
31. Нанесение тугоплавких покрытий (WC, сплавы Co, Cr, W и Ni) при помощи ударных волн см. Roormann R. M., E. P. 742387 (30.12.1955).
32. Steinebach Th., Z. Phys. 23 (1925), 667 нашел, что оптические зеркала хорошо покрываются уже при 350°; Dürrwächter E., D. B. P. 931367 (8.8.55); см. также Chem. Techn. 8 (1956), 498.
33. Cp. [1] «The making of reflecting surfaces...».
34. Paret G., D. B. P. (angem.) 1004536 (14.3.57).
35. Ritschl R., Metallwirtsch. 18 (1939), 563; см. также J. Phys. Radium 11 (1950); Int. Kolloquium Marseille, 1949, изготовление и свойства тонких слоев; Henry R. P., Le Vide 10 (1955), 50; Holland L., Nature 178 (1956), 328 (при помощи дуги) и Plast. Inst. Trans. and J. 24 (1956), No. 56, 153; Vacuum deposition of thin films (предисловие С. Толанского), N. Y., 1956; Фример А. И. и др., Заводская лаб. 22 (1956), 238 (устройство для термического и катодного распыления, а также травления металла); Bennighoff H., Techn. Rdsch. (Bern) 48 (1956), No. 42; Lüdemann H., Z. Naturforsch. 12a (1957), 226.
36. Отдельные напыляемые вещества: если основание не указано, его можно выбрать произвольно или взять стекло, Ag: König H. und Kirste E., Naturwiss. 43 (1956), 247; Ag, Al, Si: Perrot M., David J. P., J. Phys. Radium 17 (1956), 194; Ag, Au, Cu: Knacke O. und Schmolke R., Z. Metallkunde 47 (1956), 22; Ag, Au, Cu, Fe, Pd, Zn (на монокристаллах меди): Haase O., Z. Naturforsch. 11a (1956), 862; As, J. Sb: Griminger H. und Richter H., Z. Naturforsch. 11a (1956), 942; Al (на Pt, эпитаксиально): Royer L. J., Phys. Radium 17 (1956), 171; Al (на коллодиевой пленке, в качестве окон вакуум-спектрографов): Astoin N., Vodar B., J. Phys. Radium 14 (1953), 424; Au: Bonfiglioli G., Coen E., Malvano R., J. Appl. Phys. 27 (1956), 204; C (на лаковых отпечатках): Bradley D. E., Naturwiss. 43 (1956), 126; Cu, Ni: Crittenden E. C., Hoffmann R. W., J. Phys. Radium 17 (1956), 179; Cu Pb, Se, Sn, Te, Tl (на Ag-пленках с ориентировкой (111)): Blackman M., J. Phys. Radium 17 (1956), 176; Ni: Oda Z., J. Chem. Phys. 25 (1956), 592; Pb: Пумш

- М. А. и Баклагина Ю. А., Журн. техн. физ. 28 (1956), 1497; Nagata R. H., Minden H. T., Phys. Rev. 102 (1956), 1258; после обезгаживания в вакууме при 250°С обладает проводимостью n-типа, после контакта с O₂ снова имеет проводимость p-типа; Se (на никелированных Al-пластинах): Seiter J. G., Electronics 28 (1955), No. 11, 258; Sn (последующее окисление, SnO₂): Андриевский А. И. и Журавлев В. А., ДАН СССР 108 (1956), 43; Та, W, Zr: Fabre D., Romand J., C. R. (Paris) 242 (1956), 893; Те (на слюде): Godefroy Lucien, J. Phys. Radium 17 (1956), 278; Те (на KCl- и KBr-поверхностях): Sakurai T., J. Phys. Radium 17 (1956), 274; щелочегалоиды: Lüdemann H., Z. Naturforsch. 11a (1956), 935; Al (40%), Cu (60%) (на каменной соли): Trillat J. J., Takahashi N., C. R. (Paris) 236 (1956), 2245; Fe (20%), Ni (80%): Fowler Ch. A., Fryer E. M., Phys. Rev. 100 (1955), 746; ⁵²FePO₄ (и другие малолетучие соединения из искусственных пленок для получения радиоактивных препаратов): Merinis J., J. Phys. Radium 17 (1956), 308; металлизация текстиля: Elöde und Jörder H., Melliand Textilber 37 (1956), 422; окись индия (полупроводник): Rupprecht G., Z. Phys. 139 (1954), 504.
37. Hulburt E. O., Rev. Sci. Instr. 5 (1934), 85.
38. Z. Indstrkde 49 (1929), 174; Cartwright C. H., Rev. Sci. Instr. 1 (1930), 758; Newman F. H., Phil. Mag. 14 (1932), 1047; Blechschmidt E., Diss., Jena, 1926; Gwynne E., Foster E. W., J. Sci. Instr. 13 (1936), 216; Rouard P., Ann. de phys. et chim. 7 (1937), 291, рекомендует распылять Pt, Au и Ag в парах антрацена; Güntherschulze A., Z. Physik 141 (1955), 346 (Al, Si, Mn, Fe (Ni), Zr, Mo, Ta и W); см. также Schwindt J., D. B. P. (angem.) 1006691 (18.4.57) (одновременно и распылять). Изготовление светочувствительных CdS-слоев см. Helwig G. und König H., Z. angew. Phys. 7 (1955), 323; Wehner G. K., Advances in Electronics Physics 7 (1955), 239; окись индия (полупроводник) (в 50% Ar): Holland L., Siddall C., Vacuum 3 (1953), 375.
39. Kahler H., Phys. Rev. 18 (1921), 210.
40. Burns K., J. Opt. Soc. Am. 7 (1923), 419.
41. Bond W. L., J. Opt. Soc. Am. 44 (1954), 429.
42. Rimbart G., Lennuier R., Sojan J. L., C. R. (Paris) 241 (1955), 1560 (7 слоев RbJ на криолите).
43. Hass G., Schroeder H. H., Turner A. F., J. Opt. Soc. Am. 46 (1956), 36.
44. Kleep W., Ann. Phys., Leipzig (5) 11 (1931), 579; Сопп W. M., Naturwiss. 42 (1955), см. также 65; J. Opt. Soc. Am. 41 (1951), 445 (медная проволока толщиной 0,075 мм, длиной 25 мм); Кваршова И. Ф., Плютто А. А., Чернов А. А. и Бондаренко В. В., ЖЭТФ 30 (1956), 42.

§ 5. Тонкие пленки

- Espre W. und Knoll M., Werkstoffkunde d. Hochvakuumtechnik, Berlin — Göttingen — Heidelberg, 1956.
- Исчерпывающее сообщение о старых и новых методах изготовления листового металла; Müller C., Die Umschau 31

- (1927), 869, 901; о листовых металлах, ламеттах, тонких проволоках и др. см. Jones R. V., J. Sci. Instr. 13 (1936), 282; Brüche E., Schulze K. J., Metall 12 (1958), 21.
3. Fenner E., Z. techn. Phys. 20 (1939), 295.
 4. Schulze R., Phys. Z. 34 (1933), 27.
 5. Hast N., Nature 162 (1948), 892.
 6. Lauch K. und Ruppert W., Phys. Z. 27 (1926), 452.
 7. Müller C., Sitzungsber. Preuß. Akad. 1925, No. 25, 464.
 8. Bosworth R. C. L., Trans. Farad. Soc. 30 (1934), 554.
 9. Craig P. H., Phys. Rev. 25 (1925), 248.
 10. Strong J., Rev. Sci. Instr. 6 (1925), 243.
 11. Macaulay J. M., J. Roy. techn. Coll. 3 (1935), 353 определяет эту силу на единицу площади как 40 кг/см^2 .
 12. Benedicks C., Phys. Z. 32 (1931), 561.
 13. Knipp Ch. T., Nature 120 (1927), 156.
 14. Möllenstedt G., Optik 2 (1947), 276.
 15. Ackermann T., Optik 2 (1947), 280.
 - 15a. Bathow G., Vakuum-Techn. 5 (1956), 155.
 16. Schmidt-Ott H. D., Z. Phys. 69 (1931), 730.
 17. Hass G. und Kehler H., Koll. Z. 95 (1944), 26.
 18. v. Ardenne M., Friedrich-Fresksa H., Naturwiss. 29 (1941), 523.
 19. Evans U. R., Korrosion, Passivität und Oberflächenschutz von Metallen, Berlin, 1939, s. 55.
 20. Walkenhorst W., Naturwiss. 34 (1947), 373.
 21. Semmler E., Z. Metallkunde 34 (1942), 229.
 22. Böttcher A., Koll. Z. 100 (1942), 228.
 23. Hass G. und Kehler H., Optik 5 (1949), 48.
 24. Hass G., J. Am. Ceram. Soc. 33 (1950), 353.
 25. Gerould Ch. H., J. Appl. Phys. 18 (1947), 333.
 26. Thiele H., Forsch. u. Fortschr. 10 (1934), 408.
 27. König H., Z. Phys. 129 (1952), 491.
 28. Bradley D. E., Brit. J. Appl. Phys. 5 (1954), 65.
 29. Neuert H., Phys. Z. 36 (1935), 629.
 30. Прозрачность коллоидных пленок (толщиной 10^{-2} — $7 \cdot 10^{-2} \text{ мм}$) для катодных лучей (0,8—34 кэв) исследовали Ference M., Stephenson R. I., Rev. Sci. Instr. 9 (1938), 246.
 31. Kirchner F., Naturwiss. 18 (1930), 707.
 32. Ruska H., Naturwiss. 27 (1939), 287.
 33. Trenkrog W., Diss., Kiel, 1923.
 34. Schaefer V. J., Harker D., J. Appl. Phys. 13 (1942), 427.
 35. Beatty, Phil. Mag. 14 (1907), 604 согласно Geiger und Makower, Meßmethoden auf dem Gebiete der Radioaktivität, Braunschweig, 1920.
 36. v. Angerer E., Z. Instrkde 42 (1922), 1.

§ 6. Тонкие проволоки

1. Cleaver F. T., Miller H. J., J. Inst. Metals 78 (1954), 537; см. также Hofmann, Maschinenmarkt 61 (1955), No. 24, 7; Wistreich J. G., Engineer 199 (1955), 514.
2. Wistreich J. G., Wire and Wire Products 29 (1954), 515; Schultink L., Spier H. L., van der Wagt A. J., Phil. Techn. Rdsch. 16 (1954), 79, а также Ind. Diamond Rev.

- 16 (1956), 29; Schneider E. J., Wire and Wire Products 30 (1955), 1233.
3. Treptow K. H., Stahl u. Eisen 73 (1953), 1423 и в отдельном для Al: Bauzenberger W. B., Wire and Wire Products 30 (1955), 888; Wickwire Ch. F., Wire and Wire Products 30 (1955), 940; Cu, сталь: Christopherson D. G., Naylor H., Wire Ind. 22 (1955), 775, 885; Cu, Ni, стали: Perry H. W., Glass 30 (1953), 223 (стекло); сталь: Berkenhoff H., Stahl u. Eisen 73 (1953), 1391 (фосфатирование); Lueg W. und Treptow K. H., Stahl u. Eisen 74 (1954), 1334; см. также Wire Ind. 21 (1954), 1199 (мыло); неферрометаллы: Werner J., Wire and Wire Products 30 (1955), 1223; Wo: Thomson B., Nature (London) 176 (1955), 360; Ti: Wilson D. H., Wire and Wire Products 30 (1955), 1246; Ge: см. Schwz. P. 309986 (1.12.1955).
 4. Rostagni A., Phys. Z. 32 (1931), 565.
 5. Brüning H., Z. Instrkde 46 (1926), 29; ср. Benedicks C., Phys. Z. 17 (1916), 320.
 6. Boardman B. F., Rev. Sci. Instr. 9 (1938), 139.
 7. Waetzmann E., Gnielinski M. und Heisig H., Z. Phys. 58 (1929), 449; ср. также Suhmann R. und Clusius K., Phys. Z. 26 (1925), 913, а также Friese J. und Waetzmann E., Z. Phys. 34 (1935), 131.
 8. Leimbach G., Ann. Phys. 33 (1910), 308.
 9. Naeser G., D. B. P. (angem.) 1005812 (4.4.57).
 10. Bockris I. O. M., Parsons D. F., J. Sci. Instr. 30 (1953), 340; см. также Schmidt G., D. B. P. (angem.) 48a, 1/04. N 8165 (2.2.50) (перед обработкой протравой проволока покрывается веществом, замедляющим реакцию травления).
 11. Огерманн J., Feingeräte-Techn. 2 (1953), 472.
 12. Bittel H., VDI-Z. 97 (1955), 486.
 13. Jaquet P. A., Metall 8 (1954), 449. Для Cu и Fe: Farmer M. H., Glaysher G. H., J. Sci. Instr. 30 (1953), 9 (1 объемная часть 10% водного раствора $CuNH_4Cl$, 3 объемные части концентрированной соляной кислоты); сталь: Colner W. H., Feinleib M., Francis H. T., Metal Progr. 59 (1951), 795 (125 см³ 85% фосфорной кислоты, 30 см³ воды, 50 г лимонной кислоты, 10 см³ 95% этилового спирта); Th, U, Zr и вихром: Haines H. R., Mott V. W., J. Sci. Instr. 30 (1953), 459 (2 части хлорной кислоты (60%), 9 частей бутилового растворителя, 9 частей чистого спирта).
 14. Ранкове J. I., J. Sci. Instr. 32 (1955), 192.
 15. Evans J. C., Marriner R. S., Morgan I. G., Wire Ind. 19 (1952), 551; см. также Morgan I. G., Machinery 87 (1955), 1097.
 16. Lieb A., D. B. P. (angem.) 21g, 13/06. L 15448 (27.9. 56).
 17. Bruestle C. O., Wire and Wire Products 27 (1952), 565; 632 (лужение); см. также Wasserfuhr W., D. B. P. (angem.) 1000205 (3.1.57); Halls E. E., Plastics 18 (1953), 131 (электр. изоляция); см. также Electro-Mag. 6 (1954), Nr. 38, 24 (эмалирование); Kohi Ch., D. B. P. (angem.) 21c, 7/02. D 12344 30.5.56) (покрытие искусственными смолами, образующими пленки).
 18. Laderer H., D. B. P. (angem.) 7d, 2. L 11098 (5.4. 1956).
 19. Thomas E., D. B. P. (angem.) 1009586 (6.6.57).

§ 7. Тонкие нити

1. Ср. Volkman W., Phys. Z. 12 (1911), 30.
2. Boys C. V., Phil. Mag. 45 (1887), 487.
3. Keelley T. C., J. Sci. Instr. 1 (1924), 369. Различные методы изготовления кварцевых нитей, реферат: Z. Instrkde 45 (1925), 52. Исчерпывающие указания в книге: Стронг, Техника физического эксперимента, Гостехиздат, 1947.
4. Перусса Е., Z. Instrkde 47 (1927), 524.
5. Другие методы: Eberhardt E., Kern H. und Klumh H., Z. angew. Phys. 3 (1951), 209 (до 0,7 МК); Schellenmeier, Exp. Techn. Physik 3 (1955), 172 (исходный материал — кварцевый песок, 10 МК).
6. Reinkeber O., Phys. Z. 32 (1931), 243; 38 (1937), 112.
7. Schürkow S., Phys. Z. Sowjetunion 1 (1932), 123.
8. Singh L., J. Sci. Ind. Res. 11 (1952), No. 2, 63.

РАЗДЕЛ II. НЕКОТОРЫЕ ЛАБОРАТОРНЫЕ МЕТОДЫ

ГЛАВА I. АППАРАТУРА ДЛЯ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ

1. Newitt D. M., Chem. Ing. 3 (1939), 1; Deffet L., J. Phys. Radium 11 (1950), 489; Schrieder E., Konstruktion 5 (1953), 182; Schaub C., Jernkontorets Ann. 138 (1954), 53; Ford H., Génie Chem. 75 (1956), 137; Class I., VDI-Z. 97 (1955), 33 (вопросы выбора материалов); David H. G., Austr. J. Appl. Sci. 7 (1956), 327 (формула Лайнса, см. также Leinss, Engng 180 (1955), 132); см. также Comings [5].
2. v. Klitzing K. H. und Gieleßen J., Z. Phys. 146 (1956), 59.
3. Bridgman P. W., Proc. Amer. Acad. 72 (1940), 1; 74 (1942), 425; 76 (1944), 9; The physics of high pressure, London, 1952; Griggs D. T., Kennedy G. C., Am. J. Sci. 254 (1956), 722 (установка для высоких давлений (до 80 000 атм) и высоких температур (до 1000°C)); см. Johnson D. P., Bowman H. A., Cross J. L., Hill J. D., Ives J. S., ISA-J. 3 (1956), 241 (О-уплотнение); Coorey W., Petroleum Refiner 35 (1956), 189 (уплотнение металлических деталей при высоком давлении); Osterloh O., Maschinenbautechn. 6 (1957), 245 (О-уплотнение); Eller S. A., Rubber Age (N. Y.) 79 (1956), 455 (на основе синтетического каучука).
4. Schultze R., Die chemische Fabrik 13 (1940), 417.
5. Comings E. W., High pressure technology, London, 1956; см. также Tarrant G. T. P., J. Sci. Instr. 32 (1955), 191; Глухов Г. Г., Хим. промышленность (1957), 227.
6. Trenkler H., Techn. Mitt. Org. Haus d. Technik, Essen 50 (1957), 197.
7. Yoder H. S., Trans. Amer. Geophys. Union 31 (1950), 827.
- 7a. Steiner W., Konstruktion 9 (1957), 270 (кольцевое уплотнение из Cu—Be).

- 7b. Holborn L. und Schultze H., Ann. Phys. (4) 47 (1915), 1089.
- 7c. Y Comings [5], стр. 143.
8. Anson D., J. Sci. Instr. 32 (1955), 446.
9. Gieleßen J. und v. Klitzing K. H., Z. Phys. 145 (1956), 151.
10. Ebert H. und Gieleßen J., Ann. Phys. (6) 1 (1947), 229.
11. Techn. News Bull. NBS 39 (1955), 71.
12. Lazzarre F., Saurel J. R., Vodarb., J. Rech. 5 (1954), 320.
13. Johannin P., J. Rech. 5 (1954), 324.
14. Bridgman P. W., Proc. Amer. Acad. Arts and Sci. 74 (1940), 16.
15. Adams L. H., Williamson E. D., Johnston J., J. Amer. Chem. Soc. 41 (1919), 12.
16. Goranson R. W., Amer. J. Sci. 22 (1931), 481.
17. Birch Fr., Phys. Rev. 41 (1932), 641.
18. Poulter Th. C., Phys. Rev. 40 (1932), 870; Poulter Th. C., Ritchey C., Benz C. A., Phys. Rev. 41 (1932), 366.
19. Gieleßen J., Z. Instrkde 65 (1957), 77.
20. Ebert H., Phys. Z. 36 (1935), 388.
21. Drickamer H. G., Timmerhaus K. D., Tung L. H., Chem. Eng. Progr. 49 (1953), 503.
22. Techn. News Bull. NBS 40 (1956), 96.
23. Rosicarella M., Chem. Engng 62 (1955), 220.
24. Ziescke K. H., Chem.-Ing. Techn. 25 (1953), 104; Giguere P. A., Liu I. D., Canad. J. Technol. 34 (1957), 473 (корродирующие газы).
25. Holzmann Ph., D. B. P. (angem.) 84с, 3. H 22567 (25.10. 1956).

ГЛАВА II. АКУСТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

1. Kallenbach W. und Mühle W., VDI-Berichte 4 (1955), 24; также Mühle W., Frequenz 9 (1955), 1.
2. Springer M., Acustica 5 (1955), 279.
3. Lottermoser W., в PTR, Berlin, 1942, не опубликовано.
4. Haas H., Acustica 1 (1951), 49.
5. Schodder G. R., Schröder F. K., Thiele R., Acustica 1 (1952), AB 115.
6. Meyer-Eppler W., NWDR-Hausmitt. (1954), 77.
7. Gavreau V., Calora A., Acustica 6 (1956), 539.
8. Rieckmann P., Z. angew. Phys. 8 (1956), 386.
9. Pohlmann R., Z. Phys. 113 (1939), 697; Z. angew. Phys. 1 (1948), 181.
10. Schuster K., Jenaer-Jahrbuch 1951, 217.
11. Bennet G. S., J. Ac. Soc. Am. 24 (1952), 470.
12. Rust H. H., Angew. Chem. 64 (1952), 308.
13. Keck G., Acustica 6 (1956), 543.
14. Venzke G., Acustica 6 (1956), 2.
15. Furrer W., Lauber A., Acustica 2 (1952), 251.
16. Brüel, Kjaer, Level Recorder, Type 2301, Naerum, 1951.
17. Barrow W. L., J. Ac. Soc. Am. 11 (1939), 275.

18. Tamm K. und Hennecke U., Hochfr. Techn. 47 (1936), 133.
19. Weber W., Ak. Z. 4 (1939), 373.
20. Schodder G. R., Acustica 6 (1956), 447.
21. Trendelenburg F., Thienhaus E. und Franz E., Ak. Z. 3 (1938), 7.
22. Spandöck F., Acustica 6 (1956), 548.
23. Cremer L., Keidel L. und Müller H., Acustica 6 (1956), 467.
24. Trost A., Z. VDI 87 (1943), 352.
25. Firestone F. A., Nondestructive Testing 7 (1948), 5; Dugan J., Steel 12 (1947), 80; Smack J. C., Automot. Ind. 93 (1945), 32.
26. Gärtner W., Acustica 3 (1953), 124.
27. Claus B., Z. techn. Phys. 15 (1934), 74.
28. Öst. Pat. 174333 (3.6.1950).
29. Heidemann E. A., J. Ac. Soc. Am. 26 (1954), 831.
30. Seemann H. J., Staats H., Acustica 6 (1956), 325.
31. Schmid G. und Ehret L., Z. Elektrochem. 43 (1937), 869.
- 31a. Pohlman R., Wiss. Z. Ilmenau 3 (1957), 37; Roggen-dorf W., Metallwaren-Ind. Galvanotechn. 47 (1956), 102.
32. Neppiras E. A., J. Sci. Instr. 30 (1953), 72; Unterweiser P. M., Iron Age 178 (1956), No. 4, 56 (обработка металла ультразвуком).
33. Virchows Arch. 312 (1943), 346.

ГЛАВА III. ЗАЩИТА ОТ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ

1. Gesetz über den Betrieb von Hochfrequenzgeräten, GBl. d. Verwaltung d. Vereinigten Wirtschaftsgebietes No. 29, v. 24. 8. 1949, s. 235 und BGBl., s. 181.
2. VDE 0871, Teil 1/9. 52 «Regeln für medizinische Hochfrequenzgeräte und Anlagen». Änderungen in Teil 1a/12.53, Teil 1b/12.54, Teil 1c/1.56. VDE 0871, Teil 2/11.54 «Leitsätze für Hochfrequenzgeräte und-anlagen zur Wärmezeugung für andere als medizinische Zwecke». Änderungen in Teil 2a/12.55. VDE 0871, Teil 3/12.55 «Leitsätze für Hochfrequenzgeräte und-anlagen für Sonderzwecke». VDE 0875/11.51 «Regeln für die Funk-Entstörung von Geräten, Maschinen und Anlagen (ausgenommen Hochfrequenzgeräte)». VDE 0879/10.55 «Richtlinien für die Funk-Entstörung der Hochspannungs-Zündanlagen von Otto-Motoren».
3. VDE 0560, Teil 2 «Vorschriften für Berührungsschutz-Kondensatoren».
4. Bier M., ETZ-A (1956), s. 321 (защита от помех радиоприему).
5. Steiner K., Amtsbl. PTB 1956, S. 135, Nr. 2 (лабораторные помещения).
6. Lampe W. und Ferroni E., Phys. Z. 38 (1937), 637; Menn-erich W., ETZ 65 (1944), 6 (помехи радиоприему); Patzschke W., ETZ 65 (1944), 15/18. Kadon H., Die elektromagnetische Schirmung in der Fernmelde- und Hochfrequenz-technik, Berlin — Göttingen — Heidelberg, 1950; Reppisch, Handbuch der Funk-Entstörtechnik, Nürnberg, 1951; Deut sch

J. und Zinke O., Frequenz 7 (1953), 94; Entwicklungsber. S. u. H. 16 (1953), 185; Strobel G. und Scherenz H., Frequenz 7 (1953), H. 9; Seelmann F., Funk-Entstörung, Darmstadt—Berlin, 1954; Sodaro J. F., Shielding Nomograph, Electronics (1954), No. 5, 190; Mortenson K. E. and Traux C. J., Communication and Electronics No. 22 (Jan. 1956), 746.

7. Seiffert K., Kältetechn. 9 (1957), 163 (защита от охлаждения).

ГЛАВА IV. ЭЛЕКТРОННАЯ МИКРОСКОПИЯ

1. Подробное описание: v. Borries B., Die Übermikroskopie, Berlin, 1949; Mahl H., Elektronenmikroskopie, Leipzig, 1951; König H., Präparative Methoden der Elektronenmikroskopie, Erg. exakt. Naturwiss. 27 (1953), 188; Hall C. E., Introduction to electron microscopy, London, 1953; v. Ardenne M., Tabellen der Elektronenphysik, Ionenphysik und Übermikroskopie, Berlin, 1956.
2. Ruska H., Naturwiss. 27 (1939), 287.
3. Kehler H., Koch A. und Tesser K., Z. wiss. Mikroskopie 62 (1955/56), 521.
4. Newmann S. B., Borysco E., Swerdlow M., J. Res. Nat. Bur. Stand. 43 (1949), 183.
5. Общие методы: Mahl H., Erg. exakt. Naturwiss. 21 (1945), 262; Mikroskopie 11 (1956), 93—107; Brüche E., Metallwaren-Ind. Galvanotechn. 47 (1956), 385 (гальванотехника).
6. Ср. Mahl H., Korr. u. Metallsch. 20 (1943), 225.
7. Zworykin V. K., Ramberg E., J. Appl. Phys. 12 (1941), 692.
8. Heidenreich R. D., Peck V. G., J. Appl. Phys. 14 (1943), 23.
9. Hunder J. und Seeliger R., Metallforsch. 2 (1947), 65.
10. König H. und Helwig G., Z. Phys. 129 (1951), 491.
11. v. Borries B., Z. Phys. 116 (1940), 370.
12. Исчерпывающее описание в книге: Wyckoff R. W. G., Elektron Microscopy, New York — London, 1949.
13. Mahl H., Naturwiss. 30 (1942), 208.
14. Müller H. O., Koll. Z. 99 (1942), 6.

ГЛАВА V. ЗАЩИТА ОТ СОТРЯСЕНИЙ

1. Müller R., Ann. Phys. 1 (1929), 613; Z. Instrkde 51 (1931), 95; Becker E. R., Z. techn. Phys. 21 (1940), 195; также Harring J. A., Philips Research Reports 3 (1948), 401; 4 (1949), 49, 206, 261, 375, 407.
2. Lupfer D. A., Rev. Sci. Instr. 24 (1953), 1073; Gage D. G., Sullivan P., Analytic Chem. 28 (1956), 922 (стол для весов).
3. Julius, Wied. Ann. 56 (1895), 151; Z. Instrkde 16 (1896), 267; Ann. Phys. 18 (1905), 206.
4. Müller R., Ann. Phys. 1 (1929), 613; Z. Instrkde 51 (1931), 95.
5. Strong J., Phys. Rev. 57 (1931), 1565.
6. Becker E. R., Z. techn. Phys. 21 (1940), 195.

7. H o b b s G. M., Rev. Sci. Instr. 22 (1951), 118.
8. K a n t o r o w i c z C. P. T., J. Sci. Instr. 31 (1954), 28.
9. G e h r c k e E. und V o i g t B., Z. techn. Phys. 12 (1934), 684.
10. B a k e r S. C., J. Sci. Instr. 29 (1952), 299; 31 (1954), 71.

ГЛАВА VI. ВАКУУМНАЯ ТЕХНИКА

1. Хороший обзор литературы по технике высокого вакуума, начиная с 1927 г., содержат работы: E b e r t H., Die Physik in regelmäßigen Berichten 4 (1936), 93; 8 (1940), 81. См. также «Fortschritte der Vakuumtechnik» в Z. Glas und Apparat 1927—1943, 1944—1951; Glastechn. Berichte 23 (1950), 273, 304; 24 (1951), 152, 177; 25 (1952), 286, 324, а также Physik in Einzelberichten (1956), Nr. 1, 81.
2. D i e l s K. und J a e c k e l R., Leybold-Vakuum-Taschenbuch, Berlin, 1958; D u s h m a n S., Scientific foundations of vacuum technique, New York, 1949; E s p e W. und K n o l l M., Werkstoffkunde der Hochvakuumtechnik, Berlin, 1936; G ü t h r i e A., W a k e r l i n g R. K., Vacuum equipment and techniques, New York—Toronto—London, 1949; J a e c k e l R., Kleinste Drucke, ihre Messung und Erzeugung, Berlin, 1950; L a p o r t e H., Hochvakuum. Seine Erzeugung, Messung und Anwendung, 2. Aufl., Halle, 1957; M ö n c h G. Ch., Hochvakuumtechnik, Pößneck, 1950; W a g n e r G., Erzeugung und Messung von Hochvakuum, Wien, 1950; E l o n k a St., Power 101 (1957), No. 1, 120 (вакуумные насосы для больших установок).
3. E s p e W., Werkstoffkde d. Elektrotechn., Berlin, 1954, Füssen/Bayern, 1956 (ковар); S t e y s k a l H., Arbeitsverf. u. Stoffkde d. Hochvkt. Technologie d. Elektronenröhren, Phys. Schriften No. 3, Mosbach/Baden, 1955.
- 3a. U r r y G., U r r y W. H., Rev. Sci. Instr. 27 (1956), 819; R o b e r t s R. M., M a d i s o n J., J. Analyt. Chem. 29 (1957), 1555.
4. G a e d e W., Z. Naturforsch. 29 (1947), 233; B u r l e i g h Th. E., F r y e W. C., Vakuum-Techn. 6 (1957), 11.
- 4a. S t e e l C., S m i t h R. F., S u n n e r s B., J. Sci. Instr. 34 (1957), 125.
5. K u t s c h e r H., Z. angew. Phys. 7, 5 (1955), 229; L a t h a m D., P o w e r B., D e n n i s N. T. M., Vacuum 1 (1952), 133, 297; N o e l l e r H. G., Z. angew. Phys. 7 (1955), 218; H a e f e r R. und W i n k l e r O., Vakuum-Techn. 5 (1957), 149; R e i c h G., Z. angew. Phys. 9 (1957), 23.
6. P i a t t i L., Phys. Z. 31 (1931), 182; P u r p p W., там же 33 (1932), 530; M a r k s B. W., G r e b m e i e r J., Rev. Sci. Instr. 3 (1932), 294; O b r i s t J., Z. techn. Phys. 14 (1933), 543; B e c k H., там же 15 (1934), 221.
7. S c h w a r z H., ATM V 1344—2 (1951) и 3 — 5 (1952).
8. A l p e r t D., B u r i t z R. S., J. Appl. Phys. 25 (1954), 202; Y a r w o o d, J. Sci. Instr. 34 (1957), 297.
9. E b e r t H., Kompressionsvakuummeter, Heft 11d. Verfahrens- und Meßkde, Braunschweig, 1951.
10. J a e c k e l R., Kleinste Drucke, ihre Messung und Erzeugung, Berlin — Göttingen — Heidelberg, 1950.
11. D o w n i n g J. R., M e l l e n G. L., Rev. Sci. Instr. 17 (1946), 218; G i m e n e z G., L a b e y r i c J., J. Phys. Radium 64

- (1952), 12A; Sibley C. B., Rohrig R., *Electronics* 26 (1953), No. 11, 176; Kohl, J. *Instrumentation* 7 (1955), 27.
12. Turnbull A. H., U. K. Atomic Energy Res. Establ. Rep. G/R 478/March (1950); Biears J., Leck J. H., *J. Sci. Instr. Suppl.* 1 (1957), *Vacuum Physics*.
 13. См. также D ä l l e n b a c h W., D. R. P. 503073 und 554038.
 14. Thomas H. A., Williams H. A., Hipple J. A., *Rev. Sci. Instr.* 17 (1946), 368; Nier A. O., Stevens C. M., Hustrulid A., Abbot T. A., *J. Appl. Phys.* 18 (1947), 30; Jacobs R. B., Zuhre H. F., *J. Appl. Phys.* 18 (1947), 34.
 15. Goldbach G., *Vakuu-Techn.* 5 (1956), 166 (переносные насосы); Русе S. A., Брюсе W. Y., *Nature (London)* 179 (1957), 541; Penning F. M., Nienhuis K., *Philips' Techn. Rdschau* 11 (1949), 116; см. также Nelson H., *Rev. Sci. Instr.* 16 (1945), 273; Warnecke R. J., *Ann. Radioelectr.* 12 (1957), 258 (омегатрон).
 16. Исчерпывающие указания о расчете вакуумпроводов содержатся, например, в *Leybold-Vakuuhtaschenbuch*, Berlin—Göttingen—Heidelberg, 1958.
 17. Применение шаровых вентилей обсуждают Rubens, Hendersson, *Rev. Sci. Instr.* 10 (1939), 49; рефер. в *Feinmechanik und Präzision* 48 (1940), 12.
 18. Seydel G., *Z. techn. Physik* 16 (1935), 107.
 19. Schmitt O. H., *Rev. Sci. Instr.* 8 (1937), 68; Townes C. H., там же 9 (1938), 428; Jaesckel R. und Kammerer E., *Z. techn. Phys.* 23 (1942), 85.
 20. Jaesckel R., Schittko F. J., *Forschungsber.* 369, *Wirtsch. u. Verk. Mi Düsseldorf, Köln und Opladen*, 1957.
 21. О вакуумной скамье по аналогии с оптической скамьей, особенно для электронно-оптических целей, см. Boersch H., *Z. Phys.* 130 (1951), 517.
 - 21a. Smith H. R., 1955 *Vacuum Symposium Trans.*, 1956, 22.
 22. Huby J. W., *Phys. Z.* 39 (1938), 167.
 23. Josephy B., *Z. Instrkde* 47 (1927), 436.
 24. Durau F., *Z. Phys.* 89 (1934), 143.
 25. Strong J., Brice R. T., *Rev. Sci. Instr.* 8 (1937), 209; см. также Bogg W., *J. Sci. Instr.* 14 (1937), 412; Edwards W. L., Maxwell L. R., *Rev. Sci. Instr.* 9 (1938), 201.
 26. v. Meyeren W., *Z. techn. Phys.* 19 (1937), 281.
 - 26a. Reynolds F. L., *Vakuu-Techn.* 4 (1956), 181; см. также Adam [35b].
 - 26b. Wadey W. G., *Vacuum* 4 (1954), 53.
 27. Blechschmidt E., *Phys. Z.* 29 (1928), 441.
 28. Kunzl V. und Slavik J. B., *Z. techn. Phys.* 16 (1935), 272.
 29. Fowler R. D., *Rev. Sci. Instr.* 6 (1935), 26.
 30. Prytz K., *Ann. d. Phys.* 18 (1905), 617.
 31. Klose W., *Z. techn. Phys.* 12 (1931), 558.
 32. Wolf L. und v. Reichel S., *Z. Elektrochem.* 39 (1933), 143; см. об этом также Stock A., там же 39 (1933), 256.
 33. Dorn J. E., Glockler G., *Rev. Sci. Instr.* 7 (1936), 319.
 34. Smythe W. R., *Rev. Sci. Instr.* 7 (1936), 435.
 35. Bazzoni G. B., *Rev. Sci. Instr.* 8 (1937), 171.
 - 35a. Alpert D., *J. Appl. Phys.* 24 (1953), 860; Robinson N. W., *J. Sci. Instr.* 34 (1957), 121.

- 35b. Fetz H. und Schiefer, Z. angew. Phys. 9 (1957), 13; Adam H. A., Kaufman S., Liley B. S., J. Sci. Instr. 34 (1957), 123.
- 35c. Bloomer R. N., Brit. J. Appl. Phys. 8 (1957), 40.
- 35d. Jech C., Nature 178 (1956), 1343 (в особенности радиоактивные газы).
36. Foster J. S., Lofgren E. J., Vacuum 2, 3 (1953), 257; Davis R. B., Divatia A. S., Rev. Sci. Instr. 25 (1954), 1193; Schwarz H., Rev. Sci. Instr. 24 (1953), 371; Yarwood J., J. Sci. Instr. 34 (1957), 297; Comsa G., Musa G., J. Sci. Instr. 34 (1957), 291.

ГЛАВА VII. НАПОЛНЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ТРУБОК

1. Hübner R., Elektron. Rdsch. 10 (1956), 227; (пиллюльный метод); Theuß K., D. V. P. (angem.) 1014128 (22.8.57) - (из запасного сосуда с Hg).
2. Фабрикант В. А., Светотехника 1 (1955), № 6, 3.
3. Vardócsz A., Z. angew. Phys. 9 (1957), 82; Leifson S. W., Am. J. Phys. 24 (1956), 528 (ртутная спектральная лампа); Ulrich G. J., Z. angew. Phys. 5 (1953), 350 (ультрафиолет); Wilkinson P. G., Такака Y., J. Opt. Soc. Am. 45 (1955), 344 (ксеноновый источник света в ультрафиолетовой области).
4. Crosswhite H. M., Dieke G. H., Legagneur C. S., J. Opt. Soc. Am. 45 (1955), 270; Engelhard E., Wiss. Abh. PTB 8, 1 (1957), 6; Schüler H., J. Phys. Radium 15 (1954), 524; Khalafawi T. El., Johannin-Giles A. J., J. Phys. Radium 17 (1956), 372; Adams K. B., Burns K., J. Opt. Soc. Am. 46 (1956), 36 и 94. Baird K. M., Hart K. H., J. Opt. Soc. Am. 46 (1956), 304. ^{198}Hg -лампа по Meggers, Westfall; ^{86}Kr -лампа по Kösters, Engelhard; Burns K., Adams K. B., J. Opt. Soc. Am. 46 (1946), 94 (лампа Бизе для естественного Cd; лампа для ^{144}Cd); Hargreaves M. K., Nature (London) 179 (1957), 434 (Li).
5. Anderson L. F., Sylvania Technol. 7 (1954), 8; Warinholzt N., Appl. Sci. Res. (B) 1 (1950), 139 (для камеры Вильсона).
6. Grittner R., Der Photo-Händler 7 (1956), 258 (освещение фотолaborатории); Seitz E. O., Pharmaz. Ind. 15 (1953), 399 (лабораторная лампа); Nelson L. S., Chem. Engng News 34 (1956), 808 (ультрафиолет); Vardócsz A., Spectrochim. Acta 8 (1956), 152 (для спектрального анализа).

ГЛАВА VIII. МАГНЕТИЗМ

1. Kufmann A. und Albach W., Wiss. Abh. PTB 7 (1955), Teil I, 58.
2. Rosard J. M., Helv. Phys. Acta 29 (1956), 442.
3. Gumlich E., Leitfaden für magnetische Messungen, Braunschweig, 1918.
4. Strühal, Bagus, см. в Мейкин — Куфманн, Die ferromagnetische Legierungen, Berlin, 1932.

5. См., напр., Witt H., Z. Phys. 28 (1924), 238; Perfect D. S., J. Sci. Instr. 1 (1924), 321, 353.
6. Volkman W., Phys. Z. 12 (1911), 30, 76.
7. Bitter F., Phys. Rev. 54 (1938), 309; 75 (1949), 155.
8. Elmore W. C., Phys. Rev. 38 (1931), 1903; 41 (1932), 507; монокристаллы: Bates L. F., Martin D. H., Proc. Phys. Soc. (B) 69 (1956), 145.

ГЛАВА IX. ОПТИКА

1. Rohr H., Das Fernrohr für jedermann, 2. Aufl., Zürich, 1955. Очень хорошее описание шлифовки и полировки. Стронг Дж., Современная физическая лаборатория, М., 1947, гл. 2. Очень наглядное, богато иллюстрированное описание шлифовки и полировки. Ingalls A. G., Amateur Telescope Making I—III, New York, 1954, 1955, 1957; Dévé Ch., Le travail des verres d'optique de précision, Paris, 1949; Twyman F., Prism and lens making, 1952, 2. Aufl., London, 1952; Halle B., Handbuch der praktischen Optik, 3. Aufl., Berlin, 1928; Texereau J., How to make a telescope, New York, 1957.
2. Технику расщепления, резания и полировки щелочгалоидных кристаллов описывают Lord R. C., McDonald R. S., Miller F. A., J. Opt. Soc. Am. 42 (1952), 149; см. также Slowinski E. J., J. Opt. Soc. Am. 44 (1954), 342; 47 (1957), 1034.
3. Исследование большого числа синтетических замазок см. Bessé Y., Demarcq J., Revue d'Optique 35 (1956), 21. Среди упомянутых там материалов (36 (1957), 476) легко получить аральдиты (например, 103 с затвердителем 951, для деталей с высокими температурными требованиями также затвердитель 930). Хорошо применять также палатал ЕК 269/1 с затвердителем К 269/2, принадлежащий к той же химической группе. Смешивая эти смолы, можно при необходимости изменять в определенных пределах коэффициент преломления.
4. Bünnage I R., Opt. Acta 3 (1956), 81.
5. Hoffmann K., Z. Phys. 14 (1923), 301.
6. Cartwright C. H., Z. Phys. 90 (1934), 480.
- 6a. Hevesy G. V. und Somiya T., Z. phys. Chem. (A) 171 (1934), 41.
7. Pfund A. H., Rev. Sci. Instr. 1 (1930), 397; Phys. Rev. 35 (1930), 1434; J. Opt. Soc. Am. 23 (1933), 375.
8. Burger, van Cittert, Z. Phys. 66 (1930), 210.
9. Roess, Dacus, Rev. Sci. Instr. 16 (1945), 170.
10. Aiken, Carter, Phillips, Rev. Sci. Instr. 17 (1946), 380.
11. Harris L. и др., J. Appl. Phys. 19 (1948), 791; J. Opt. Soc. Am. 38 (1946), 582; 42 (1952), 134; 46 (1956), 160.
12. Plyler, Ball, J. Opt. Soc. Am. 38 (1948), 988.
13. Korte H., v. Schmidt M., Lichttechn. 6 (1954), 84; кривую ремиссии MgO в зависимости от угла наблюдения при перпендикулярном падении света см. Kohlrausch I., Prakt. Physik (1955), 24, 862.
14. Wallace R. J., Astrophys. J. 22 (1905), 123 (цит. по реферату Hartmann J., в Z. Instrkde 26 (1906), 92).

15. Weber A. P., в Bericht über den VIII. internationalen Kongress für wissenschaftl. und angew. Photographie in Dresden (Leipzig, 1932), с. 335.
16. Glaser L. C., Z. techn. Phys. 7 (1926), 31.

ГЛАВА X. ФОТОГРАФИЯ

1. v. Angerer E., Wissenschaftl. Phot., eine Einführung in Theorie und Praxis, 3. Aufl., Leipzig, 1943, см. также B o t h e r e l D. A., Lab. Pract. 4 (1955), 416.
2. Eggert J., Einführung in die Röntgenphotogr., 6. Aufl., Hirzel, Leipzig, 1936 (устройство фотокабины, главным образом для рентгенографии).
3. Arens H. und Eggert J., Z. wiss. Phot. 24 (1926), 230; также van Liemp t J. A. M., van Krevel d A., Physica 5 (1938), 346 (см. также ASA (Amer. Standard)—Nerm, Z. 38. 13. 8. 1950) освещение фотокабины.
4. См. также L ü h r F. und N ü r n b e r g A., Agfa-Rezepte, Filmfabrik Agfa-Wolfen, 1951 — Dunkelkammerschutzfilter, s. 134, 60 (продажные фотоматериалы).
5. См. также ASA, Ph. 2, 1953 (сенситметрическая фотобумага).
6. См. также Am. Stand. Method for determining Phot. Speed and Expos. Index, ASA, Ph. 2.5—1954 или Brit. Stand. (B. S.) No. 1380 (1947); также франц. станд.: PN S. 20—002 (AFNOR—Association Française de Normalisation).
7. Progress in Photography, 1940—1950, The Focal Press, London—New York, v. 1, 200; Teucher M., Ergb. exakt. Naturwiss. 28 (1955), 407.
8. [7], v. 2, 1951—1954, 201; здесь также приведена литература по затворам, теневого методу (209), ячейкам Керра (203), источникам света (38).
9. См. также Н ö r t m a n n H. und S c h o r r e g E., Veröff. Agfa VI (1939), 108 и д., 118 (пластинки с малым содержанием желатины); 123 (астрономические пластинки).
10. Deutsche Normen, DIN 4512 vom November 1957; Beuth-Vertrieb, GmbH., Berlin W 15 und Köln.
11. См. также ASA, Ph. 2.6—1954; спектральная чувствительность и т. д.
12. См. [4]. Интересующиеся могут непосредственно обращаться к «Agfa»-Photofabrik, Leverkusen-Bayerwerk; Perutz, München; Kodak, Stuttgart-Wangen; Iford, London; Gevaert, Antwerpen.
13. Arens H., Veröff. Agfa, III (1933), 19.
14. См. также ASA, Ph. 2.8—1956 (промышленные рентгеновские пленки до 2 Mэв); см. также ASA, Ph. 2.9—1956 (рентгеновские медицинские пленки).
15. См. также F r i e s e r H., Körnigkeit und Auflösungsvermögen, в Ergeb. der angew. phys. Chemie, Bd. VI, 1940. Akad. Verl. Ges. Leipzig, und Fortschr. d. Photogr., Bd. III (1944), 73/109; новые работы в Phot. Korr. 91 (1955), 61—77 и д.
16. M o h r H., Veröff. Agfa-Wolfen VIII (1954), 134 и д.
17. L a n i u s K., Veröff. Agfa-Wolfen VIII (1954), 116 (там же см. дальнейшую литературу); см. также L o h m a n n W., Z. Naturforsch. 11a (1956), 592 (механизм регрессии изображения).
18. S t e v e n s G. W. W., Kodak-Berichte, Bd. XXIX (1947), 254.

19. Eggert J., Z. f. Elektrochemie 59 (1956), 353; 60 (1956), 71.
20. Dersch F. und Dürr H., Veröff. Agfa, V (1937), 150.
21. Schwankl P., Naturwiss. (1956), 153.
22. Sease V. B., Brit. Journ. Photogr. 82 (1935), 425.
23. См. также Stenger E. und Staude H., Fortschr. d. Photographie, Leipzig, 1938.
24. См. также Jeschke J., Bild und Ton 6 (1953), 276.
25. Schulze W., Farbenphotogr. und Farbenfilm, Springer, Berlin—Göttingen—Heidelberg, 1953.
26. Schneider W., Wilmanns G., Veröff. Agfa, V (1937), 29.
27. См. также ASA, Z. 38. 2.6. 1948 (фотоэлектрический измеритель освещенности).

ГЛАВА XI. МЕТОДЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ

0. Oppelt W., Hdb. techn. Regelvorgänge, Weinheim/Bergstr. 1956; Schuler M., Theorie selbsttätiger Regler, Techn.-Phys. Monographie 9, Leipzig, 1956; регулирование ядерных реакторов: Whitehead W. D., Lamonda H. A., Automatic Control 4 (1956), 20; регулирование химических процессов: Hasselt N. J., Brit. Chem. Engng 2 (1957), 313; Fraser R. P., Eisenklam P., Dombrowski N., Brit. Chem. Engng 2 (1957), 414.
1. Barkhausen H., Phys. Z. 13 (1912), 1131. Далее: Lütjen A., ETZ 63 (1942), 409; Wittekind R., ETZ (A) 75 (1954), 777 (приводы Леонарда).
2. Kelsall R. H., J. Instr. Electr. Engr. (N.S.) 1 (1955), 628—632; см. также Völz H., Elektron. Rdsch. 11 (1957), 55.
3. Engel, Walter, D. B. P. (angem.) 1003840/1957; см. также D. B. P. (angem.) 1012992 (1.8.57) и А вен О. И., Де м и д е н к о Е. Д., Д о м а н и ц к и й С. М. и К р у г Е. К., Автоматика и телемеханика 17 (1956), 238.
4. Egli R. A., Chimia (Zürich) 10 (1956), 40 (регулятор давления газа для газовых горелок).
5. Wehl A. F., Mech. Engng 76 (1954), 571 (технические гидравлические аккумуляторы).
6. Holm C. B., D. B. P. (angem.) 479, 45/04 H10 355 (15. 3. 56) (жидкость в резервуаре со сжатым воздухом и находящаяся под его давлением).
7. Cohen-Schutt, Piezochemie kondensierter Systeme, Leipzig, 1949, см. также Тоеллер Н., Chem. Ing. Techn. 22 (1950), 502.
8. Поршневой манометр фирмы Сименс и Гальске, разработанный для регулирования давления пара в котле.
9. Koch W., Forschung 3 (1932), 1 (комбинация дифференциального поршневого манометра с пружинными весами).
10. Witte R., Druck- und Differenzdruckmessung, В «Messen und Regeln in der Chemischen Technik», Springer, 1957, 368.
11. См. также Engng 182 (1956), 689.
12. Huntress E. H., Hersberg E. B., Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 5 (1933), 144.
13. Coulson E. A., Warner R. J., J. Sci. Instr. 21 (1944), 122.
14. Hersberg E. B., Huntress E. H., Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 5 (1933), 342.

15. Palkin S., Nelson O. A., Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 6 (1934), 386.
16. Jacobs G. W., Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 7 (1935), 70.
17. Gilmont R., Othmer D. F., Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 15 (1943), 641.
18. Tompa H., J. Sci. Instr. 33 (1956), 82.
19. Clow A., Shand A., J. Sci. Instr. 16 (1939), 354.
20. Emerson R. L., Woodward R. B., Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 9 (1937), 347.
21. Caldwell M. J., Barham H. N., Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 14 (1942), 485.
22. Herning D. F., Phys. Rev. 99 (1955), 634 (краткий отчет).
23. Davis W., Rosen F. D., Rev. Sci. Instr. 23 (1952), 332.
24. Thelin J. H., Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 13 (1941), 908.
25. Bailey A. J., Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 5 (1943), 283.
26. Schierholz O. J., Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 7 (1935), 284.
27. Gilmont R., Ind. Eng. Chem. Anal. Ed. 18 (1946), 633.
28. Melpoder P. W., Ind. Eng. Chem. 19 (1949), 617.
29. Smith R. A., Rev. Sci. Instr. 11 (1940), 120.
30. Нотт Л., Proc. Nat. Acad. of Amer. 15 (1931), 548.
31. Другие устройства для поддержания постоянного давления предложены Nisbet J. S., J. Sci. Instr. 26 (1949), 271; Wilson W., J. Sci. Instr. 26 (1949), 119. Дальнейшее сопоставление см. Mönch G. C., Hochvakuumtechnik, Рөвлек, 1950, 294; Tompa H., J. Sci. Instr. 33 (1956), 82.
32. Kiefer W., Werkstatt u. Betrieb 87 (1954), 222 (лабораторные, измерительные и испытательные помещения); Industrie-Anz. 78 (1956), 1033 (обзор); Baumgarten W., Werkstattstechn. u. Maschinenbau 44 (1954), 509 (измерительные и испытательные помещения); Mauser W., Heizung-Lüftung-Haustechn. 6 (1955), 41 (индустриальное производство); Preuß L. E., Nucleonics 14 (1956), No. 4, 98; Brandi O. H., VDI-Z. 98 (1956), 532, 589.
33. См. также Morey G. W., Chen W. T., J. Am. Chem. Soc. 78 (1956), 4249.
34. Ebert H., Heizung und Lüftung 11 (1937), 5; Z. angew. Phys. 1 (1949), 487.
35. Pohl W., J. Inst. Petrol. 36 (1950), 436.
36. Görling P., Chem.-Ing. Techn. 29 (1957), 170.
37. Ebert H. und Schuster M., Lebensmittelind. 2 (1950), 174; Bochmann G., Mentzel G., Vergleich verschiedener Standardverfahren zur Wassergehaltsbestimmung von Getreide, Müllerei 10 (1957), 485; Ach K.-H., Über meßtechnische Probleme bei der Feuchtigkeitsbestimmung von Getreide, Die Mühle 94 (1957), 279; Ach K.-H., Einige Faktoren, die das Meßergebnis bei Feuchtigkeitsbestimmern von Getreide beeinflussen können, Amtsblatt der PTB 1957, 115—116, Nr. 2.
38. Merz A., Werkstoffe und Korrosion 1 (1950), 263; Brecht W. und Körner L., Papier 5 (1951), 182; Clegg R. R., Chem. Trade J. Chem. Engr. 128 (1951), 331.
39. Kegel K., Z. VDI 91 (1949), 25; Müller H., ETZ 71 (1950), 287.
40. Chem. Age 64 (1951), 559.
41. Schneible Cl. B., F. P. 965319/50.
42. Skaupe F., Z. Elektrochem. 49 (1943), 186.

43. Longini R. L., J. Appl. Phys. 21 (1950), 81; Lyle R. E., Science (Wash.) 120 (1954), 899; Gibb Th. R. P., Analyt. Chem. 29 (1957), 584.
44. Brück L., Funk und Ton, 1949, H. 4, 224/229.
45. Deike S., Radiomentor, 1952, № 12, 598/601.
46. Henning H., Regelungstechn. 1 (1953), 11, 36; Benson F. A., Electron. Engng 25 (1953), 160, 202; Mackenzie R. B., Proc. IEE 79 (1954), 59; см. также Radiomentor 20 (1954), 72 (стабилизаторы на 1,5 вольта); Mevel J., J. Phys. Radium 15 (1954), 290; Jaskula H.-W., AEG-Mitt. 45 (1955), 82; Hayward R. K., Electron. Engng 27 (1955), 304; Jaskula H. W., ETZ-B 8 (1956), 298/300; Stephens R. B., Philips Techn. Rdsch. 17 (1955), 170; Bescedies G., Elektrotechn. und Maschinenbau 73 (1956), 415; Hutler V., Chem. Listy 50 (1956), 1503 (лабораторный стабилизатор напряжения).
47. Henning F., Temperaturmessung, Leipzig, 2. Aufl., 1955.
48. Schneider J. und Richter H., Österr. Chem.-Ztg. 57 (1956) от 21.1.
49. White L. M., Ind. Eng. Chem. 19 (1947), 432.
50. Scheibe A., Piezoelektrizität des Quarzes, Leipzig, 1938.
51. Особые мешалки: Lagerstedt S., Experientia (Basel) 12 (1956), 194 (для пробирок); Shellman V. R., Magerlein B., J. Analytic. Chem. 28 (1956), 1359; Backer G., D. B. P. (angem.) 1016037 (1952/1957) (для лабораторных целей).
52. Moser H. und Mazzyński A., Phys. Z. 40 (1939), 222, 1359 (под давлением); Hickey H. A., A. P. 2780444 (5.2. 57) (для стерильных процессов).
53. Zimmermann, Gasdruckrelais, D. B. P. (angem.) 21c, 40/05 L 19 968 vom 6. 9. 56; Алексеев Н. Г., Прохоров В. А., Журн. физ. хим. 30 (1956), 1144 (дифференциальные фотореле).
54. Напр., Blattmann E., Temperaturregler für elektrische Wärmegeräte, D. B. P. (angem.) 21h, 13/10, S. 42 836 vom 28.6.59; Schaefer H., Bimetalltemperaturregler, D. B. P. (angem.) 1002148 (A 6 Z 1) 42q, 2/04, L 17 439 vom 7. 2. 57.
55. Klostermann B., D. B. P. (angem.) 42q, 2/02. L 19 236 vom 12.4.56; Kremser H., D. B. P. (angem.) 42q, 2/02. H 18896 vom 6. 5. 56.
56. Martin W. R. B., J. Sci. Instr. 26 (1949), 412.
57. Напр., Köhler H., D. B. P. (angem.) 42q, 2/06, L 18 525 vom 23.2.56; Funke Gebr., D. B. P. (angem.) 42q, 2/06 F 17 041 vom 31.12.56; Gesellschaft für elektrische Anlagen AG., Fellbach b. Stuttgart, D. B. P. (angem.) 21h, 13/11, G 11055 vom 30.5.56.
58. Bürkert Chr., D. B. P. (angem.) 42q, 3/02, B 28 140 vom 13.12.56.
59. Bürkert Chr., D. B. P. (angem.) 1003877 (A. 4, Z 2) vom 7. 3. 57.
60. Jogarao A., Papa A. R., J. Sci. Industr. Res. (New Delhi) 14B (1955), 306.
61. Stokes R. H., J. Sci. Tech. B27 (1945), 75.
62. Linnel, Haendler, Phys. Rev. 20 (1949), 364. Bailey R., Electron. Engng 25 (1953), 374, Sucher J., Anker H. S., Rev. Sci. Instr. 20 (1949), 321; Rau R. S. N., J. Sci. Instr. 31 (1954), 264.

63. K a n g r o W., Z. Elchem. 34 (1928), 253.
64. C h r i s t y R. W., J. Sci. Instr. 33 (1956), 365; K o m a t s u W., J. Chem. Soc. Japan, pure Chem. Sect. 78 (1957), 340.
65. H u t s c h i n s o n P., P u l s f o r d E. W., W h i t e A. G., J. Sci. Instr. 31 (1954), 420.
66. W i l s o n W. u n d S t o n e N. W. B., J. Sci. Instr. 34 (1957), 327.
67. K r e t z m a n n R., Elektron. Rdsch. 9 (1955), 17.
68. M o s e r H., Z. techn. Phys. 13 (1932), 384.
69. N o l t i n g k B. E. a n d S n e l l i n g M. A., J. Sci. Instr. 30 (1953), 349.
70. D. B. P. (angem.) 1005644 (A 2, Z 2) vom 4. 4. 57.
71. H a a k e G e b r., Z. Instrkde 65 (1957), 199.
72. J a m e s W., J. Sci. Instr. 31 (1954), 23.
73. U m s t ä t t e r H., Chem. Ing. Techn. 21 (1949), 342.
74. Термосбаты фирмы В. Браун, Мельсungen.
75. H a a k e P., D. B. P. (angem.) 42i, 12/01, h 24 366 vom 22.3.56; H o p p l e r F., D. B. P. (angem.) 42i, 12/01, H 11756 vom 6.9.56.
76. T h o m a s Ch. L., A g l o f f G., A high temperature thermostat, в Temperature, New York, 1941.
77. K o f l e r L. u n d K o f l e r W., Mikrochemie 34 (1949), 374.
78. B a r b e r C. R., H a n d l e y R., H e r i n g t o n E. F. G., Brit. Journ. Appl. Phys. 5 (1954), 41; M o s e r H., Ann. d. Phys. 1 (5) (1929), 341; M o s e r H., Ann. d. Phys. 6 (5) (1930), 332.
79. E b e r t H., Z. Instrkde 65 (1957), 37; M c C a l l N. H., Heating Air Treatment Engr. 18 (1955), 45, 70, 91 (охлаждающие вещества).
- 79a. F e l d M., K l e i n F. S., J. Sci. Instr. 31 (1954), 474; S h e r w o o d J. E., Rev. Sci. Instr. 23 (1952), 446; L o u n s b u r g M., Rev. Sci. Instr. 22 (1951), 533; F r e d M. S., R a u h E. G., Rev. Sci. Instr. 21 (1950), 258; Q u i n n e l l E. H., F u t c h A. H., Rev. Sci. Instr. 21 (1950), 400.
80. H e n n i n g F., Z. Instrkde 33 (1913), 33.
81. R i e s c h R., D. B. P. (angem.) 17a, 21 C 7 461 vom 24. 5. 56.
82. R u h E. L., C o u k l i n G. E., C u r r a u J. E., Ind. Engng Chem. Anal. Ed. 17 (1945), 451.
83. K e y e s F. G., T o w n s h e n d B., Y o u n g L. H., Math. Phys., Mass. Inst. Technol. 1 (1922), 243.
84. S c o t t R. B., B r i c k w e d d e F. G., Bur. Standard J. Res. 6 (1931), 406.
85. G i l c h r i s t A., Rev. Sci. Instr. 26 (1955), 773.
86. J u s t i E., Z. Naturf. 7a (1952), 692; J u l i s J., H o d e k J., Postler M., Chem. Listy (чехосл.) 50 (1956), 320.
87. A d e n s t e d t H., Ann. Phys. Leipzig (5) 26 (1936), 69.

ГЛАВА XII. МЕТОД ТЕПЛЕРА

1. S c h m i d t E., Z. VDI 74 (1930), 1487; W o l t e r H., Hdb Phys. (Flügel) 24 (1956), 555.
2. H a r i h a r a n P., J. Sci. Instr. 45 (1956), 506.
3. T o e p l e r A., Beobachtungen nach einer neuen optischen Methode, Bonn, 1864; Ostwalds Klassiker No. 157, 158, Leipzig, 1906; C a n a c F., Acustica (Zürich) 4 (1954), 320.

4. D i n g e r K., *Glastechn. Ber.* 27 (1954), 287.
5. Примеры практического применения теневого метода, а также возможности количественных оценок см. в S c h a r d i n H., *Die Schlierenverfahren*, Bd. 20 der *Ergb. d. exakt. Naturwiss.*, 1942; дальнейшая литература: D v o r a k V., *Wiedemanns Ann.* 9 (1880), 502; S c h a r d i n H., *VDI-Forschungs-Hefte* 367 (1934); W o l t e r H., *Ann. Phys. (Leipzig)* (6) 8 (1950), 1; B u r t o n R. A., *J. Opt. Soc.* 41 (1951), 558; G r u m e r J., *J. Am. Rocket Soc.* 26 (1956), 481 (для турбулентных пламен); C h u l - S o o K., O s h i m a K., *J. Phys. Soc. Japan* 11 (1956), 178 (ударные волны); T r a u t m a n R., *J. Phys. Chem.* 60 (1956), 1211 (ультрацентрифуга); E d e l s H., W h i t t a k e r D., *Proc. Roy. Soc. (A)* 240 (1957), 54 (дуговой разряд); B l o u n t, G.-H., J o r d a n G. M., *ISA-J* 4 (1957), 216.

ГЛАВА XIII. ОБРАЩЕНИЕ С РАЗЛИЧНЫМИ УСТРОЙСТВАМИ

1. W i t t e n b e r g e r W. und E k e l u n d A., *Chem. Ztg.* 74 (1950), 705.
2. P a r k s B. H., *J. Sci. Instr.* 29 (1952), 133.
3. S i p p e l A., *Melliand Textilber.* 35 (1954), 831.
4. B r a i d P. E., L a n g i l l e R. C., A r m s t r o n g A. M., *Canad. J. Techn.* 34 (1956), 45; H a a s e H. und H a r d t k e B.-H., *Chem.-Ing. Techn.* 29 (1957), 814.
5. Полировальная паста PC-52 с добавлением смазывающего вещества см. *Chem. Engng News* 35 (1957), 84.
6. S t r a u b e l H., *Z. Elektrochem.* 60 (1956), 1033.
7. D a h l b e r g R., *Naturwiss.* 43 (1956), 10.
8. B u c k h o l z E. E., *Canad. J. Technol.* 34 (1957), 399.
9. P a n k o v e J. I., *J. Sci. Instr.* 32 (1955), 192.
- 9a. M i t z n e r B. M., *Chemist-Analyt.* 45 (1956), 53; E r - w o o d E. J., *Manual Chem. Engng Shortcuts and Calculations*, 1B (1955), 105.
10. G e s e l i u s R. J. E., *Rev. Sci. Instr.* 21 (1950), 886.
11. W i c h m a n n H. J., *D. B. P. (angem.)* 21e, 25/01. M 16 789 (1952/56); F ö r s s e l l H., *D. B. P. (angem.)* 21g, 13/10 A 22645 (1955/56).
12. S a y c e L. A., *J. Sci. Instr.* 32 (1955), 11; K o l l e r A., *D. R. P.* 768107 (1938/1955); G u n d l a c h K., *D. B. P.* 918608 (1941/1954).
13. O h l h e r g St., *Analyt. Chem.* 27 (1955), 2016.
14. G a d o t M. E., *F. P.* 1115934 (2.5.56).
15. *Techn. Rdsch. (Bern)* 49 (1957), No. 24, 33.
16. R o e p e r E., *Industrie-Anz.* 76 (1954), No. 92, 6.
17. *Engrs. Digest* 16 (1955), 557.
18. *Management Digest* 12 (1957), No. 3, 8.
- 18a. M a r k s R., *Rev. Sci. Instr.* 28 (1957), 381.
- 18b. *См. Techn. Rdsch. (Bern)* 49 (1957), No. 40, 27; H i e s t e r N. K., S e a r e y A. W., B r e w e r L., *Chem. Engng* 63 (1956), 173.
- 18c. F r a n k F., *Chem. Engng* 65 (1958), 152.
19. P e t e r s e n L., *F. P.* 1011095 (18. 6. 52).
20. K o h l e r A. S., *Metall Finishing* 54 (1956), No. 7, 44.
21. D a v i e s D. A., *J. Sci. Instr.* 33 (1956), 501.

РАЗДЕЛ III. НЕКОТОРЫЕ ПРИБОРЫ И ПРИНАДЛЕЖНОСТИ К НИМ

ГЛАВА I. АКУСТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

1. Trendelenburg F., Einführung in die Akustik, Berlin—Göttingen—Heidelberg, 1950; Bergmann L., Der Ultraschall, 1954 (есть русский перевод); Bergnek L., Acoustic Measurements, New York—London, 1950 (есть русский перевод); Cremer L., Die wiss. Grundlagen der Raumakustik, Bd. 1, 3, 1948, 1950; Richardson E. G., Ultrasonic Physics, London—New York, 1952; Richardson E. G., Technical Aspects of Sound, London—New York, 1957, v. I, II; Bartels H., Grundlagen der Verstärkertechnik, 1954; Feldtkeller R., Einführung in die Siebschaltungstheorie der elektr. Nachrichtentechnik, 1950. Журналы: Acustica; Journal of the Acoust. Society of America.
2. Buchmann G., Acustica 4 (1954), 63.
3. V. Schmöller F., Telefunken-Z. 7 (1934), 47; Olson F., J. Ac. Soc. Am. 16 (1944), 1.
4. Helmbold J. G., Akust. Z. 2 (1937), 256; Buchmann G. und Kumpf Müller K., FTZ 4 (1951), 253.
5. Kuhl W., Acustica 4 (1954), 82.
6. Kuhl W., Schodder G. R., Schröder F. K., Acustica 4 (1954), 519.
7. Harz H. und Kösters H., NWDR-Hausmitt. 3 (1951), 205; см. также Radiomentor 18 (1952), 320.
8. Kuhl W., Zosel J. M., Acustica 6 (1956), 474.
9. De Miranda J. R., Acustica 4 (1954), 39.
10. Kalusche H., Siemens-Z. 26 (1952), 39; Siemens-Rdf.-Nachr. 2 (1950), 18.
11. Olson H., Preston J., Cunningham P. H., RCA-Rev. (1949), 49a.
12. Gleffken W. und Keibs L., Ann. Phys. (5) 16 (1933), 404; Cook R. K., J. Res. Nat. Bur. Stand. 25 (1940), 489; Rietz P., Acustica 6 (1956), 251.
13. V. Békésy G., Ann. Phys. (5) 25 (1936), 413.
14. Palaiologos K., Z. Phys. 12 (1923), 375.
15. Klein S., Acustica 4 (1954), 77.
16. Kock W. H., Harry F. K., J. Ac. Soc. Am. 21 (1949), 471.
17. Meier H. E., Phys. Z. 35 (1934), 524.
18. Hartmann J. und v. Mathes P., Ak. Z. 4 (1939), 126.
19. Ehret L. und Hahnemann H., Z. techn. Phys. 23 (1942), 245.
20. Janowski W. und Pohlman R., Z. angew. Phys. 1 (1948), 222.
21. Levavasseur G., Gavreau V., Centre de Recherches sci. industr. et maritimes 32 (1951).
22. Porter R. W., Chem. Engng 55 (1948), 100.
23. Kunze W., D. R. P. Nr. 632249 (1934).
24. Pierce G. W., Proc. Am. Acad. Boston 63 (1928), 1.
25. Menges K., Ak. Z. 5 (1940), 90.
26. Camp L. W., J. Ac. Soc. Am. 20 (1948), 225, 289.

27. Островский Е. П., ДАН СССР (1937), 491; Gaines N., Physics (1932), 209.
28. Thiede H., Ak. Z. 15 (1943), 20.
29. Cady W. G., Piezoelectricity, New York, 1946 (есть русский перевод); Scheibe A., Piezoelektrizität des Quarzes, Dresden—Leipzig, 1938.
30. Соколов С., Журн. техн. физ. (1935), 522.
31. Dobelli A. C., Acustica 6 (1956), 346.
32. Hiedemann H. und Seifen N., Z. Phys. 91 (1934), 413.
33. Langevin M. P., Rev. hydrogr. Bur. Internat. Monaco (1924), 39.
34. Bergmann L., Ann. Phys. (5) 21 (1934), 553.
35. Gruetzmacher J., Z. Phys. 96 (1935), 342.
36. Bhagavantam S., Bhimasenachar J., Proc. Ind. Acad. Sci. (1944), 298.
37. Levi F., Phillip H., J. Helv. Phys. Acta 21 (1948), 233.
38. Gollmicck H. J., Dissertation, Berlin, 1940.
39. Bechmann R., Naturwiss. 21 (1933), 752.
40. Bez-Bardili W., Z. Phys. 96 (1935), 761.
41. Eucken A. und Becker R., Z. phys. Chem. B 27 (1934), 219.
42. Gruetzmacher J., Z. techn. Phys. 17 (1936), 166.
43. Giacomini A., Nuovo Cim. (1939), 39.
44. Gavreau V., Miane M., Acustica 4 (1954), 387.
45. Shaw E. A. G., J. Ac. Soc. Am. 28 (1956), 38.
46. Gray A. L. und Herbert J. M., Acustica 6 (1956), 229.
47. Mühe W., Frequenz 9 (1955), 1; Conway E. J., Biochem. J. 64 (1956); Rogoff M. H., Golden P. L., Rosa C., Rev. Sci. Instr. 27 (1956), 413, 478.
48. Wente E. C., Phys. Rev. 10 (1917), 39.
49. Riegger H., Wiss. Veröff. Siemens, 3, 2 (1924), 67; Trendelenburg F., Wiss. Veröff. Siemens, 3, 2 (1924), 43; 5, 2 (1926), 120.
50. Zaalberg v. Zelst J. J., Philips Techn. Rdsch. 9 (1947/48), 357.
51. Baer W., Ak. Z. 8 (1943), 127.
52. Massa F. J., J. Ac. Soc. Am. 20 (1948), 451, 591.
53. Howatt G. N., Crownson J. W., Dramet Z. A., Electronics 21 (1948), 97.
54. Thiele R., Acustica 3 (1953), 291.
55. Mason W. P., Marshall R. N., J. Ac. Soc. Am. 11 (1939), 206.
56. Oyama H., Rep. Radio Res. Japan (1934), 41; J. Inst. Electr. Eng. Japan (1935), 244.
57. Boyle R. W., Lehmann J. F., Canad. J. Res. 3 (1908), 491; см. также Pohl R. W., Einf. Mech. usw., Springer-Verl. 10. Aufl., 1947, s. 220.
58. Baumgardt E., C. R. Paris 204 (1937), 751.
59. Oberst H. und Rieckmann P., Amtsbl. PTB (1952), 106.
60. Boyle R. W., Froman D. K., Field G. S., Canad. J. Res. (1932), 102.
61. Bücks K. und Müller H., Z. Phys. 84 (1933), 75.

62. Gruetzmacher J., Z. Phys. 96 (1935), 342.
63. Lindström O., Acustica 3 (1953), 199.
64. Brown G. B., Proc. Phys. Soc. London 47 (1935), 703.
65. Brüner H., Z. VDI 96 (1954), 487.
66. Kuhl W., Acustica 4 (1954), 82.
67. Koppelman J., Acustica 2 (1952), 93.
68. Bergmann L., Acustica 4 (1954), 591.
69. Meyer E., Oherst H., Acustica 2 (1952), AB 149.
70. Meyer E., Tamm K., Acustica 1 (1951), AB 91.
71. Holle W., Rohde und Schwarz, Mitt. (1952), 70.
72. Brüel P., Acustica 6 (1956), 207.
73. Tamm K., Acustica 6 (1956), 189.
74. Diestel H. G., Acustica 6 (1956), 357.
75. Janovski W. und Spandöck F., Ak. Z. 2 (1937), 323.
76. Meyer E., Buchmann G. und Schoch A., Ak. Z. 5 (1940), 352.
77. Ebel H., Maurer P., Acustica, Beih. (1952), 253.
78. V. Békésy G., Arch. elektr. Übertragung 1 (1947), 13.
79. Kaiser W., Acustica 2 (1952), AB 235.
80. Mrass H. und Diestel H. G., Wiss. Abhandlg. der PTB 7 (1955), I, 39.

ГЛАВА II. ЭЛЕКТРОДЫ

1. Frank G., Patai E. und Tomaschek Z., Math. u. naturwiss. Anzeiger d. Ungar. Akad. d. Wiss. 54 (1936), 417; Koppius O. G., D. B. P. 927518 (1955) (запасный катод).
2. Sommer A., A. P. 2529888/50 E. Pr. 1946; Vetter Kl. J., Z. Elektrochem. 59 (1955), 435 (окислительно-восстановительный электрод).
3. Roth W. A., Z. Elektrochem. 33 (1927), 508.
4. Cleave W. W., Schwed. P. 128823 (1950).
5. Kratz L., Die Glaselektrode und ihre Anwendungen, Wissenschaft. Forschungsber. Naturwiss. Reihe, Bd. 59, Frankfurt (Main), 1949; Glöckner G., Z. phys. Chem. 204 (1955), 56; Prue J. E., Lab. Pract. 4 (1955), 325.
6. Thews E. R., Metalloberfläche (B) 2 (1950), 25, 40, 115, 152, 178; литые медные, латунные, цинковые, кадмиевые, оловянные и свинцовые аноды. О капельных электродах см. Турнер R. C., Winkler C. A., Canad. J. Chem. 29 (1951), 469; Stricks W., Kolthoff I. M., J. Am. Chem. Soc. 78 (1956), 2085; Thews, Edm. R., Metalloberfl. (B) 5 (1953), 125 (золотой анод).
7. Gehrts A., Herstellung und Eigenschaften von Glühkathoden. Der Fernmelde-Ingenieur 3 (1943), 1—24; Espe W. und Kroll M., Werkstoffe der Hochvakuumtechnik, Berlin, 1936; Steyskal H., Arbeitsverfahren und Stoffkunde der Hochvakuumtechnik, Technologie der Elektronenröhren, Mosbach/Baden, 1955; Dahlke W., Telefonen-Ztg. 30 (1957), 55.
8. Soc. Nouvelle du Compt. Lyon-Alemard F. P. 54839/50; дополнение к No. 924073.
9. Rooksby H. P., Noble S. H., Brauson W. G. S., Herriott J. S., F. P. 54766/50 E. Pr. 1945. Дополнение к No. 914078.

10. Hensly E. B., Affleck J. H., J. Appl. Phys. 21 (1950), 938.
11. Int. Gen. Elektr. Co. Schwz. P. 271238/51 A. Pr. 1941.
12. Biguenet Ch., F. P. 961776/50.
13. См. кроме цитированной статьи Симона сводные обзоры: Statz W., Z. techn. Phys. 8 (1927), 451; Gehrts A., там же 11 (1930), 246; Naturwiss. 20 (1932), 732; Hermann und Wagener, Die Oxydkathode, Leipzig, 1944.
14. Müller-Pouillet, 11. Aufl. Bd. IV, 3, 20; также v. Ardenne M., Die Kathodenstrahlröhre und ihre Anwendungen in der Schwachstromtechnik, Berlin, 1933. Промышленные инструкции см., в частности, у Espe — Knoll и Steyskal H.
15. Patai E. und Tomaschek Z., Kolloid-Z. 74 (1936), 253; 75 (1936), 80.
16. Becker J. A., Phys. Rev. 28 (1926), 341.
17. См. также Dobke G., Z. techn. Phys. 13 (1932), 432.
18. Siegbahn M., Jahrb. d. Radioakt. u. Elektronik 18 (1922), 257.
19. Steward R., Larivière, Phys. Rev. 45 (1934), 488.
20. Shaw A. E., Phys. Rev. 44 (1933), 1009.
21. N. V. Philips' Gloeil. N. P. 76795/50 Holl. Pr. 1944.

ГЛАВА III. ЭЛЕКТРОННЫЕ ЛАМПЫ

1. M-O. Valvo Co. Ltd. N. P. 77448/50, E. Pr. 1945; McLean W. S., A. P. 2533387/50.
2. Trump J. G., Cloud R. W., Schwed. P. 128985/50 A. Pr. 1946.

ГЛАВА IV. ОКНА В РАЗРЯДНЫХ ТРУБКАХ

1. Habs H., Hase H. und Küstner H., Strahlenther. 33 (1929), 732.
2. Behnken H. und Nitzka H., Phys. Z. 36 (1935), 459.
3. Jones D. E., Brit. J. Radiol. 29 (1956), 230 (окна из свинцового стекла); Provan A. G., Shaw W. A., Williams C. I., J. Sci. Instr. 33 (1956), 445 (материалы для окон в высокотемпературных рентгеновских камерах).

ГЛАВА V. ИСТОЧНИКИ ИОНОВ

1. Barton H. A., Harnwell G. P., Kunsman C. H., Phys. Rev. 27 (1926), 739; Kunsman C. H., Sci. 62 (1925), 269; Larson, Richardson, J. of Ind. and Eng. Chem. 17 (1925), 971; Kunsman C. H., J. Frankl. Inst. 203 (1927), 635.
2. Nordmeyer M., Ann. Phys. 16 (1933), 697.
3. Barnes, Le Roy L., Phys. Rev. 42 (1932), 487.
4. Powell C. F., Brata L., Nature 131 (1933), 168.
5. Koch J., Z. Phys. 100 (1936), 669.
6. Keck P. and Loeb L. B., Rev. Sci. Instr. 4 (1933), 486; см. также Hintenberger H., D. B. P. (angem.) Nr. 1010296 (13.6.57).

7. Taylor J. O., Z. Phys. 57 (1929), 242. Дальнейшие указания см. Riezler W., Kernphysik, 4. Aufl., Berlin und Buxtehude, 1950.
8. Танцырев К. Д., Декабрун Л. Л. и Тальрозе В. Л., Журн. техн. физ. 25 (1955), 1983; Тальрозе В. Л. и Франкевич Е. Л., Журн. техн. физ. 26 (1956), 497; об электронных пучках см. Vanthier R., C. R. Paris 241 (1955), 1033.
9. Phillips J. A. and Tuck J. L., Rev. Sci. Instr. 27 (1956), 97; Hintenberger H., Lang C., Z. Naturforsch. 11a (1956), 167 (термоионные источники).

ГЛАВА VI. ИОНИЗАЦИОННЫЕ КАМЕРЫ И СЧЕТЧИКИ

1. Нев В., Verh. Dtsch. Phys. Ges. (3) 23 (1942), 90; Habil-Arbeit, Frankfurt a. M. 1947; Eberhardt W., Diplomarbeit Max-Planck-Inst. Biophysik, Ffm.; Eberhardt W. und Jaeger R., Strahlenther. 95 (1954), 641; Farley F. J. M., J. Sci. Instr. 33 (1956), 276 (метановая ионизационная камера высокого давления).

ГЛАВА VII. ВЫСОКООМНЫЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ИЗОЛЯТОРЫ

1. Renninger M., Z. Instrkde 55 (1925), 377.
2. Jungeschlut A., Verh. Deutsch. Phys. Ges. 13 (1932), 8.
3. Krüger F., Z. techn. Phys. 10 (1929), 495.
4. Wenk P. und Wien M., Phys. Z. 35 (1934), 175.
5. Bell Labor. Res. 28 (1950), 447.
6. Jaffee R. I., McMullen E. W., Gonsler B. W., Trans. electrochem. Soc. 89 (1946), 277; более старый метод изготовления см. Pender H., Mueller J. H., A. P. 1739256 (1929).
7. Gemant A., Z. techn. Phys. 10 (1929), 495; Wiss. Veröff. Siemenskonzern 6 (1928), 58; 7 (1928), 134.
8. Riezler W., Ann. Phys. Leipzig 23 (1935), 198; далее: Jaeger R., Elektrometrische Messung von Ionisierungsströmen, ATM. V 3211—1 (1942).
9. Maier K., ATM Z. 52—3 (1941), T 77.
10. Addink N. W. H., A. P. 2510361 (1950).
11. Blackburn W. E., A. P. 2476800 (1949).
12. Saslaw O., Canad. P. 467690 (1950); A. P. 2452603 (1948); A. P. 2433402 (1947).

ГЛАВА VIII. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЛЮМИНЕСЦИРУЮЩИХ ЭКРАНОВ

1. Литература по теории и приготовлению люминофоров: Pringsheim P., Fluoreszenz und Phosphoreszenz im Lichte der neueren Atomtheorie, 2. Aufl., Berlin, 1923; Riehl N., Physik und technische Anwendungen der Lumineszenz, 3. Bd. der «Techn. Physik in Einzeldarstellungen», 1940; Henderson S. T., Brit. J. Appl. Physics Suppl., 1955, No. 4 (по материалам Оксфордской конференции 1938 г.); Matossi F., Elektrolumineszenz u. Elektrophotolumineszenz Sammlung, Vieweg Heft Nr. 125, Braunschweig, 1957.
2. Espe W., D.R.P. 447043/23.

3. См. K a i s e l S. F., C l a r k C. B., J. Opt. Soc. Am. 44 (1954), 134.
4. S t u d e r F. J. and C u s a n o D. A., J. Opt. Soc. Am. 45 (1955), 493 (Zn, ZnS).
5. H e l w i g G. und K ö n i g H., Z. angew. Phys. 7 (1955), 323 (CdS).
6. S m i t h M. L., J. Appl. Chem. 5 (1955), 271; B a h r s S., W i e d e n m a n n H. und S c h i l l i n g W., D. B. P., 960561 (21. 3. 1957).
7. B r i l A. and K l a s e n s H. A., Philips Res. Rep. 10 (1955), 305 (трехцветная телевизионная трубка); $Zn_3(PO_4)_2Mn$ вместе с сернистыми Zn или Cd, активированными Ag; R e i n h a r t F r. W., M u t c h l e r M. K., ASTM-Bull. 1956, No. 212, 45 (люминесцентные лампы); R o t h s c h i l d S., J. Opt. Soc. Am. 46 (1956), 662 (фотоэлементы с внутренним фотоэффектом, CdSe).
8. С м. F. P. 1080799, 1954, D. P. 1952 (ультрафиолетовый свет активированного четырехвалентным Mn-германата MgF); J e r m o l a j e w W., D. B. P. 943427 (17. 5. 1956; арсенат магния); см. E. P. 746679 (21.3. 1956; A. P. 1953; хлористый лантан); S e r g e a n t G., E. P. 744979 (15. 2. 1956; Ba, Si, O и минимум 4% титана); B u r n s G., K a s t n e r J., J. Electrochem. Soc. 103 (1956), 447 (активированный Mn силикат Zn и активированный Pb или Mn силикат Ca в смеси с арсенатами Mg или Li, активированными Mn); см. D.B.P (angem.) 1007909 (9.5.57; пирофосфорный барий и 0,05 до 50 (обычно от 1 до 20), вес. % титановых соединений относительно пирофосфорного бария).
9. С м. d e B o e r F. und E m m e n s H., Philips techn. Rdsch. 16 (1955), 272 (катодные лучи); рентгеновские лучи см. с. 339; G r i f f i n g V., S e t t e D., J. chem. Phys. 23 (1955), 503 (ультразвук).

ГЛАВА IX. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ДИАФРАГМ

1. J a e g e r R., Z. Phys. 52 (1928), 627, D. R. P. No. 533354. Kl. 21g, Gr. 18; см. H a b s und K ü s t n e r, Strahlenther. 34 (1929), 823; S t o h l m a n n H., Phys. Z. 38 (1937), 645.

ГЛАВА X. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ШТИФТОВ И ТРУБОЧЕК НЕРНСТА

1. B r ü g e l W., Physik und Technik der Ultrarotstrahlung, Hannover, 1951.
2. T i n g w a l d t C., Phys. Z. 36 (1935), 627; Z. Instrkde 65 (1957), 179.
3. R y s c h k e w i t s c h E., Oxydkeramik, Springer, 1948, 278, 254.
4. L a n g S. M. and G e l l e r R. F., J. Am. Ceram. Soc. 34 (1951), 193; H a l e s J. L., J. Sci. Instr. 29 (1952), 133 (починка сломавшихся стерженьков).

ГЛАВА XI. ИЗГОТОВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПЕЧЕЙ

1. Различные типы электропечей рассмотрены у M ü l l e r C., в Bd. 11 des Handbuches der Physik von G e i g e r und S c h e e l; далее: v. W a r t e n b e r g W., в Bd. 9/1 des Handbuches der Experimentalphysik von W i e n und H a r m s. См. также

- Bräuer A. und Reitstötter J., Elektrische Öfen, Leipzig, 1934; Fehse W., Elektrische Öfen mit Heizkörpern aus Wolfram (Sammlung Vieweg, Heft 90, Braunschweig, 1928). Далее, следует упомянуть статью Кона о вольфрамово-циркониевых печах в Zeitschrift für technische Physik 9 (1928), 110 (хорошая библиография также в Angerer E., Handwörterbuch der Naturwissenschaften, Bd. 3, 1934 и обзор Ackermann R., Die Entwicklung der elektrisch beheizten Laboratoriumsgeräte in 100 Jahre Heräus, Festschrift, zusammengestellt von Ruthardt K., 1951).
2. Jaeger G., Ber. dtsh. Keram. Ges. 1 (1954), 366.
 3. Schulze A., Elektrotechn. Z. 58 (1937), 1361, 1386.
 4. Ashton A. B., Metallurgia (Manchester) 49 (1954), 191; v. Wartenberg H., Chem. Ing. Techn. 26 (1954), 508.
 5. Foex, Marc., C. R. 214 (1942), 665.
 6. Heldt K. und Haase G., Z. angew. Phys. 6 (1954), 157.
 7. Ryschkewitsch E., Oxydkeramik, Springer, 1948.
 8. Alberman K. B., J. Sci. Instr. 27 (1950), 280.
 9. Tomlinson J. W. and Bockris J. O'M., Rev. Sci. Instr. 21 (1950), 507.
 10. Geller R. F., J. Research Nat. Bur. Standards 27 (1941), 555; Davenport W. H., Kistler S. S., Wheelton W. N. and Whittemore O. J., J. Am. Ceram. Soc. 33 (1950), 333; Lang S. M. and Geller R. F., J. Am. Ceram. Soc. 34 (1951), 193; Lochte-Holtgreven W., VDI-Z. 97 (1955), 785.
 11. Dennis W. E., Richardson F. D., Westcott J. H., J. Sci. Instr. 30 (1953), 453.
 12. King A. S., Astrophys. J. 28 (1908), 300; Contributions from the Mount Wilson Observatory, No. 28, No. 66; см. также Bovey L. F. H., J. Sci. Instr. 32 (1955), 376 (графитовая трубка с таллиевым покрытием).
 13. Rendall J. H., J. Sci. Instr. 29 (1952), 248.
 14. Ebert H. und Tingwaldt C., Phys. Z. 37 (1936), 471.
 15. Fischer W., Elektrowärme 4 (1934), 269.
 16. Okress E. C., Wroughton D. M., Comenetz G., Brace P. H. and Kelly J. C. R., J. Appl. Phys. 23 (1952), 545.
 17. Polonis D. H., Butters R. G. and Parr J. G., Research, London 7 (1954), 273.
 18. Gerdien H. und Riegger H., Wissensch. Veröff. a. d. Siemenskonzern 3 (1923), 226.

ГЛАВА XII. ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ

§ 1. Светофильтры. § 2. Зеркальные поверхности

0. Укажем: данные Вудом графики спектров поглощения 38 красителей в Physikal.-chem. Taschenbuch, Leipzig, 1932, 369 и Weigert F., Optische Methoden der Chemie, Leipzig, 1927, 52; там же, ч. III: фильтры. Новые вещества: в 3-м изд. Wood R. M., Physical Optics, New York (Macmillan Co.), 1934 (есть русский перевод), таблица на с. 16. Далее: в Hübl A., Die Lichtfilter, Halle, 1927; Ная А., Hdb. d. wissenschaftl.

u. angew. Photographie, Wien, 1929, Bd. 3, 23—28, большая таблица для 43 фильтров; там же, Bd. 8; Wall E. J., Herstellung von Gelatinefiltern, 135—143; Handb. d. Experimentalphys. Wien und Harms, Bd. 24, 313; Wratten Light Filters 6th edition, Rochester, N. Y., Eastman Kodak Co., 1924; Schmieschek U., Jahrb. 1930 d. Dtsch. Versuchsanstalt für Luftfahrt. Agfa, Filterkatalog; Lifa (Lichtfilterfabrik Augsburg), Filterkatalog.

- Оа. Blüthner, J. Opt. Soc. Am. 44 (1954), 336; Маковский Ф. А., Журн. техн. физ. 25 (1955), 217.
1. Hodgman Ch. D., Phys. Rev. 17 (1921), 246.
 2. Gibson K. S., J. Opt. Soc. Amer. 13 (1926), 267.
 3. Pfund A. H., Phys. Rev. 42 (1932), 581.
 4. Merckelbach O., Strahlentherapie 57 (1936), 689; Pestemer M., Angew. Chem. 63 (1951), 118; Weichmann H. K., Veröff. Agfa 4 (1934), 83.
 5. Pfund A. H., Rev. Sci. Instr. 1 (1930), 397.
 6. Barnes R. B. and Bonner L. G., J. Opt. Soc. Amer. 26 (1936), 428; см. также Куртнер А. В. и Малышев Е. К., J. Phys. UdSSR 4 (1941), 174, цитировано в Phys. Ber. 23 (1942), 2198.
 7. Kisfaludi S. P., Z. Instrkde 49 (1929), 414.
 8. См. Röbler F., Z. techn. Phys. 20 (1939), 290; Arnult A., Rev. Opt. Theoret. Instrument. 34 (1955), 168 (фильтр Вуда).
 9. Wood R. W., Phys. Rev. 44 (1933), 353.
 10. O'Byrne H. M., Rev. Sci. Instr. 6 (1935), 328.
 11. Watson W. H. and Hurst D. G., Canad. J. Res. (A) 14 (1936), 153.
 12. Dresler A., Licht 3 (1933), 41.
 13. Усовершенствование дресслеровского фильтра указывает Rieck J., Z. techn. Phys. 21 (1940), 184. Этот новый фильтр изготовляется под названием Filterphotonelement, Type 25, F 4.
 14. См. Geffcken W., Kolloid Z. 86 (1939), 55; D. B. P., No. 913005 (ab 15. 11. 1944 angegeb. 8. 6. 1954); Raman C. V. and Viswanathan K. S., Proc. Indian Acad. Sci. (A).
 15. Barnes R. B. and Bonner L. G., Phys. Rev. 49 (1936), 732; 41 (1955), 55 и совместно с Bhat M. R., там же, с. 61.
 16. Ahier G., C. R. (Paris) 202 (1936), 1775.
 17. Sannié Ch., Amy L., Poremanski V., C. R. 202 (1936), 1042.
 18. Bäckström H. L., Naturwiss. 21 (1933), 251; см. также Chanu J., Guillemot E., Lenoble J., Tendron G., C. R. (Paris) 233 (1951), 35 (для 3125 Å сульфаты никеля и кобальта в стеклянном сосуде; для 2537 Å они комбинируются с дифенилбутadiеном в эфире); Данишевский С. К., Заводская лаборатория 22 (1956), 1235 (пурпурный светофильтр ПСС-5; 0,6—0,7 мк).
 19. Oldenberg O., Z. Phys. 29 (1924), 328; см. также Osa da K., J. Phys. Soc. Japan 9 (1954), 136.
 20. Прочие фильтры для ртутных ламп: Maddock A. J., J. Sci. Instr. 12 (1935), 218.
 21. Auwärter M., Z. techn. Phys. 18 (1937), 69.
 22. Langstroth G. O. and McRae D. R., Rev. Sci. Instr. 9 (1938), 282; см. также Kölbel H., Naturwissenschaften 41

- (1954), 550 (фильтры Шотта UG 11 и VG 10, зеленый фильтр с полным поглощением для $\lambda < 3000 \text{ \AA}$).
23. Theissing H. und Goebert M., Z. techn. Phys. 21 (1940), 149.
 24. Käsemann E., Praxis d. Phys., Chem. u. Photogr. i. Unterr. d. Schulen 1 (1952), 1; Mielenz K. D., Optik 12 (1955), 513; Sziman, Z. wiss. Photogr. 50 (II) (1955), 517, Künzel H., Astronom. Nachr. 282 (1955), 252 (для 6563 и 5303 \AA); Sellew., Photo-Techn. u. -Wirtsch. 7 (1956), 10; Dollfus A., Rev. Opt. (theor. instrum.) 35 (1956), 39, 625 (для зеленой линии короны H_{α}).
 25. См. Brinkmann H., Nederl. Tijdschr. Natuurk. 9 (1942), 486.
 26. Kayser's Hdb. Spektroskop. 1, 445; Trowbridge A., Wied. Ann. 65 (1898), 595; Hagen E. und Rubens H., Ann. Phys. 1 (1903), 352; 8 (1902), 1; 11 (1903), 873; Minor R. S., там же 10 (1903), 581; Meier W., там же 31 (1910), 1017; Hulburt E. O., Astrophys. Journ. 42 (1915), 205; Gardner J. C., там же 45 (1917), 30; Stron J., там же 83 (1936), 401. Некоторые новые работы об отражательной способности металлов: Burger H. C. und van Milaan J. V. изучали уменьшение отражения от сурьмяных зеркал со временем в длинноволновой области от 0,45 до 2,4 $\mu\text{к}$ (Physica 6 (1939), 435). Родий: в коротковолновой части инфракрасной области: Dümcke M., Phys. Z. 44 (1943), 10; 1—9 $\mu\text{к}$; Soblentz W. W. and Stair R., Bull. Bur. Stand. 22 (1939), 93; см. также Auwärter M., Z. techn. Phys. 18 (1937), 69. Алюминий 0,5—9 $\mu\text{к}$: Walkenhorst W., там же 22 (1941), 14 (минимум 85% при 7500 \AA , при 9 $\mu\text{к}$ $R=97\%$); Parolini G., Ricerca sci. 24 (1954), 340, 1059; Hodgson J. N., Proc. Phys. Soc. (B) 68 (1955), 593.
 27. Pfund A. H., J. Opt. Soc. Amer. 12 (1926), 467.
 28. См. Мауер H., Physik dünner Schichten, Stuttgart, 1950, 1955; v. Fragstein C., Z. Phys. 139 (1954), 163.
 29. См. Jacquinet P., Rev. d'Opt. 21 (1942), 15.

§ 3. Микроскоп

1. Michel K., Grundlagen der Theorie des Mikroskops, Wiss. Verl. Anst., Stuttgart, 1950; см. также Diss. Faraday Soc., 1950, No. 9; Martin L. C., Phys. Techn. Biol. Res. 1 (1955), 325; Schulze R., VDI-Z. 98 (1956), 621; 99 (1957), 606; Freund H., Hdb. d. Mikroskopie i. d. Techn., Frankfurt/Main, 1957; Küppenbender H., Zeiß-Werkzeitschrift 5 (1957), 86 и д.
2. Hutchings L. E., J. Chem. Educat. 28 (1951), 214; Hull D. and Garwood R. D., J. Sci. Instr. 32 (1955), 232.
3. Pfeiffer H. H., Verfahrens- und Meßkunde, Heft 8, Braunschweig, 1949.
4. Monier J. C. and Hocart R. J., J. Sci. Instr. 27 (1950), 302.
5. Roberts H. S. and Morey G. W., Rev. Sci. Instr. 1 (1930), 576.
6. Ordway F., J. Res. Bur. Stand. 48 (1952), 152.

7. Welch J. H., J. Sci. Instr. 31 (1954), 458.
8. Reinacher G. Z., Z. Metallkunde 45 (1954), 453.
9. Pfeiffer J., Z. Metallkunde 48 (1957), 171.
10. Tronnier H. und Wagener H., Optik 8 (1951), 165.
11. Mellors R. C., Science 112 (1950), 381; Grey D. S., J. Opt. Soc. Am. 41 (1951), 183.
12. McLean D., Metal Treatment Drop Forging 18 (1951), 51.
13. Taylor E. W., Proc. Roy. Soc. (B) 137 (1950), 332; Richards O. W., Science (Wash.) 120 (1954), 631.
14. Manhoff L. J. and Johnson M. W., Science 112 (1950), 76.
15. Микроскопы специальных типов: Causley O. and Young J. Z., Research 8 (1955), 430; телевизионная микроскопия: Köhler W., Optik 13 (1956), 186; флуоресцентная микроскопия: Krieg A., Z. Wiss. Mikroskopie 62 (1955), 256; см. также Heft 26 (1957) d. ZeiB-Werkzeitschrift, 5. Jahrgang; интерференционный микроскоп: Tolmon F. R. and Wood J. G., J. Sci. Instr. 33 (1956), 236; корпускулярная микроскопия: Ann. Physique (12) 9 (1954), 683; металломикроскопия: Reichnacher G., Z. Metallkunde 45 (1954), 453; рентгеновская микроскопия: Nixon W. C., Research 8 (1955), 473; Hildenbrand G., Fortschr. Phys. 4 (1956), 1; теневая микроскопия: Rother W., Silikattechn. 6 (1955), 145; микроскопия в ультрафиолетовом свете: Blout E. R., Adv. Biol. Med. Physics 3 (1953), 285; Бернштейн М. Л. и Кишиневский В. Б., Заводск. лаборатория 21 (1955), 1256; тонкие шлифы: Otto L., Z. VDI 94 (1952), 754; di Colbertaldo D., Ind. mineraria 5 (1954), 251; Meurowitz R., Am. Mineralogist 40 (1955), 398 (иммерсионные жидкости).

ГЛАВА XIII. РЕНТГЕНОВСКИЕ ТРУБКИ

1. Heß B., Z. Kristallogr. (A) 104 (1942), 294.
2. Jaeger R., Phys. Z. 35 (1934), 665.

ГЛАВА XIV. ТЕПЛОВЫЕ ПРИБОРЫ

§ 1. Индикаторы температуры

1. Bunzel E. G., Ber. dtsch. keram. Ges. 33 (1956), 305.
2. Wolter H., Ann. Phys. Leipzig (6) 17 (1956), 329; см. также Niederhauser I. P., Reyon, Zellwolle, andere Chemiefasern, 1956, 347, 410, 414, 418; Drexler Fr. und Conrad R., D. B. P. (angem.) 1004447 (14. 3. 57).
3. Rev. Produits Chim. 55 (1952), 401.
4. Cowling J. E., King P. and Alexander A. L., Ind. Engng Chem. 45 (1953), 2317; Osmolski H., Przemysl chem. 11 (34) (1955), 271; Bennett M., Chemistry (Washington) 28 (1955), No. 9, 25.
5. Thews E. R., Metalloberfläche (B) 5 (1953), 139 (йодиды).
6. Guthmann K., Stahl u. Eisen 62 (1942), 477; 70 (1950), 116; Matsui M., Nakanishi T., J. Sci. Res. Inst. (Tokyo) 46 (1952), 26.
7. См. Control Engng, 1956, 110 (со светящимися красками).
8. Rebenstorff H., Z. phys.-chem. Unterr. 15 (1902), 145.

§ 2. Термоэлементы

1. Spielmann M., Rev. Sci. Instr. 22 (1951), 216; см. также Rost W., Brennstoff, Wärme, Kraft 5 (1953), 44; Kierpán E. F., J. Sci. Instr. 32 (1955), 321.
2. White W. P., Rev. Sci. Instr. 4 (1933), 142; см. также Goedcke W., Siebert-Festschrift 72 (Hanau, 1931).
3. Rohm W., Z. Metallkde 19 (1927), 144; Бурштейн Р. X., Заводск. лаборатория 16 (1950), 1021, описывает термопару для закрытых помещений; McSherry P. B., Iron Age 172 (1953), No. 18, 100.
4. О технике температурных измерений см. Henning F., Die Grundlagen Methoden und Ergebnisse der Temperaturmessung, Leipzig, 1955; Knoblauch O. und Hencky K., Anleitung zur genauen technischen Temperaturmessung, München—Berlin, 1926; Schulze A., Metallische Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1950.
5. Stäblein und Hinüber, Arch. Eisenhüttenwesen 3 (1930), 781; Gerdien, Z. techn. Phys. 13 (1932), 586.
6. Hesenbruch W. und Horn L., Z. Metallkde 36 (1944), 145; Fröhlich K. W. und Barthel A., Metallwirtschaft 21 (1942), 103; Metcalie A. G., Brit. J. Appl. Physics 1 (1950), 256 (Pt-термопара в вакууме при высоких температурах).
- 6а. Cirkler Fr., Z. Naturforsch. 8a (1953), 646.
7. Giauque W. F., Buffington R. M. and Schulze W. A., J. Amer. Chem. Soc. 49 (1927), 2343; Wieber R. and Brevcort M. I., Rev. Sci. Instr. 2 (1931), 450.
8. Borelius G., Keesom W. H., Johannsson C. H., Linde I. O., Proceed. Amsterdam 35 (1932), 15.
9. Schulze A., Metallische Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1950; Рудницкий А. А., Термоэлектрические свойства благородных металлов, Москва, 1956; Ehringer H., Metall 8 (1954), 596 (срок службы платино-родиевых термопар); Haase G. und Schneider G., Z. Phys. 144 (1956), 256 (иридий и рений в паре со сплавами вольфрама; иридий в паре с иридием—рением 70); Müser H. A., Z. Phys. 144 (1956), 56 (облученный сернистый свинец); Varher C. R. and Pemberton L. H., J. Sci. Instr. 32 (1955), 486 (Ag—Pd); Pearson W. B., J. Sci. Instr. 31 (1954), 444 (CuSn [0,005 вес. %] в паре с Cu для температур ниже 30° K); Pohl H. A., Rev. Sci. Instr. 22 (1951), 345 (нейлоновые термоэлементы из ориентированных и неориентированных образцов, изготовленные с помощью каучукового связующего).
10. Kuntze A., Z. VDI 85 (1941), 703.
11. Thomas H., Z. Metallkunde 36 (1944), 140.
- 11а. Погружные термопары: Simons J. P., Hamstead C. G. and Burton E. J., J. Iron Steel Inst. 175 (1953), 402; Eichert G., Stahl u. Eisen 74 (1954), 95; игольчатые термопары Ravich W. G., Metal Progr. 65 (1954), No. 3, 71; Palmer J. F., Barnes R. S. (железо-константан в инъекционной игле); охлаждение: Justi E., Mitt. VIK, 1957, No. 4, 49; лакировка: см. Ind. Lackier-Betr. 22 (1954), 46; метеорология: Elnesr M. K., Ann. Géophysique 10 (1954), No. 1, 64.

12. Austin L. A., Bull. Bur. Stand. 7 (1911), 301; Phys. Z. 12 (1911), 1226.
13. Johannsen E. S., Ann. Phys. 33 (1910), 517.
14. Cartwright C. H., Rev. Sci. Instr. 1 (1931), 592 (теория) и 602 (эксперимент); Z. Phys. 92 (1934), 153.
15. Keefe H., Phys. Z. 29 (1928), 681; Slater C. H. W., J. Sci. Instr. 30 (1953), 293 (тончайшие проволоки для измерения температуры в биологических объектах; в качестве защитной капсулы—освобожденный от пера ствол птичьих перьев).
16. Müller C., Naturwiss. 19 (1931), 416.
17. Taylor D. F., Phys. Rev. 23 (1934), 655.
18. Pfund A. H., Phys. Z. 13 (1912), 870.
19. Lewitzky M. A. und Lukonsky M. A., Phys. Z. 30 (1929), 203.
20. Lange B. und Heller W., Phys. Z. 30 (1929), 419.
21. Burger H. C. und van Cittert P. H., Z. Phys. 66 (1930), 210; Klemensiewicz Z. und Wasowicz Z., там же 71 (1931), 817; Harris L. H. and Johnson E. A., Rev. Sci. Instr. 5 (1934), 153; Jones R. V., J. Sci. Instr. 11 (1934), 247; Picker E. und Rundinger G., Z. techn. Phys. 16 (1935), 265.
22. См., напр., Müller C., Hbd. Experimentalphys. 1 (1932), 430; Sewig R., Objekt Photometrie, Berlin, 1935. Подробности о термopарах для измерений излучения см. Schulze A., Metallische Werkstoffe der Elektrotechnik, Berlin, 1950; Shenker H., Lauritzen J. I., Corruccini R. J. and Lonberger S. T., Circ. Nat. Bur. Stand. 1955, No. 561.

§ 3. Низкие температуры

1. Hilsch R., Z. Naturforsch. 1 (1946), 208.
2. Van Lammeren J. A., Techn. d. tiefen Temperaturen, Berlin, 1941, см. также [8], также Broom R. F., Rose-lunes A. C., J. Sci. Instr. 33 (1956), 31.
3. Meißner H., Phys. Rev. 101 (1956), 1661.
4. Bertram R., Phil. Mag. 42 (1951), 642; Schmeißner F. und Meißner H., Z. angew. Phys. 2 (1950), 423; обстоятельное сопоставление в Powell R. L. and Blanpied W. A., Circ. No. 556 NBS, 1954.
5. Meißner W., Hdb. Exp.-Phys. 11, 2 (1935), 182, Formel No. 13; см. также [3].
6. Dieke G. H. und Herox L., Phys. Rev. 103 (1956), 1227; см. также Mather D. E. and Witt F. E. L., Rev. Sci. Instr. 26 (1955), 843; Whalin and Reitz, Rev. Sci. Instr. 26 (1955), 59.
7. Rason N. S., Rev. Sci. Instr. 25 (1954), 311; Nelson L. S., Rev. Sci. Instr. 27 (1956), 655 (с окнами; в качестве замазки — полисульфидный клей, смешанный с пастой из перекиси свинца в дибутилфталате [Minnesota Mining and Manufact. Co.] No. EC 801, No. EC 1063); Marshall L., Rev. Sci. Instr. 26 (1955), 614.
8. Babiskin J., Rev. Sci. Instr. 21 (1950), 941.
9. См. далее Kohlrusch F., Praktische Physik 1 (1955), 381; Grassmann P., Kältetechn. 6 (1954), 59; Spoendlin R.,

- Rev. gén. Froid 32 (1955), 69; см. также Res. Engng 2 (1956), No. 11, 26; Broom R. F. and Rose-Innes A. C., J. Sci. Instr. 33 (1956), 420; Plank R., Hdh. Kältetechn., Bd. 8, 1957, Berlin; Meißner W., Schmeißner F. und Wiedemann W., Kältetechn. 9 (1957), 194; Ченцов Р. А., Успехи физ. наук 61 (1957), 303 (парамагнитные соли); Brewer D. F. and Edwards D. D., J. Sci. Instr. 33 (1956), 148.
10. Clusius K., Z. Naturforsch. 8a (1953), 479.
 11. См. [5], 418.
 12. Clement J. R. and Quinnell E. H., Rev. Sci. Instr. 23 (1952), 213; 24 (1953), 545; Hoare F. E., Matthews J. C. and Yates B., Proc. Phys. Soc. (B) 68 (1955), 388.
 13. Clement J. R., Logan J. K. and Gaffney J., Nav. Res. Lab. Rep. Nr. 4542 (1955) (Washington).
 14. Henning F., Hdh. Phys. 9 (1926), 590 (сводка очень чистых газов для наполнения).
 15. Wexler Aaron, J. Appl. Phys. 22 (1951), 1463.
 16. Gaffney J. and Clement J. R., Rev. Sci. Instr. 26 (1955), 620.
 17. См. также Mathewson R. C., Rev. Sci. Instr. 26 (1955), 616 (переливание жидкого водорода); Simonet G., Bull. Inst. Int. Froid Suppl. (1955), No. 2, 55 (перекачка жидкого кислорода); Stout J. W., Rev. Sci. Instr. 25 (1954), 929; Fiske M. D., Rev. Sci. Instr. 26 (1955), 90.
 18. Boyle W. R. and Brown J. B., Rev. Sci. Instr. 25 (1954), 359; Sommers H. S., Rev. Sci. Instr. 25 (1954), 193; Meißner H., Phys. Rev. 109 (1958), 668.

§ 4. Изготовление термометров сопротивления

1. Lieneweg Fr. und Vanvor H., Chem.—Ing. Techn. 27 (1955), 309; полупроводниковые термометры сопротивления см. Trey F., Radex-Rdsch., 1957, s. 519.

ГЛАВА XV. ЧАСЫ

1. Repsold A., Das chronographische Problem, Kaltenbach P., Die Kurzzeitmesser in Wissenschaft und Praxis, Bd. 9 der Schriftenreihe d. Ges. f. Zeitmeßkunde (A. Kames und H. Bock), Berlin, Verlag d. Deutschen Uhrmacher-Zeitung, 1938; Schardin H., Methoden zur Untersuchung kurzzeitiger Vorgänge, Phys. Bl. 7 (1951), 487.
2. Hild K. und Keil W., Zeitmessung in Sport, ATM-V 3 (1938), 142.
3. Lewis I. A. D. and Wells F. H., Millimicrosecond pulse techniques, London, 1954; Bay Z., Nucleonics 14 (1956), No. 4, 56.
4. Zernow L. und Hauver G., Phys. Rev. 98 (1955), 1551; Feldkirchner H. und Krempele H., Arch. Eisenhüttenwes. 27 (1956), 624.
5. Hild K., Untersuchungen an Stoppuhren, Riesckmann E., Ein neues Stoppuhrprüfgerät, Jahrb. D. Ges. Chronometrie 1, 1950 (1951); Watson P. E., J. Sci. Instr. 32 (1955), 486 (защитное поливиниловое покрытие).

1. Jaeger R., Z. Phys. 52 (1928), 627; ATM-V 3 211 — 1(1940).

ГЛАВА XVII. СЧЕТЧИКИ, КАМЕРА ВИЛЬСОНА

1. Curran and Craggs, Counting Tubes, Theory and Applications, London, 1949; Korff, Elektron and Nuclear Counters, New York, 1946 (есть русский перевод); Staub, Detection Methods, в книге: Segré, Experimental Nuclear Physics, I, London, 1952 (есть русский перевод); Fünfer und Neuert, Zählrohre und Szintillationszähler, Karlsruhe, 1954; Kohlrach, Praktische Physik 2 (1956), 543; Korff, Geiger Counter; Curran, The proportional counter as detector and spectrometer, Hdb. Physik, Bd. 45, Berlin—Göttingen—Heidelberg, 1958; Riezler, Walcher, Kerntechnik, Stuttgart, 1958. Принципы работы ионизационных камер и пропорциональных счетчиков см. в Wilkinson, Ionisation Chambers and Counters, Cambridge, 1950; Rossi und Staub, Ionisation chambers and counters, Experimental Techniques. National Nuclear Energy Series, v. 2, New York, 1949. Техника усиления: Elmore und Sands, Electronics, experimental techniques, National Nuclear Energy Series, v. 1, New York, 1949 (есть русский перевод); Scarotti, Electronic circuits for nuclear detectors in frisch, Progress in Nuclear Physics 1, London, 1950.
- 1a. См., напр., Bernstein, Ballenstine, Rev. Sci. Instr. 20 (1948), 347; Koester, Maier-Leibnitz, Sitz. Ber. Akad. Heidelb., Math. Nat. 283 (1951).
2. Liebson and Friedman, Rev. Sci. Instr. 19 (1948), 303.
3. Kramer, Z. Phys. 125 (1949), 739.
4. См., напр., v. Droste, Z. Phys. 100 (1936), 529; Maier-Leibnitz, Z. Naturforsch. 1 (1946), 243; Saurer, Helv. Phys. Acta 23 (1950), 381.
5. Очень маленькие счетчики описаны в статьях: Barnes, Rev. Sci. Instr. 7 (1936), 107; Wang и др., там же 13 (1942), 81; Robinson and Peterson, там же 19 (1948), 911.
6. Stever, Phys. Rev. 61 (1942), 38; Curran and Rae, J. Sci. Instr. 24 (1947), 233.
7. Maze, J. de Phys. 7 (1946), 165; MacKnight and Chason, Rev. Sci. Instr. 22 (1951), 700.
8. См., напр., Veall, Brit. J. Radiology 21 (1948), 347; Putman, там же 23 (1950), 46.
9. Jaeger R. und Kluge J., Z. Instrkde 52 (1932), 229.
10. По Сооке-Яарборough, Florida and Davey, J. Sci. Instr. 26 (1949), 124; Putman [8], см. с. 304.
11. Об определении τ см. Kohlrach, Praktische Physik, Bd. 2 (1956), 545; см. также Maier-Leibnitz H., Z. angew. Phys. 9 (1957), 57.
12. Обстоятельный обзор: Fünfer E. und Neuert H., Zählrohre und Szintillationszähler, Karlsruhe, 1954; Bell P. R., в Beta- and Gamma-Ray Spectroscopy, ed. by Siegbahn K., Amsterdam, 1955 (есть русский перевод); Curran S. C., Luminescence and the scintillation counter, London, 1953; Birks J. B., Scintillation counters, London, 1953 (есть русский перевод);

- Garlich G. F. J., Progr. Nucl. Phys. 2 (1951), 51; Krebs A., Erg. exakt. Naturw. 27 (1953), 361; Mott W. E. and Sutton R. B., Handbuch der Physik, Bd. XLV, 86, Berlin, 1958; Hanle W. und Schneider H., Z. angew. Phys. 10 (1958), 228; Madey R. and Leipuner L., Nucleonics 14 (1956), No. 4, 51 (черенковский счетчик).
13. Schleede A., B Landolt-Börnstein; Zahlenwerte und Funktionen aus Physik usw., Bd IV/3 (1957), 877.
 14. См. также Muelhouse, C. O., Nucleonics 14 (1956), No. 4, 38.
 15. Hornyak W. F., Rev. Sci. Instr. 23 (1952), 264.
 16. См. также Breitenberger E., Progr. Nucl. Phys. 4 (1955), 56.
 17. См. также Harris C. C., IRE Trans. Nucl. Sci. NS-3 (1956), 87.
 - 17a. Souch A. E. and Sweetman D. R., Rev. Sci. Instr. 29 (1958), 794.
 18. См. также Bannermann D. E., Nucleonics 14 (1956), No. 2, 60; Garwin R. L., Rev. Sci. Instr. 23 (1953), 755; Thomas G. A., Rev. Sci. Instr. 27 (1956), 878.
 19. См. также Ott D. G., Nucleonics 13 (1955), No. 5, 62.
 20. Funt B. L., Nucleonics 14 (1956), No. 8, 83.
 21. Engstrom R. W. and Fischer E., Rev. Sci. Instr. 28 (1957), 525; Hobbs D. S. and Deeley E. M., J. Sci. Instr. 33 (1956), 163.
 22. Относительно температурной зависимости усиления в сцинтилляционных счетчиках см. Kinard F. E., Nucleonics 15 (1957), No. 14, 92; Vall W. P., Nucl. Instr. 1 (1957), 71; о зависимости от частоты импульсов см. Bell P. R., Rev. Sci. Instr. 26 (1955), 726.
 23. См. также Elmore W. C. and Sands M., Electronics. Experimental Techniques, New York, 1949; Moody N. F., Rev. Sci. Instr. 22 (1951), 439, 551.
 24. Другие приборы описаны, напр., в Higinbotham W. A., Rev. Sci. Instr. 22 (1951), 429.
 25. См. также Nagraу Z., J. Sci. Instr. 33 (1956), 476.
 26. Защита линейного усилителя от перевозбуждения см. Magee F. J., Rev. Sci. Instr. 23 (1952), 30; Chase R. L. and Higinbotham W. A., Rev. Sci. Instr. 23 (1952), 34; Fairstein E., Rev. Sci. Instr. 27 (1956), 475.
 27. Обзор употребительных типов см. Higinbotham W. A., Nucleonics 14 (1956), No. 4, 61.
 28. Простой прибор этого рода (дифференциальный дискриминатор или одноканальный амплитудный анализатор) описан у Fairstein E., Rev. Sci. Instr. 27 (1956), 549.
 29. См., напр., Vesck, Rev. Sci. Instr. 12 (1941), 602; Alston M. H. и др., Phil. Mag. 2 (1957), 820 (пропановая пузырьковая камера).
 30. Deutschmann, Z. Naturforsch. 2a (1947), 61.
 31. Emigh, Rev. Sci. Instr. 25 (1954), 224.
 32. Zuber, Helv. Phys. Act. 11 (1938), 366.
 33. Crune, Rev. Sci. Instr. 8 (1937), 440.
 34. Gentner, Maier-Leibnitz und Bothe, Atlas typischer Nebelkammerbilder, Berlin, 1940.

35. Das Gupta and Gosh, Wilson' Cloud chamber and its applications in physics, Rev. Mod. Phys. 18 (1946), 225 (есть русский перевод).
36. Staub, в книге: Segré, Experimental Nuclear Physics, Bd. I, London, 1953 (есть русский перевод).
37. Snowden M., Progress in Nuclear Physics 3 (1953), 1; Hertz H. G., Z. Elektrochem. 60 (1956), 1196.

ГЛАВА XVIII. ЯЧЕЙКИ И ЭЛЕМЕНТЫ

1. Дальнейшие подробности, в частности об очистке нитробензола, см. White H. J., Rev. Sci. Instr. 6 (1935), 22; Quinn H. F., McKay W. B. and Bourque O. J., J. Appl. Physics 21 (1950), 995; Tolstov N., J. Phys. Radium 17 (1956), 801.
2. Möller R., Phys. Z. 32 (1931), 700 (другие методы очистки).
3. Ilberg W., Phys. Z. 29 (1928), 670; см. также Ziосk Kl., Z. Phys. 147 (1957), 99; Walker E. W., Photogr. et Cinématogr. Ultra-Rapides, Paris, 1956, 99.
4. Формулы и числовые значения по явлению Фарадея и постоянной Верде см. Ebert H., Phys. Taschenbuch, Braunschweig, 1957, 233, 234. (Выходит русский перевод).
5. Edgerton and Wusckoff, J. Soc. Mot. Pict. Television Eng. (USA) 56 (1954), 398.
6. Ploke M., ATM J. 391—5, 1953; см. также McGee J. D., Proc. Instn. Electr. Engrs. 104 (B) (1957), 467.
7. Sugawara M., J. Phys. Soc. Japan 11 (1956), 271.
8. Görlich P., Die lichtelektrische Zellen, Leipzig, 1951.
9. Sommer A., Photoelectric tubes, London, 1951.
10. Zwoykin V. K. and Ramberg E. G., Photoelectricity and its application, New York, 1949.
11. Simon-Suhrmann, Der lichtelektrische Effekt und seine Anwendungen, 2. Aufl., Berlin—Göttingen—Heidelberg, 1958; Foitzik L. und Zschaeck H., Exp. Techn. Physik 4 (1956), 111.
12. Görlich P., Z. Phys. 101 (1936), 335; 109 (1938), 374.
13. Hartmann W., Z. techn. Phys. 24 (1943), 111.
14. Techn. Wiss. Ber. Osram 27 (1954), 171.
15. Eckart F., Ann. Phys. 11 (1953), 181.
16. Ploke M., ATM J. 391—6, 1954.
17. D. B. P. 876248; 876278; 879581.
18. Lange B., Die Photoelemente und ihre Anwendung, Leipzig, 1940.
19. Коломиец Б. Т., Журн. техн. физ. 7 (1937), 392.
20. Kellerманн А., ATM J. 392—3, 1955.
21. D. B. P. 933286.
22. Berger W., Lichttechnik 8 (1956), 16—19.
23. Monter E. W., Mod. Phototechn. u. Meßoptik (1956), Heft 2.
24. Wyatt D. G., J. Sci. Instr. 34 (1957), 106—108.
25. D. B. P. 879433.
26. Anderson D. G., J. Sci. Instr. 27 (1950), 131—132.
27. Harding H. G. W., J. Sci. Instr. 27 (1950), 132—135.
28. Leo W., Z. ang. Photogr. 5 (1942), 28—32.
29. Eggert J., Z. phys. Chem. 196 (1950), 35.
30. Goos F., Ann. Phys. (5) 40 (1941), 425.

31. Kingsbury E. F. and Ohl R. S., Bell Syst. Techn. J. 31 (1952), 892.
 32. D. B. P. 879432; Münsch M., Rev. Opt. Theor. Instr. 33 (1954), 497.
 33. Weizel W., Forsch. Ber. des Wirtsch.- und Verkehrsministeriums Nordrh.-Westf., Nr. 104, 1954.
 34. Moss T. S. and Chasmar R. P., Nature 161 (1948), 244; Godridge A. M., Brit. Coal Utilisat. Res. Assoc., monthly Bull. 20 (1956), 349.
 35. Moss T. S., Nature 161 (1948), 766—767.
 36. Roberts V. and Young A. S., J. Sci. Instr. 30 (1953), 199—200.
 37. Young A. S., J. Sci. Instr. 28 (1951), 206.
 38. Ramson H., J. Sci. Instr. 28 (1951), 208.
 39. Holden R. B., Taylor W. J. and Johnston H. L., Phys. Rev. 78 (1950), 344; Neu J. T., J. Opt. Soc. Am. 43 (1953), 520; Mitzner B. M. and Lewin S. Z., Analytic. Chem. 26 (1954), 1254; J. Opt. Soc. Am. 44 (1954), 425; Davison W. H. T., J. Opt. Soc. Am. 45 (1955), 227; Adams R. M. and Katz J. J., J. Opt. Soc. Am. 46 (1956), 895; Giguère P. A. and Harvey K. B., Canad. J. Chem. 34 (1956), 798; Funke E., Optik 13 (1956), 524; Stephans E. R., Haust Ph. L., Doerr R. C. and Scott W. E., Ind. Engng Chem. 48 (1956), 1498 (длина пути до 430 м); Robin J. and Robin S., J. Phys. Radium 17 (1956), 499 и Vodar B., J. Phys. Radium 17 (1956), 500 (до 6000 ам); Hughes D. S. and Robertson W. W., J. Opt. Soc. Am. 46 (1956), 557 (6000 ам); Hilsun C. and Ross I. M., Nature (London) 179 (1957), 146 (магнитное поле); Olsen A. L., Kruse H. W., Analyt. Chem. 29 (1957), 1242; Glick D., Grunhaum B. W., Analyt. Chem. 29 (1957), 1243.
 40. Fuchs W., Quadt, Z. Analyt. Chem. 147 (1955), 184.
 41. См. Europ. Techn. Inf. 1957, No. 10, 263; Kane P. O., Chem. and Ind. (1956), 302.
 42. Elser F., Metalloherfläche 10 (1956), 381.
 43. Barrow C., J. Sci. Instr. 33 (1956), 83.
 44. Huber R. und Cruse K., Z. Elektrochem. 60 (1956), 1049.
 45. Morin M. Gr., Paulet Gr. and Hohbs M. E., J. Phys. Chem. 60 (1956), 1594.
 46. Johnson R. G., Hudson D. E., Caldwell W. C., Spedding F. H. and Savage W. R., J. Chem. Phys. 26 (1956), 917; Thorn R. J. and Winslow G. H., J. Chem. Phys. 26 (1957), 186.
 47. Euler J., Z. Elektrochem. 60 (1956), 1056.
 48. Price F. P. and Zimm Br. H., J. Opt. Soc. Am. 45 (1956), 229.
 49. Lambert A. R., Nucleonics 12 (1954), No. 11, 38.
 50. Richter K. M., Analyt. Chem. 28 (1956), 2036.
 51. Wehner G. und Seliger H., Freiburger Forschungsh. (B) 1956, Nr. 17, 18.
-

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

- Автордиография 226
Автофреттирование труб высокого давления 139
Азот чистый, получение 41
Аккумулятор гидравлический 235
Активация катода 288
Акустика помещений 157
— —, метод моделирования 158
Акустический лабиринт 270
Анализатор амплитудный импульсов 382, 383
Аноды для счетчиков Гейгера — Мюллера 362
— — электролиза 284
Аппаратура вакуумная 169—171
— —, выпуск воздуха 195
— — металлическая, монтаж 171, 172
— —, передача движений 197—199
— — стеклянная, монтаж 172, 173
— — высоких давлений 139
Аргон чистый, получение 42
Аудиометр 283
- Бани для различных температурных интервалов 244, 245
- Вакуостаты 236—240
Вакуумметр термоэлектрический, 183
Вакуумное колено 198, 199
Вакуумные сосуды 199
Вакуумпровод, выбор размеров 190, 191
— металлический 195—196
—, стеклянные элементы 192—195
— стеклянный гибкий 197
Вводы изолированные в камеры высокого давления 148—151
— стеклянные, свойства 105
Вентили вакуумные 196
— — прогреваемые 202
— высокого давления 140—143
— разборные и сменные 202
Вентиль Бассета на 5000 ат. 141
— вакуумный без смазки 201
— — Притца 201
— — стеклянный 195
— для газа 142
— игольчатый для точной дозировки газа 200, 201
- Вентиль нагнетающего насоса со сменным седлом впускной 143
— — — — — выпускной 143
— со вторым уплотняющим конусом 140, 141
— — сменным седлом клапана 140, 141
— с сильфоном 142
— — уплотнением металл — металл 140
- Вжигание благородных металлов 117
Вибраторы ультразвуковые 271, 272
— — синтетические 275
— — электродинамические 274
Влажность воздуха, регулировка 240, 241
Вливание щелочного металла 11
Вода тяжелая, получение 38
— чистая, получение 37, 38
Водород, получение молекулярного спектра 40
—, — сериального спектра 39, 40
— чистый, получение осморегенерацией 38
— —, — электролизом 39
Восстановление щелочного металла 12
Вплавление в стекло вводов 104, 105
— — — металла, способы 98, 99
— — — электродов 102—104
— анодов счетчика Гейгера — Мюллера 362
— электродов в лампу 291
Выпуск газа в вакуумную аппаратуру 199—202
Вязкие материалы 51
- Газоотдача пластическими материалами 169
Гальванизация 115
Гелий чистый, получение 42
Геттеры 203
Глинивание электролитическое металла 115
Горелка паяльная ручная 93
Гравировка на стекле 111
Громкоговорители 267—270
— рупорные 209
- Давления высокие, запоры 148
— —, изготовление аппаратуры 139

- Давления высокие, изолированные вводы 148—151
 — —, окна 151
 — —, рабочие газы 144
 — —, — жидкости 143, 144
 — —, соединение труб герметическое 142
 — —, — — на резьбе 145
 — —, — — частей установок 144—147
 — —, трубопроводы 140
 — —, уплотнение линзовое 145
 — —, уплотнения 147, 148
 — остаточные для разных типов вакуумных насосов 173, 174
 Датчик тензометрический 282
 Двигатель Пфейффера, регулировка оборотов бесступенчатая 234
 — серийный, регулировка оборотов 233, 234
 — шунтовой, регулировка оборотов 233
 Дейтерий, получение 40
 Дека для громкоговорителя 269
 Демпфирование 168
 Держатели объектов 129
 Дефектоскопия ультразвуковая 158
 Диафрагмы измерительные 307
 Дистилляция многократная щелочного металла 11

 Жаростойкость металлов для термодинамики, ее повышение 333
 Жидкость рабочая для термостатов 249, 250, 251

 Закалка стали 35, 36
 Замазки необратимые 67, 68
 — обратимые 69
 Запись звука магнитная 153, 154
 — —, метод итераций 154, 155
 Запор вакуумный магнитный 194, 195
 — — ртутный 194
 — — высокого давления 148
 Заряды электростатические, применение для целей микроанализа 264
 Затвор магнито-оптический 386, 387
 Защита приборов от перегрузок 265
 — — противоореальная фотослоев 226
 — — термодинамики от вредных воздействий 332
 Звуковое изображение рельефное 156
 Звуковые волны, визуальное наблюдение 155
 — частоты, запись кривых равной фазы 155
 Зеркало гальванометрическое, размеры 211
 — —, изготовление 111

 Излучатели кварцевые 272—274
 — — ультразвука 271, 272
 Излучатель звука термический 270
 — — магнитострикционный 271
 — — пьезоэлектрический 272—274
 — — электростатический 268
 Измерение низких температур 345—347
 Изоляторы важнейшие, основные свойства 305

 Изоляторы для ионизационных камер 294
 — — пластические 304—306
 — — плохо обрабатывающиеся 303, 304
 — — хорошо обрабатывающиеся 300—303
 Изоляция акустическая 53, 54
 — — термическая 53, 54
 — — электрическая 51, 52, 54, 55
 Иммерсионные методы исследования оптических свойств тел неправильной формы 218
 Индикатор среднего значения 369, 370
 Индикаторы температуры 329, 330
 Интерферометр ультразвуковой 280
 Инфразвук 281, 282
 — —, приемники 281, 282
 Испарение в вакууме металлов 118—121
 — — —, получение пленок 125
 Испарение металлов при пониженном давлении 220
 Испарители проволочные 119, 120
 Источник света точечный, установка 255
 Источники ионов 293, 294

 Калибровка приемников инфразвука 282
 Камера Вильсона 383, 384
 Камеры ионизационные сферические, изготовление по Раевскому 295
 Канадский бальзам, изготовление 66
 Капилляры, определение диаметра 90, 94
 — — стеклянные, регулировка количества протекающего газа 200
 Катодное распыление, получение пленок 125
 Катоды горячие 282—290
 — — бариевые дистилляционные 288, 289
 — — вольфрамовые 286
 — —, материалы 285
 — — оксидные 286
 — —, различные формы 289
 — — самозамтирующие 290
 — — с бифилярной спиралью 286
 — — торированные 286—289
 — — цезиевые 289, 290
 Кварц в качестве излучателя ультразвука, закрепление 273, 274
 —, нити тонкие 57, 58, 135—138
 —, подводка переменного напряжения к излучателю 274
 —, свойства 56
 Кварцевые пленки 57
 — — сосуды 57
 Керамические массы 62, 63
 Кислород чистый, получение осморегенерацией 40
 — —, — электролизом 40
 Клеи 66, 67
 Климостаты 240—242
 Компенсатор урановый для слабых ионизационных токов 355
 Контрастность фотослоев 225
 Копии дифракционных решеток 221, 222
 Краны вакуумные 193

- Крепление электрических деталей 49
 Крепления антивибрационные, подвес Юлиуса 166, 167
 — —, подушки 166
 Криостат для жидкого водорода 340
 — — — гелия 340, 341
 — простой 252
 Лаки 54, 55, 87
 Лакировка поверхностей 87
 Лампа электронная, изготовление 290—292
 Ленты металлические 131
 Линзы звуковые 270
 Листки волластоны, изготовление 133
 Ловушки масляных диффузионных насосов 192
 — охлаждающие 191, 192
 Магниты, получение необходимого магнитного момента 209
 — постоянные, изготовление 209
 — —, стабилизация 210
 Манометр альфатрон 183, 185, 186
 — Бурдона, применение нейлоновых нитей 153
 — высокочастотный 183
 — ионизационный 183, 185
 — компрессионный вращающийся 183
 — Мак-Леода 183
 — — в вакуостате 239
 — мембранный 183
 — Пеннинга 183, 185
 — Пирани 183
 — — в вакуостате 240
 — поршневой 236
 — сопротивления манганиновый 152, 153
 Манометры вакуумные, типы 183, 184
 — жидкостные 184
 —, основанные на теплопроводности газов 184
 Маностаты 235, 236
 Массы заделочные 49
 — керамические 62, 63
 Мембрана бумажная 267
 — конусообразная 267
 Метод Теплера, применение вогнутого зеркала 259, 260
 — —, — дифракционных решеток 261
 — —, — спектрального разложения 261, 262
 — — с оптическим изображением объекта 255—257
 — — — прямой диафрагмой 257—260
 — —, — увеличение поля зрения 263
 Микроскоп 325—327
 Микроскопия электронная, изображение поверхности методом наклонного отражения 164, 165
 — —, — — реплик 164
 — —, — метод напыления на объект 165
 — —, — носитель объекта 162, 163
 Микрофоны, диаграмма направленности 276
 Микрофоны конденсаторные 276
 — —, — схема включения 277
 — кристаллические 278
 —, — направленное действие 276
 — пьезоэлектрические 278
 —, — работа на открытом воздухе 278
 — электродинамические 277, 278
 Монокристаллы металлические, получение из газовой фазы 33
 — —, — методом вытягивания из расплава 33
 — —, — — кристаллизации 31, 32
 — —, — — отвердевания расплавов 32
 — —, — — рекристаллизации 22, 31
 — солей, получение 34
 — с определенной ориентировкой, получение 32, 33
 Нагреватели электрических печей 312, 313
 Напильники, регенерация 266
 Наплавление металла на стекло 104
 Наполнение спектральных трубок 204, 205
 Напряжения, исследование оптическим методом 49
 Напыление наклонное в вакууме, в электронной микроскопии 165
 Насос водоструйный 91, 92
 — Фридрихса—Алтингера 91
 Насосы вакуумные водоструйные и газобалластные, определение размеров 174, 181, 182
 — — ионные геттерные 203
 — — масляные диффузионные 178—180
 — — — пароструйные 178
 — — — ротационные 174—176
 — — ртутные диффузионные 176—178
 — форвакуумные, определение размеров 174
 Насыщение газов парами жидкости 242
 Негерметичность, формула 187
 Нити кварцевые, изготовление 135—138
 — —, — платинирование 137
 — —, — подвеска подвижных систем 136, 137
 — —, — прочность 137
 — — тянутые, применение в качестве пружин 137
 —, — крест для оптических приборов 138
 — — подвеса крутильных весов, изготовление 58
 — тонкие из легкоплавкого металла, изготовление 337, 338
 Носители объекта в электронной микроскопии 162, 163
 Обточка цилиндрическая 266
 Озон, получение 40
 Окна аппаратуры высокого давления 151
 — в разрядных трубках, толщина 293
 — из плавикового шпата, вакуумплотное вмазывание 107

- Окна слюдяные, изготовление 365
 — стеклянные тонкие, изготовление 365
- Окошки Линдсмана 61
- Оксидирование анодное 115
- Омеднение 114, 115
- Осаждение химическое золота 114
 — — из газообразного металлического соединения 115
- Осушение 241, 242
- Отверстия в стекле, пробивание в. ч. полем 93
 — — , прокалывание 93
 — , обработка и доводка до нужного диаметра 266
 — , приспособления для проделывания 266
 — , прокалывание в фольге 264, 265
- Откачка с помощью адсорбирующего угля 202, 203
 — — — газопоглощения при электрических разрядах 203
 — — — геттеров 203
 — — — силикагеля 202
- Отливки 48, 49
- Отпайка откачанных ламп от установок 204
 — стеклянных деталей 96, 97
- Отражение света металлами 321
- Охлаждение по Хильшу 339
- Очистка вакуумных приборов 170, 171
 — водорода от кислорода 39
 — галоидно-платиновых индикаторных трубок 189
 — дифракционных решеток 222
 — инертных газов 42
 — катодов медных 361
 — металлов 9—11, 13, 16—18
 — — для вакуумной техники 170, 171
 — насосов диффузионных масляных 180
 — — — ртутных 177
 — поверхностей 83—86
 — — блестящих от потускнения 88
 — — кристаллов 84
 — — металлов 84
 — — — от окалины 100, 101
 — — — ультразвуком 160
 — — обрезками проволоки 85
 — — от жира 84, 85, 94
 — — — окалины 84, 85
 — — — окислов 85
 — — — олова 85
 — — — ржавчины 85
 — — — серой 87
 — — — тлеющим разрядом 118
 — — — током высокой частоты 86
 — — — электрических изоляторов 85
- спектральных трубок перед наполнением 205
 — трубки счетчика Гейгера—Мюллера 364
 — углерода 37
- Пайка алюминия 73, 80
 — в атмосфере защитного газа 79
 — вольфрама 80
 — молибдена 80
 — мягким припоем 70—74
 — нержавеющей стали 74
 — окунанием 79
- Пайка олова 74
 — платины 74
 — с горелкой 79
 — стекла и металла 98—104
 — свинца 74
 — тантала 74
 — термопары 331
 — титана 80
 — тонких проволок 80
 — чугуна 73, 74
- Паста для изготовления оксидных катодов 287, 288
- Пеноматериалы 53, 54
- Передача движения в вакуумную аппаратуру 197—199
- Печи высокочастотные 316
 — из массы Нернста 315
 — катодно-лучевые 316
 — силитовые 313
 — с нагревательным элементом из измельченного угля 314, 315
 — Таммана, короткозамкнутые 313, 314
 — электрические проволочные, изготовление 310, 311
- Печь для микроскопа 326
- Пинцеты 265
- Пистонфон 275
- Пленки висмутовые 126
 — графитовые 127
 — из кварца 126
 — — слюды 126
 — — стекла 126
 — коллоидные 128
 — металлические, получение испарением в вакууме 125
 — — , — катодным распылением 125
 — — , — электролитическим методом 125, 126
 — окисные 126, 127
 — — защитные на алюминии 22
 — органические 128, 129
 — поляризационные в ячейке Керра 386
 — — как фильтр 323
 — , применение для получения реплик 164
 — тонкие изолирующие 304, 306
 — — , исследование под электронным микроскопом 162, 163
 — углеродные 127
- Поверхности белые, изготовление 221
 — гладкие, получение 86
 — оптические, изготовление 212—219
 — — из искусственных смол 219
 — — параболические, изготовление 219
 — — плоские, изготовление 219, 220
 — — черные, изготовление 220
 — — шероховатые, получение 86
- Поверхность зеркальная металла 324
- Поглотители звука 281, 282, 283
- Покрытие антикоррозийное электролитическое 115
 — благородными металлами, вжигание 117
 — красками 87
 — методом взрывающейся проволоки 123, 124

- Покрытие методом испарения в высоком вакууме 118, 119
 — катодного распыления 122
 — окунанием 117
 Покрытия гальванические, снятие 116
 — жаро- и холодостойкие 88
 — жидкоплавкие 88
 — многослойные диэлектрические 123
 — органические 87
 — проводящие 87
 Поле звуковое, исследование 278, 279
 — магнитное однородное, получение 207, 208
 — — переменное, получение 209
 Полировка оптических поверхностей 214—218
 — стальных шаров 266
 — шлифовального диска 109
 — электролитическая 86, 115
 — для исследований по методу Виттера 212
 Пополнители тепла в термостате 248
 Предохранение слоев, полученных испарением металла в вакууме 121
 Приборы для измерения коротких времен 352, 353
 Приемник инфразвука 281
 Припои мягкие 71
 — стеклянные для вакуума 107, 108
 — твердые 75—79
 Проволоки «волосные» 130, 131
 — очень малой массы, изготовление 337
 — тонкие волластоновы, вальцовка 133, 134
 — —, изготовление волочением 130
 — — из металлического порошка 133
 — —, обработка и изготовление спиралей 135
 — —, получение методом Волластопа 131
 — —, травление 131, 132
 — Тэйлора 131
 Промывание фотослоев 231, 232
 Проницаемость стекла 60, 61
 Проявители быстродействующие 229, 230
 — выравнивающие 229
 — для бумаги и позитивов 229, 230
 — медленно работающие 229
 — мелкозернистые 229
 —, повышение устойчивости 230
 — тропические 229
 Проявитель для репродукции чертежей 230
 — Кодак 230, 231

 Разделение газообразных изотопов адсорбцией и десорбцией 43, 44
 — — — методом молекулярного пучка 43
 — — — диффузии 44
 — — — конвекционного расселения 44
 — — — электромагнитным 43
 — — — фракционной перегонкой 43
 — — — центрифугированием 44, 45
 Размагничивание 208
 Расплавы эмалевые 107, 108
 Распыление катодное 122, 123
 Распыление катодное при изготовлении термонар 338
 Реверберация 157
 Регулирование подачи жидкого воздуха 252
 — температуры автоматическое 348:
 — — в термостатах 245—247
 — — термисторами 249
 — — термометром пружинным 246:
 — — — ртутным 246
 — — — сопотривления 247, 248
 — числа оборотов электродвигателей 233, 234
 Регулятор низкого давления в виде У-трубки 237
 — — — на принципе картезианского водолаза 239
 — — — по Гильмонту и Отмеру 238
 — — — Томпа 238
 Реакка металлических монокристаллов 33, 34
 — стекла 109
 — стеклянных трубок 96
 Реплики, получение 164
 Ртуть, введение в спектральную трубку «петардным методом» 205
 —, собирание шариков 265

 Сварка аргоно-дуговая 81—83
 Сверление 266
 — стекла 108, 109
 — ультразвуком 160
 Светофильтры 317—324
 Свисток Гальтона 271
 Секундомеры, 354
 Селен, получение 37
 Серебрение быстрое 113
 — зеркал повторное 114
 — искусственных материалов 113
 — стекла 112, 113
 Силиконизация стекла 95
 Сирены 271
 Сифон для жидкого гелия 348
 Склеивание 64, 65
 Слои полупроводниковые на стекле 95, 96
 —, уменьшающие отражение 324, 325
 — черные золотые, поглощающие 220
 — —, фильтрующие 220
 — —, получение методом испарения металлов 220
 Смазка кранов и шлифов 193
 — Рамзая вакуумная 193, 194
 Смазки вакуумные 193, 194
 Соединение труб вакуумплотное фланцевое 196
 — — герметическое для высоких давлений 142
 — — на резьбе для высоких давлений 145
 Сопротивления жидкостные 299
 — керамики в зависимости от температуры 312
 Сопротивления из тонких металлических слоев 296, 297
 — — электронных ламп 300
 — металлические ленточные 296
 — — проволоочные 296
 — полупроводниковые из окиси меди 298

Сопротивления полупроводниковые из окиси урана 298
 — — с бороугольным слоем 298
 — — — германиевым слоем 298
 — — — угольным слоем 297
 Сосуд для работы в тройной точке воды 250, 251
 Сосуды Дьюара 344, 344, 347, 348
 — —, определение уровня жидкости 241
 Сотриения, защита по Бейкеру 168
 —, — — Бейкеру 167
 —, — — Мюллеру 167
 —, — — подвесом Юлиуса 166
 Спектры сцинтилляционные рентгеновских и γ -лучей, количественная оценка 375—377
 Спирали плоские, изготовление по Зигбану 290
 Спираль нагревательная для горячих катодов 286
 Сплавление кварца с металлами 56, 57
 — проволока с керамическими материалами 106
 — стекла и керамических материалов 105—108
 Сплавы для нагревательных обмоток 311
 —, обработка ультразвуком 159
 Способность отражательная металлов 324
 — разрешающая фотослоев 226
 Срезы микротомные, получение 160
 — тонкие, исследование под электронным микроскопом 163
 Стабилизаторы электрического напряжения 242, 243
 Стекло 55—62
 — как изолятор 303, 304
 —, обезгаживание 170
 —, обработка для вакуумтехнической аппаратуры 169—171
 —, — холодная 108
 —, — органическое 52, 53, 61, 62
 —, — полировка 216
 Стеклодувные инструменты 90, 91
 — работы 89—94
 Стереофония 268; 269
 Стол вибрационный 275
 — нагревательный для микроскопии 326, 327
 Стрелки магнитные для гальванометров, изготовление 210, 211
 Суспензия для метода Биттера при ферромагнитных исследованиях 211, 212
 Сушка фотослоев 233
 Сцинтилляторы 371—374
 — для регистрации β -излучения 372—373
 — — — γ -излучения 378
 — — — нейтронов 371, 372
 — — — протонов 371
 — жидкие 379
 — твердые, крепление 377, 378
 Счетчики Гейгера — Мюллера, изготовление 359—365
 — — — металлические 364
 — — — несамогасящиеся, изготовление 359, 360
 — — —, принципы работы 355—359

Счетчики Гейгера — Мюллера самогасящиеся, изготовление 360, 361
 — — — стеклянные 362, 363, 364
 — — — тонкостенные 364, 365
 — — —, форма 363
 — механические 368, 369
 — сцинтилляционные, принцип действия 370, 371
 Схемы пересчетные 368, 369.

Температура 0°C, получение 250, 251
 Температуры ниже 0°C, получение 251—253
 — низкие, получение 339—345
 Теневой метод обнаружения оптических неоднородностей среды 254, 255
 Теплопроводность сплавов при низких температурах 342, 343
 Термокраски 329
 Термометр газовый постоянного объема 346
 — давления паров 346
 — жидкостный пружинный 246
 — пентановый 345
 — ртутный, регулирование температуры 246, 247
 — сопротивления, изготовление 349—352
 — —, регулирование температуры 247
 Термопара Де-Шателъе 334
 Термопары 330—335
 —, выбор материалов 333
 — для измерения излучения 336—339
 — — — слабых переменных токов 335, 336
 —, изолированный ввод 150, 151
 Терморегулятор с тиратроном 247
 Термореле 246
 Термостат для низких температур 252
 — — — — металлический 253
 — на 100° С 244
 Термостаты, материал 249
 Термоэлемент паразитные в термопарах, устранение 332
 — термопар 334, 335
 Термоэлемент Остина 336
 Течи вакуумной аппаратуры, общие методы обнаружения 186—188
 Травление стекла и кварца 110—112
 — тонких проволок 131, 132
 Треугольник цветовой Гельмгольца 262
 Трубка рентгеновская 327
 Трубопровод вакуумный 195, 196
 —, конический ввод 146
 —, присоединение 145
 Трубопроводы высоких давлений 140
 — высоковакуумные, подвижные 198
 — — — — — стеклянные, изготовление 90, 91, 111, 112
 — — —, типы 90
 Трубочки металлические тонкие, изготовление 265
 — Нернста 308
 Тушь, удаление 265

- Удаление электрических зарядов с поверхности тел 264
- Углекислота чистая, получение 41, 42
- Уголь активированный, использованные для откачки 202
- Ультразвук, вибраторы разных типов 271, 272
- , — синтетические 275
- , — электродинамические 274
- , визуальное наблюдение 155
- , — — по Польману 156
- , дефектоскопия 158
- , излучатели 271, 272
- , измерение интенсивности 279
- , обработка сплавов 159
- , очистка металлических поверхностей 160
- , поглощение 281
- , получение эмульсий 158, 159
- , сверление 160
- , тепловое действие 279, 280
- , штамповка 160
- Ультразвуковой зонд 280
- интерферометр 280
- Уплотнение Бриджмена 147
- вакуумное фланцев замазкой 199
- «плавающее» 146
- самоуплотняющееся 147
- с медной шайбой 146
- Уплотнения для высоких давлений 147, 148
- линзовые для высоких давлений 145
- Уровень жидкого гелия, определение по термофонам 347
- Усилители для счетчиков Гейгера — Мюллера 365—370
- Усилитель дифференциальный постоянного тока 243
- линейный в ФЭУ 381, 382
- Фиксирование в фотоделе 231
- Фильтр Христиансена для выделения узкой области около любой длины волны 322
- Фильтры для выделения отдельных линий спектра 322, 323
- — специальных целей 320—324
- желатиновые 318
- жидкие 319
- интерференционные 317
- монохроматические 318
- нейтральные из пленок 323
- серые 318
- с определенной границей проницаемости 319, 320
- стеклянные плоские 112
- Флюсы 70, 74, 80
- Фольги металлические, изготовление 124, 125
- Фосфатирование поверхностей 86
- Фотография цветная 233
- Фотолаборатория, устройство 223, 224
- Фотослой для ядерных исследований 226
- , измерение по ним расстояний 233
- Фотослой, перенесение на изогнутую поверхность 328
- ; свойства 224—227
- , удаление 232
- , усиление отпечатков 232, 233
- Фотосопротивления полупроводниковые 390
- Фотоумножители, питание высокочастотное 381
- , характеристика 379, 381
- Фотозлементы 387—390
- полупроводниковые 390
- селеновые 388, 389
- Характеристика счетчика 358
- Хлор чистый, получение 41
- Хранение инертных газов 42
- Хроматирование поверхностей 86
- Чернь платиновая, нанесение 220
- Чертежи, изготовление на фотоснимках 232
- Число оборотов, постоянство 234, 235
- Чувствительность спектральная фотослов 225
- счетчика Гейгера — Мюллера 362
- фотослов 225
- Шкалы, нанесение 265
- Шланг вакуумный 196, 197
- Шланги 49, 50
- Шлифовка 86
- оптических поверхностей 213, 214
- Шлифы 97, 98
- в вакуумпроводе 192, 193
- Штамповка ультразвуком 160
- Штифты Нерста, изготовление 307, 308, 309
- Экранирование от магнитных полей 205—207
- помещений 161, 162
- приборов 161
- проводов 161, 162
- Экраны люминесцирующие, изготовление 306, 307
- Экспозиция при фотосъемке 227, 228
- Эластичные материалы 49, 50
- Электроды для разрядных трубок 283
- — электролиза серебряные 284
- — — стеклянные 284
- — — угольные 284
- светочувствительные, изготовление 284
- Электролиз щелочного металла через стеклянную стенку 12, 13
- Электрометры, листочки 129, 130
- Электронная микроскопия, получение тонких срезов 49
- Эхо, устранение 282, 283
- Ячейка Керра, применения 385, 386
- —, устройство 384, 385

