

МОСКОВСКИЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА И ОРДЕНА ТРУДОВОГО  
КРАСНОГО ЗНАМЕНИ  
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ имени М. В. ЛОМОНОСОВА

СЕКЦИЯ ИСТОРИИ МЕТОДОЛОГИИ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ  
УЧЕНОГО СОВЕТА ПО ЕСТЕСТВЕННЫМ НАУКАМ

# ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК

ВЫПУСК X

Ф И З И К А

Под редакцией А. С. Предводителя

ИЗДАТЕЛЬСТВО  
МОСКОВСКОГО УНИВЕРСИТЕТА  
1971

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

И. Г. Башмакова, Д. И. Гордеев (председатель  
и главный редактор), А. Ф. Кононков (ученый сек-  
ретарь), Н. П. Наумов, К. А. Рыбников,  
А. И. Соловьев (зам. главного редактора),  
Б. И. Спасский (зам. главного редактора), И. А. Тю-  
лина, А. Х. Хргиан, М. И. Шапаронов,  
Н. С. Шевцов

Печатается по постановлению  
Редакционно-издательского совета  
Московского университета

**П. С. КУДРЯВЦЕВ**

## **О НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМАХ ИСТОРИИ НАУКИ**

История науки существует давно. Еще Аристотель в своих сочинениях критически анализировал воззрения своих предшественников, начиная с Фалеса, и рассматривал вопрос о последовательном возникновении наук и искусств. Из школы Аристотеля вышли ученые, которых можно назвать первыми историками науки: Теофраст и Евдем. В средневековых университетах основа научного образования состояла из изучения и комментирования Аристотеля. Переход от средневековой схоластики к новой науке, опирающейся на эксперимент и математику, подготовлялся изучением великих математиков и философов древности и критикой естественнонаучных взглядов Аристотеля.

Лагранж, открывая новую страницу в развитии механики, предположил ее аналитическому изложению исторический очерк статики и динамики. Фарадей, приступая к исследованиям электромагнетизма, которым суждено было повернуть науку об электричестве на новый путь, начинал с исторического очерка. В эпоху Фарадея появились и такие фундаментальные исследования по истории науки, как «История индуктивных наук» Уэвелла. Это сочинение, в свою очередь, опиралось на предыдущие исторические исследования начиная с XVII в. Уэвелл указывает, в частности, на «Историю математики» Монтюкла (1758), с двумя дополнительными темами Де Лаланда (1802), труды Даламбера по истории астрономии, историю астрономии Байли, историю физики Фишера.

Большой интерес к истории науки проявляли Маркс и Энгельс. Этот интерес проходит красной нитью через все основные произведения основателей научного социализма, а «Диалектика природы» Энгельса показывает, что при осуществлении замысла Энгельса мы имели бы фундаментальный марксистский труд по истории и философии науки. Конец XIX и начало XX в. характеризуются повышенным интересом естествоиспытателей к истории и философии естествознания. Работы Маха, Дюгема, Освальда, Пуанкаре и других явились свидетельством этого интереса. Это имело не только специальное научное и философское значение, но и приобрело общественное звучание благодаря гениальной работе Ленина «Материализм и эмпириокритицизм».

Таким образом, начиная с Аристотеля и кончая нашими днями история науки, и в частности история физико-математических наук, прошла большой путь развития. Тем не менее и сейчас она еще не полно-

стью оформилась как самостоятельная наука со своими задачами и методами исследования, с четко определенным местом в системе наук. Она еще не получила «прав гражданства», как отдельная научная дисциплина. В 1933 г. С. И. Вавилов отмечал, что история науки все еще пребывает «в колыбели персональных характеристик и биографий хронологических дат, и, во многих случаях, весьма не совершенных документаций». Он указывал далее, что «до сего времени не прекращаются споры о возможной ненужности истории науки», указывал на отсутствие кадров специалистов историков науки, в чем, по его мнению, «кроется немаловажная причина плачевного состояния истории науки»<sup>1</sup>.

В послевоенные годы интерес к истории науки значительно возрос. Возобновили свою деятельность Международный союз истории и философии науки и Международная академия истории наук, периодически созывающие международные конгрессы.

В СССР еще в конце войны был учрежден Институт истории естествознания Академии наук СССР, преобразованный позднее в Институт истории естествознания и техники Академии наук. В 1956 г. был создан Комитет советского национального объединения историков естествознания и техники, и советские историки науки вошли в Международный союз истории науки. В ряде высших учебных заведений, в том числе и в Московском университете, были учреждены кафедры по истории отдельных наук и техники, в учебные планы ряда вузов были введены курсы истории наук и техники, учреждена аспирантура по истории науки и техники. Развернулась интенсивная научная работа по истории отечественной науки. По инициативе С. И. Вавилова начала выходить фундаментальная серия «Классики науки» под редакцией и с комментариями видных советских ученых (начиная с С. И. Вавилова).

Эта оживленная работа по истории науки совпала с бурным развитием науки и техники, обозначившим новую фазу научно-технической революции. В статье (1933) «Старая и новая физика», откуда мы брали выдержки, характеризующие неудовлетворительное состояние истории науки, Вавилов писал: «Можно надеяться, что история науки когда-нибудь сама станет наукой. Залог этому — до тривиальности очевидный рост естествознания и техники и сотни тысяч людей, творящих историю науки на земном шаре на наших глазах. Нельзя оставить без внимания это неустанное движение, это мощное явление природы, способное изменить Землю не менее радикально, чем землетрясения и потопа. Понять этот процесс, как всегда, значит во многом им овладеть и научиться направлять его, куда нужно. История науки — необходимая и, пожалуй, даже достаточная предпосылка планирования науки. Поэтому рано или поздно история науки должна стать наукой».

Сегодня эти слова Вавилова звучат особенно злободневно. Человечество узнало атомные взрывы, создало искусственные космические тела, земные аппараты достигли Венеры и Марса, сооружены атомные электростанции и корабли, построены лазеры и «умные» машины, и сегодняшняя наука ставит перед собой цели планетарного и космического масштабов. Возросла армия людей, творящих науку, «научное производство» индустриализировалось, поток научной информации грозит затопить все библиотеки мира. Все это делает задачу познания наукой самое себя, выдвинутую Вавиловым еще в 1933 г., чрезвычайно актуальной, острейшей проблемой современности. Налицо острая необходимость в истории науки.

<sup>1</sup> С. И. Вавилов. Старая и новая физика. «История и методология естественных наук», вып. 3. Изд-во МГУ, 1965.

Вместе с тем совершенно очевидно, что уровень исследований по истории науки далеко еще не соответствует тем требованиям, которые предъявляет к истории науки наука и общество.

В своей статье Вавилов указывает на ряд важных проблем, еще не решенных историей науки. Не дано ответа на вопрос о связи доначучных и вненаучных знаний с наукой, о переходе инстинктов условных рефлексов, привычек и знаний дикаря в науку.

Вавилов подметил, что наука в своем развитии превращается в производительную силу. «История науки, — пишет он, — путем анализа социально-экономических отношений должна найти причины этого величайшего процесса превращения науки в двигателя истории».

Различные технические и научные открытия имеют неодинаковые социальные значения, приводят к неодинаковому общественным результатам. «Это показательное несоответствие между структурой самой науки, ее собственной оценкой научных результатов и их значением для общества до сих пор не затронуто историей науки. Между тем, здесь кроется один из основных организационных и, может быть, физических вопросов самой науки», — замечает Вавилов и обращает свое внимание на вопрос о том, «чем определялась и определяется тематика научного исследования». Вавилов указывает, что к изучению этого важнейшего вопроса для истории науки приступили только теперь и только марксисты. Здесь, видимо, Вавилов, в частности, имеет в виду известный доклад Б. М. Гессена на II Международном конгрессе по истории науки и техники в Лондоне («Социально-экономические позиции Ньютона»), в котором делалась попытка понять историческую обусловленность появления ньютоновской механики. К сожалению, с тридцатых годов и до настоящего времени марксистские историки науки не далеко продвинулись в этом направлении. Более того, в послевоенные годы заметно снизился интерес советских историков к таким обобщающим историческим исследованиям за счет повышения внимания к частным исследованиям деятельности отдельных ученых и развитию отдельных научных направлений. Например, в десяти томах «Трудов Института истории естествознания и техники АН СССР», посвященных истории физико-математических наук и вышедших в 1954—1961 гг., почти все статьи по истории физики посвящены либо отдельным ученым, либо отдельным вопросам, например работа под названием «Возникновение квантовой теории света», «Очерки по истории физики полупроводников», «К истории учения о потенциале» и т. д. Ни в одном из этих томов нет ни одной попытки хотя бы подойти к решению проблем, намеченных выдающимся историком физики Вавиловым.

Вообще тематика исторических исследований все еще носит случайный, «любительский» характер. Вполне оправданным является интерес к истории отечественной науки. Этот запущенный участок истории науки в прошлом надо было «привести в порядок», ликвидировать «белое пятно» в истории мировой науки. Историю отечественной науки советским историкам науки придется разрабатывать и впредь — это их долг перед советским народом, перед мировой историей науки. Можно понять и увлечение историей современной науки: квантовой, ядерной и релятивистской физикой, но следует заметить, что здесь полезнее было бы эту работу вести в тесном контакте с научными учреждениями.

Современная наука развивается быстро и вместе с тем в сложных условиях. Она требует дорогостоящего оборудования и большой затраты человеческого труда. То, что делал раньше ученый-одиночка с приборами, изготавливаемыми вручную (зачастую самим исследователем), сегодня делают коллективы ученых, инженеров, техников, лаборантов,

рабочих. При этом к современному экспериментатору по-прежнему предъявляется требование Франклина: уметь пилить пилой и сверлить буравчиком, т. е. проявлять максимум изобретательности и ловкости, налаживая экспериментальную установку. Вместе с тем публикуемая информация о законченных исследованиях настолько лаконична, что только тот, кто хорошо знаком с существом дела, в состоянии оценить труд, вложенный в работу, да и для специалиста, не принимавшего непосредственного участия в исследовании, останутся неизвестными успехи и разочарования и многие ценные идеи, появившиеся в процессе работы. Вот почему исследования по истории современной науки должны вестись в гуще творческого коллектива соответствующим специалистом, «историком-архивистом» — так его можно назвать. В прошлом властители содержания придворных историков, описывающих их дела и подвиги. С развитием человечества все более и более выдвигаются на первый план подвиги человека в борьбе с природой, и вполне уместно на передовых участках этой борьбы иметь «придворных историков».

Возможно, что в будущем в научных институтах будут специальные «историко-информационные отделы».

В прошлом физик выполнял сам и работу экспериментатора, и работу теоретика, и работу историка. Он выполнял необходимые расчеты, создавал теорию вопроса, проводил эксперимент и составлял исторический обзор. В конце XIX в. произошло разделение труда между экспериментаторами и теоретиками, однако историческую часть работы ученый все еще выполнял сам. Теперь следить за литературой становится очень сложным делом, обработать поток информации даже по узкой проблеме — весьма трудоемкое дело. Предполагается в дальнейшем использовать машинную технику. Но машины в теоретических расчетах являются только вспомогательным средством, они не могут заменить голову теоретика. Идеи и методы — дело человека и только человека.

Точно так же развитие науки потребует специалиста, умеющего хорошо ориентироваться в научной литературе, оценивать значимость, и именно историческую значимость работ, владеющего «чувством исторической перспективы». Вот такие-то специалисты-историки и помогут делу правильного планирования науки, о котором думал Вавилон. Пока наши историки еще очень далеки от этого уровня. Вообще требования, предъявляемые к специалисту-историку, еще достаточно четко не сформулированы, да и самой подготовке кадров «историков науки» уделяют мало внимания. Бряд ли это оправдано. Общество и наука нуждаются в истории науки и в необходимых кадрах историков.

Я хочу остановиться еще на одной важной проблеме, выдвинутой современной научно-технической революцией, в решении которой может и должна принять участие история науки. Речь идет о взаимосвязи преподавания и науки и подготовке молодежи к практической и научной деятельности в современную динамичную эпоху.

В прошлом, когда наука и жизнь менялись медленно, сложившиеся традиции среднего и высшего образования не вступали в резкое противоречие с жизнью и наукой. Конечно, школьная наука всегда отставала от реальной науки; полученные учеными знания «отстаивались» прежде, чем получить доступ в школу. Происходил процесс отборки научных знаний и приспособлений их к нуждам преподавания. Общество в лице своих учреждений, ведающих делом просвещения, регламентировало преподавание, утверждало учебные планы и программы и не нужно было слишком часто менять установившиеся формы обучения. Если изменения в науке происходят непрерывно, можно сказать, день

за днем, то изменения в обучении происходили значительно медленнее, программа и содержание обучения не меняются годами и десятилетиями.

Собственно говоря, в школах и университетах преподавалась не сама наука, а экстракт из полученных знаний, приведенный в определенную систему и форму. Фридерик Солди в начале нашего века метко выразился, что этот экстракт «немногим лучше надгробного памятника науке». Еще в 1931 г. Эварист Галуа, говоря о французских колледжах, писал: «Старается кто-нибудь уже при изложении простейших методов заставить их (учащихся) почувствовать истинный дух науки? Становится ли для них умение рассуждать второй памятью?» и далее: «До каких пор несчастные молодые люди должны будут целый день слушать и заучивать услышанное? Когда у них будет время обдумать всю эту кучу полученных ими сведений и осмыслить множество беспорядочно нагроможденных теорем и не связанных друг с другом алгебраических преобразований?»<sup>2</sup>.

Итак, уже более ста тридцати лет назад знаменитый математик отмечал несоответствие преподавания духу науки, а через семьдесят лет после него выдающийся радиохимик вновь констатировал это. Сейчас это несоответствие стало еще более острым, еще более нетерпимым. Попытки «угнаться за наукой» приводят только к разбуханию программ, учебников, к увеличению учебной нагрузки. Обо всем этом не устану говорить наша печать, с тревогой отмечая, что качество выпускников как средней, так и высшей школы оставляет желать лучшего.

Серьезно озабочена подготовкой молодых кадров и наука, отрыв научных институтов от учебных заведений лишил эти институты постоянного источника молодых кадров и ведущие ученые нашей страны, например академики физики И. Е. Тамм и В. Л. Гинзбург, выступали на страницах широкой печати, привлекая внимание общественности к этому тревожащему обстоятельству. Вопрос, чему и как учить молодежь в современных условиях, как обеспечить пополнение научных кадров молодыми силами, стал насущной проблемой большого социального значения.

И вот здесь-то существенную роль могла бы оказать история науки. К сожалению процесс развития науки обычно освещается либо с точки зрения внутренней логики развития, либо, если исследуются и социальные факторы, то только социально-экономические факторы, а другие общественные связи науки остаются в стороне. В известной книге М. Лауэ «История физики» мы читаем: «В основном физика могла спокойно развиваться по собственным законам. Она не оставалась при этом чуждой жизни. Оказывая непосредственное влияние своими техническими изменениями, она не менее сильно влияла на жизнь как отдельных людей, так и народов своими идеями, в силу чего политическая история также не может быть понята без этих влияний. Одной из попутных целей нашего изложения будет доказательство того, как глубоко проникла мыслительная работа физиков за три или три с половиной столетия в духовное формирование людей».

Отметим, что эти строки были написаны в 1947 г., т. е. через два года после того, как мир узнал о существовании атомной бомбы. Вряд ли работу физиков над атомной энергией, сыгравшей огромную роль в развитии современной физики, можно признать «спокойным» развитием физики «по собственным законам». Однако Лауэ бесспорно прав,

---

<sup>2</sup> А. Дальма. Эварист Галуа — революционер и математик. М., Физматгиз, 1960, стр. 118.

утверждая, что мыслительная работа физиков играет важную роль в духовном формировании современных людей. Но как проникает эта мыслительная работа в область духовного формирования человечества? На этот вопрос книга Лауэ, равно как и многие другие книги по истории науки, не дает ответа. А между тем основным каналом, по которому научное мировоззрение распространяется в обществе, является школа.

О том, как наука и научные методы проникали в школу, как происходил отбор научных знаний, как в высшей школе происходило формирование научных кадров, история науки, как правило, ничего не говорит. Этот важнейший для самой науки, для характеристики ее взаимодействия с обществом вопрос не исследовался историками науки с тем вниманием, какого он заслуживает по своему научному и общественному значению.

Конечно, время от времени по тому или иному поводу высшая школа привлекала внимание историков. Например, историки математики говорят о важном значении политехнической школы в начале прошлого столетия для развития математических наук во Франции и Европе. Но как только политехническая школа утратила свое ведущее значение, ею перестали интересоваться, хотя она, несомненно, продолжала сохранять свое национальное значение центра подготовки высококвалифицированных специалистов. Эта основная задача высшей школы — подготовка квалифицированных специалистов, подготовка творческой интеллигенции и не интересует историка науки, как якобы не имеющая отношения к развитию науки, хотя именно здесь-то и лежит главная область «духовного формирования» общества. Во всяком случае исследование взаимосвязи науки и преподавания в ее историческом развитии представляет несомненный научный и общественный интерес.

Как видим, перед историей науки стоит много важных нерешенных задач большой сложности. Для их решения нужны высококвалифицированные кадры историков науки. Об этих кадрах думал еще Вавилов, когда писал неоднократно цитируемую нами статью «Старая и новая физика».

С тех пор прошло 35 лет. Однако положение с кадрами историков науки продолжает оставаться напряженным. Кафедры и курсы истории науки в вузах по существу ликвидированы, аспирантуры по истории науки фактически нет, защита кандидатских и докторских диссертаций по истории науки проходит от случая к случаю с большими трудностями. Среди руководящих работников науки и высшей школы далеко не изжито скептическое отношение к истории науки как науке.

Положение усугубляется тем, что история науки чрезвычайно многосторонняя, многоплановая и, как выражался С. И. Вавилов, «многожанровая» область знания, овладение которой требует огромных усилий и главное — времени. Историк науки должен хорошо знать саму науку, при этом не какую-либо узкую ее область, а всю данную науку в целом и ее смежные области. Широкий научный кругозор обязателен для квалифицированного историка. Помимо этого он должен обладать основательными знаниями в области гуманитарных наук и владеть языками, владеть навыками работ с архивными материалами и историческими документами.

В современном высшем заведении студент (как правило) не получает такой широкой подготовки, его общая культура далеко недостаточна, чтобы при поступлении в аспирантуру владеть необходимым минимумом знаний для исторического исследования, у него нет также



достаточной научной зрелости для самостоятельных суждений по исследуемой проблеме. Поэтому кандидатские диссертации по истории физики, как правило, носят характер исторического обзора какой-нибудь области науки, обычно современной, или посвященных анализу деятельности какого-либо ученого, обычно отечественного. Эти обзоры и критико-биографические очерки (нередко носящие характер панегирика) мало интересны и не привлекают внимания специалистов.

Значительно интереснее исследования по древней, средневековой, восточной науке, если они проведены специалистами, хорошо знающими язык и культуру изучаемой эпохи. Крупным специалистом такого рода был В. П. Зубов, который, к сожалению, не оставил учеников. Серьезные исследования по истории средневековой, арабской и европейской математики ведутся под руководством Б. А. Розенфельда. Но знание латинского, греческого, арабского и санскритского языков не является распространенным среди учащейся молодежи и вопрос о подготовке кадров таких историков остается не решенным до конца. К тому же возникает вопрос об использовании кадров историков науки. Институт истории науки и техники — один на всю советскую страну, его штатные возможности малы, в высших учебных заведениях история науки не преподается, а если и преподается, то в таком незначительном количестве часов, какого не хватит и на четверть ставки преподавателя.

При существующем положении лица, занимающиеся в вузе научной работой по истории науки, ведут активную педагогическую работу не по истории, а по самой науке: по физике, теоретической физике и т. д. Совершенно очевидно, что в таких условиях заниматься, скажем, Ибн-аль-Хайсамом — значит заниматься, так сказать, «сверх плана», сверх прямой служебной работы, в полном отрыве от нее. Немудрено, что сейчас исторические исследования носят «любительский характер», ими занимаются не потому, что они поощряются в вузах, а скорее потому, что их кое-как терпят. Поэтому история науки у нас все еще находится в неудовлетворительном состоянии. Достаточно сказать, что это единственная отрасль знания, которая не имеет своего периодического печатного органа.

Настало время серьезно подумать о будущем истории науки как науки. Бурно развивающаяся наука современного общества, ее растущее социальное значение настоятельно требует научного исследования развития науки. Сейчас Вавилов сказал бы, что «не рано или поздно», а именно сегодня «история науки должна стать наукой».

*Л. В. ЗАРЖИЦКАЯ, Б. И. СПАССКИЙ*

## **КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ РАЗВИТИЯ ОТДЕЛЬНЫХ РАЗДЕЛОВ ФИЗИКИ<sup>1</sup>**

В настоящее время все шире разрабатываются количественные методы анализа развития науки вообще и отдельных наук и даже отдельных областей наук в частности. Для исследования закономерностей развития науки такой анализ помимо теоретического значения может иметь и практическое значение, так как его результаты могут быть использованы для прогнозирования и планирования науки.

Основным вопросом количественного анализа развития науки является вопрос о том, какие величины могут быть приняты как определяющие ее состояние и характеризующие ее развитие.

В качестве таких наиболее простых величин в настоящее время принимают количество научных публикаций, количество людей, участвующих в научных исследованиях, и средства, затрачиваемые на науку. Очевидно, что наиболее удачным количественным показателем является число публикаций. Данные могут быть легко получены из реферативных журналов. Конечно, такой способ количественной оценки не может считаться достаточно строгим, тем не менее полученные результаты в состоянии представить приближенную картину развития отдельных отраслей науки и могут служить предметом анализа хода их развития и даже по ним можно строить некоторые прогнозы на ближайшее будущее.

Правда, в настоящее время разрабатываются более интересные методы количественной оценки развития науки, например метод, основанный на использовании индекса научных цитат (Д. Прайс, В. В. Налимов и др.), который дает возможность проследить за развитием научных идей и научных направлений. Однако, как пишут В. В. Налимов и З. А. Мульченко, этот метод пока носит лишь иллюстративный характер, так как исследование приходится начинать с того момента, когда стали появляться индексы цитат<sup>2</sup>. (Имеется в виду «Индекс научных цитат» Горфильда и Шера.)

Другой метод количественной оценки развития науки предложил Г. А. Лахтин: использовать в качестве количественной оценки научной

<sup>1</sup> Работа была начата совместно с А. А. Зворыкинским.

<sup>2</sup> Анализ закономерностей и прогнозирования развития науки и техники (тезисы докладов симпозиума), вып. 1. Киев, 1967, стр. 28.

работы количество содержащейся в ней новой информации<sup>3</sup>. Подобный метод предложил также А. Н. Вяльцев на Межвузовской конференции физико-математических наук в г. Тамбове. Однако эти методы еще находятся в стадии разработки.

Таким образом, старый и, возможно, грубый метод количественной оценки развития отдельных областей науки по количеству научных публикаций пока остается действительным.

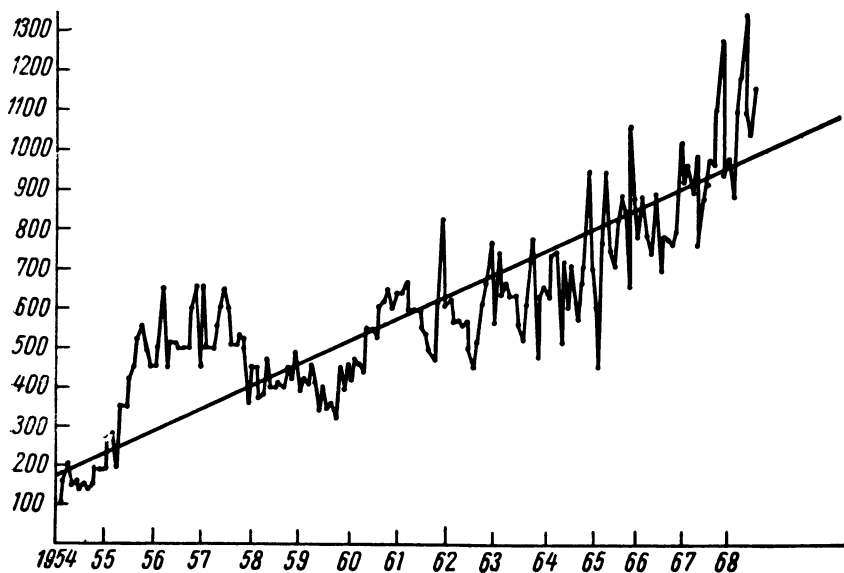


Рис. 1. Твердое тело

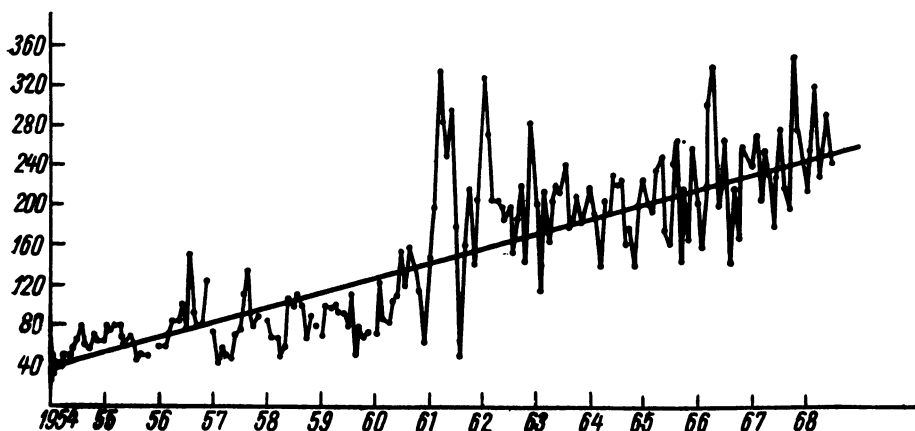


Рис. 2. Теоретическая физика

В нашей работе был проведен подсчет публикаций по различным разделам физики и построены соответствующие графики, дающие картину развития этих разделов. Прежде всего для этой цели был исполь-

<sup>3</sup> Г. Н. Лахтин. О количественных критериях эффективности научно-исследовательской работы. В сб.: «Эффективность научно-технического творчества». Новосибирск, 1968, стр. 29.

зован советский реферативный журнал «Физика» за период с 1954 г. (год начала издания этого журнала) по 1968 г.

Из полученных при этом результатов рассмотрим графики, изображающие развитие физики твердого тела, теоретической физики, физики элементарных частиц, ядерной физики и физики плазмы. Как видно, первые два графика могут быть аппроксимированы прямыми<sup>4</sup>.

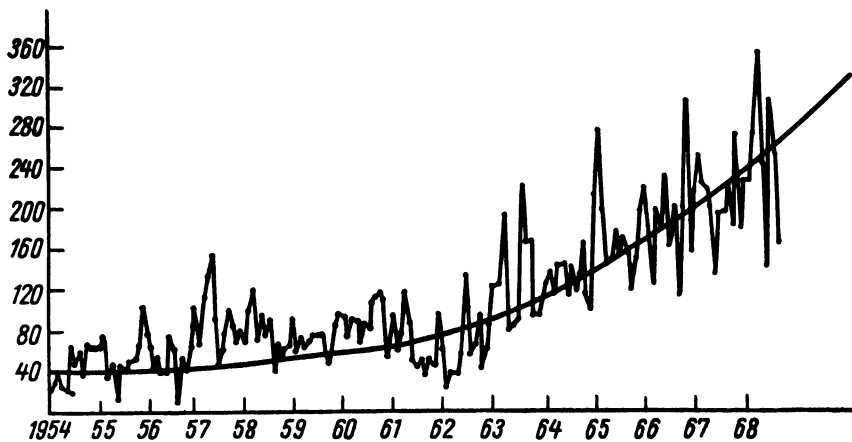


Рис. 3. Элементарные частицы

Это означает, что рассматриваемые разделы физики развивались более или менее равномерно. Причем особенно быстро развивалась физика твердого тела. Последнее вполне понятно, если учесть теоретическую и практическую важность этой области физических наук.

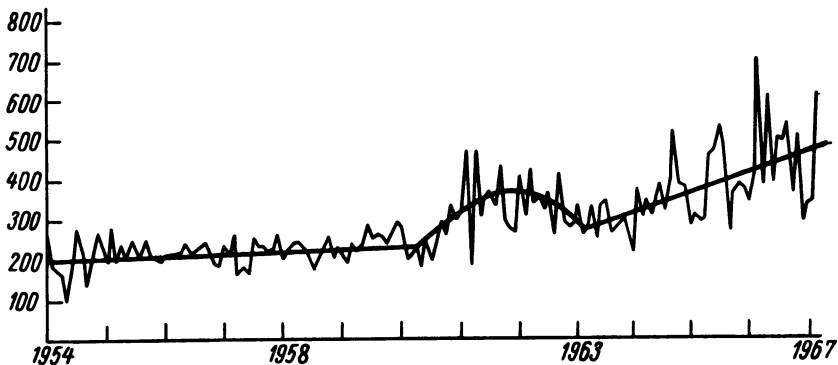


Рис. 4. Ядерная физика

Равномерное развитие данных областей физики дает возможность предполагать, что и в последующем некоторое время они также будут развиваться равномерно с той же скоростью, т. е. высказать предположение о их дальнейшем развитии.

Из графика, изображающего развитие физики элементарных частиц, (рис. 3) видно, что этот график может быть представлен в виде возрастающей плавной кривой (например, экспоненты), что говорит об ускоренном ходе развития данной области физики. В этом случае

<sup>4</sup> При аппроксимации применялся способ наименьших квадратов.

также могут быть высказаны предположения о дальнейшем ходе развития этой области физики.

Более сложным является график развития ядерной физики (рис. 4). Его можно разбить на три участка: 1954—1960, 1960—1963, 1963—

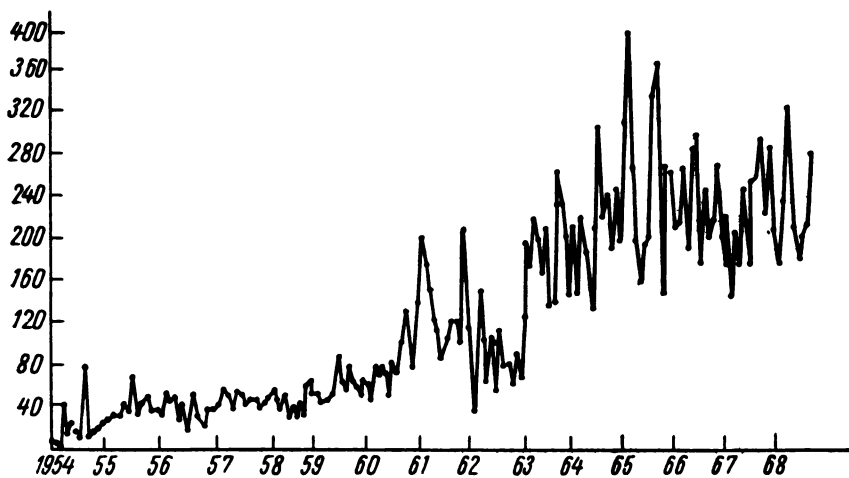


Рис. 5. Плазма

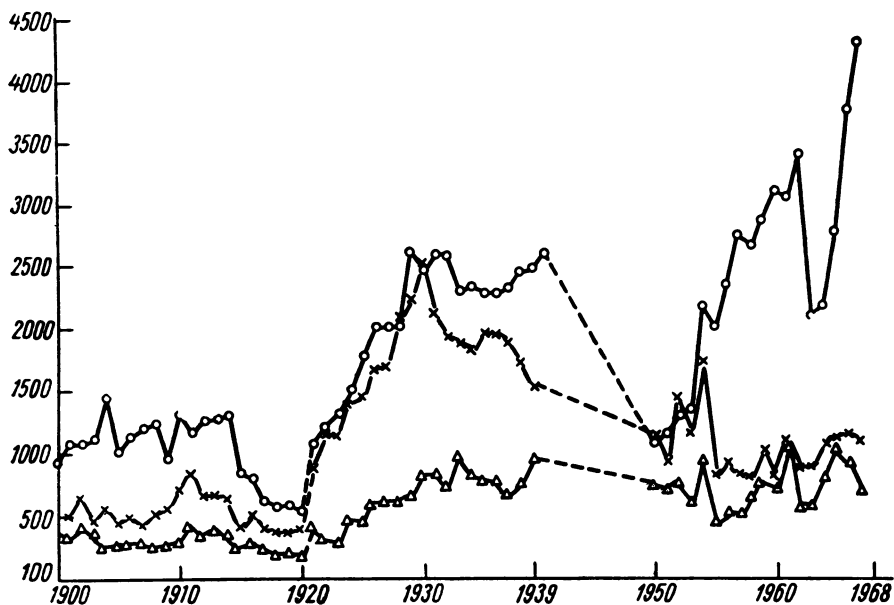


Рис. 6. Данные журналов «Fortschritte der Physik» и «Physikalische Berichte»:  $\Delta$  — теплота;  $\circ$  — электричество;  $\times$  — оптика

1967 г. Первый и третий участок можно аппроксимировать прямыми, причем вторая прямая идет заметно круче. Вряд ли такая картина отражает действительный ход развития ядерной физики. Здесь нужно учитывать тот факт, что далеко не все работы по этому разделу физики поступали в открытую печать и в большей степени до 1960 г. Если

это верно, то в ближайшее время можно ожидать уменьшение скорости роста числа работ по ядерной физике.

Что касается периода 1960—1963 гг., то здесь увеличение числа работ можно объяснить появлением работ по исследованию эффекта Мессбауэра.

Рассмотрение графика, построенного для физики плазмы (рис. 5), показывает, что число публикаций начиная с 1959—1966 гг. быстро возрастает, а с 1966 г. намечается уменьшение их роста. Такой ход кривой понятен: быстрое развитие исследований с расчетом получить управляемые термоядерные реакции; в дальнейшем — затруднения, встретившиеся на этом пути.

Нами было рассмотрено также развитие некоторых областей физики (теплофизики, оптики и электричества) таким же способом за длительный период начиная с 1900 по 1967 г. Для этой цели были взяты немецкие реферативные журналы «Fortschritte der Physik» (1900—1920) и «Physikalische Berichte» (1921—1967). Эти журналы имеют преимущество перед журналом «Physics Abstracts» в том, что в них номенклатура физических разделов более устойчива и в основном не изменялась за дальнейший период.

Как видно из приводимых графиков (рис. 6), получаются довольно причудливые кривые, которые нельзя интерпретировать какими-либо простыми функциями. Однако из их рассмотрения можно сделать ряд заключений. Прежде всего довольно четко видно падение числа работ в периоды первой и второй мировых войн для всех рассматриваемых разделов (в связи с этим мы не производили подсчета для периода с 1941 по 1950 г.).

Наиболее равномерно шло развитие теплофизики, график которой грубо можно было бы даже аппроксимировать прямой. И в данном случае возможен прогноз на будущее.

График, представляющий развитие электричества, гораздо более причудливый. Но и здесь можно видеть общую тенденцию к развитию этой области физики.

Интересен график, представляющий развитие оптики. Здесь явно вырисовывается пик, приходящийся на 1920—1939 гг. с максимумом в 1929 г. Такой ход кривой понятен. На эти годы приходится развитие квантовой физики. Основным же разделом физики, на основе которой развивалась квантовая теория, была оптика, спектроскопия атомов и молекул. После того как были решены оптические задачи, допускающие более или менее простые решения, оптика, так сказать, вошла в свое нормальное русло.

В заключение можно сделать вывод. Рассматриваемый метод дает возможность проводить некоторый анализ развития отдельных разделов физики, выделяя те или иные особенности этого развития. Если, к тому же, на развитие какой-либо области физики не влияют посторонние факторы, такие, как политика, и если в данной области не имеют места какие-либо новые принципиальные открытия и развитие этой области может быть представлено простой функцией времени, то можно надеяться в данном случае на возможность прогноза на будущее.

**Ц. С. САРАНГОВ, Б. И. СПАСКИЙ**

## **О МЕТОДЕ АНАЛОГИЙ КАК ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАЗВИТИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ НАУКИ**

### **§ 1. АНАЛОГИИ В ШИРОКОМ И УЗКОМ СМЫСЛЕ**

Как уже много раз подчеркивалось, начиная с древних времен в познании окружающей действительности большую роль играет метод использования аналогий.

Среди различных типов аналогий, применяемых в физике, важную роль, во-первых, играют аналогии между эмпирически найденными законами и законами математики. Максвелл даже считал, что построение теории вообще является не чем иным, как установлением такой аналогии.

Назвав такого рода аналогию наиболее общей аналогией, он писал: «В этом смысле все применение математики в науке основано на соотношениях между законами, которым подчиняются физические величины, и законами математики...» ([1], стр. 12).

При применении математики к физике, однако, возможны два случая. Первый — это когда законы или закономерности той конкретной области знания, к которой хотят применить соответствующие законы математики, еще не установлены. В этом случае уже известные законы математики стимулируют поиски соответствующих законов конкретной области знания и помогают в этих поисках. Так, идеи неевклидовой геометрии, естественно, стимулировали поиски новых физических фактов, понятий и теорий. Известно, что и Гаусс и Лобачевский пытались найти подтверждение своим геометрическим идеям, приведя их в соответствие конкретным фактам физического мира. А поскольку такие факты не были известны, то они проводили (сами или с помощью других) измерения суммы углов треугольника, образованного астрономическими объектами. Эйнштейн, открыв общую теорию относительности, установил соответствие между римановой геометрией и явлением тяготения и тем самым аналогию в широком смысле между математикой и физикой или, точнее, между соответствующими областями этих наук.

Второй случай — это когда закономерности конкретной области знания найдены, но они еще не приведены в соответствие с математическими понятиями и законами. Так, например, обстояло дело с развитием учения об электромагнетизме до Максвелла. Огромное количество фактов обобщалось в основном на чисто эмпирическом уровне. Макс-

велл установил полное соответствие между этими фактами и вполне определенными уравнениями в частных производных, открыв теорию электромагнитного поля. Более того, в процессе установления этой аналогии Максвелл обнаружил, что для полного соответствия в мире физических или, точнее, электромагнитных явлений не хватает факта или явления, соответствующего некоторому члену уравнения, названному током смещения. Введение этого члена приводило чисто математически к введению понятия электромагнитной волны. Как известно, дальнейшее развитие науки показало, что аналогия Максвелла вполне правомерна. Действительно оказалось, что математическому току смещения и математическим волнам соответствуют в природе реальный физический ток смещения и физические электромагнитные волны.

Здесь математический аппарат дифференциальных уравнений в частных производных был уже разработан и Максвелл в совершенстве владел им. Задача его заключалась в том, чтобы язык физических образов (силовые линии, силовые трубки), которым пользовался Фарадей, перевести на язык математики, на язык уравнений.

Иной случай представляет открытие Гейзенбергом матричной формы квантовой механики; эмпирические физические закономерности были уже известны, но плохо или вовсе не укладывались в рамках существующей теории или модели Бора. И Гейзенберг ищет и открывает новый математический аппарат, адекватно описывающий эти эмпирические закономерности, не зная (по свидетельству М. Борна), что этот математический аппарат матричного исчисления уже был хорошо разработан математиками в середине прошлого столетия. Гейзенберг установил аналогию между матричным исчислением и эмпирическими закономерностями, относящимися к систематике спектральных линий. При этом, устанавливая эту аналогию, он сделал, во-первых, открытие новой механики, новой физической теории и, во-вторых, открыл самостоятельно вновь новое математическое исчисление.

Трудности, возникшие в современной теории элементарных частиц, нередко дают повод высказываниям об отсутствии в современной математике аппарата, способного адекватно описывать эмпирические закономерности, относящиеся к этой области физики. С точки зрения обсуждаемого здесь тезиса о наличии аналогии (в смысле более или менее полного соответствия), между математикой и логикой, как миром идей и понятий, с одной стороны, и конкретными эмпирическими фактами как миром реальных вещей, с другой стороны, такие же высказывания являются правомерными. И действительно, если наука развивается так, что рано или поздно между миром идей и миром вещей устанавливается аналогия, соответствие, а, с другой стороны, между известным миром идей и миром элементарных частиц не удастся установить это соответствие, то вполне закономерным является предположение, что существующий мир идей должен быть существенно дополнен и изменен, чтобы стало возможным установление этого соответствия, т. е. поиски существенно новых математических и логических понятий, нового математического и логического аппарата для адекватного описания эмпирических закономерностей, относящихся к миру элементарных частиц, становятся необходимыми<sup>1</sup>.

Если рассматривать применение метода аналогий между математикой и конкретными областями знаний как закономерность развития науки, то становится понятным «механизм» взаимодействия между ни-

<sup>1</sup> Впрочем, уже пройденный этап в развитии теории элементарных частиц явился стимулирующим фактором в развитии теории линейных операторов, теории обобщенных функций.



ми в процессе их развития. Здесь невольно напрашивается некий образ рычага, одно плечо которого «нагружено» миром идей (т. е. чисто математическими и логическими понятиями и закономерностями), а другое плечо — миром вещей (т. е. эмпирически установленными фактами и закономерностями).

Развитие науки происходит так, что этот «рычаг» стремится быть в равновесии. Если это равновесие нарушено, то рано или поздно оно будет восстановлено.

Обсуждаемый «механизм» взаимодействия между математикой и конкретными науками обеспечивает взаимное обогащение этих наук в процессе их развития, создает, так сказать, их взаимное ускорение. Чтобы убедиться в этом, достаточно обратить внимание с этой точки зрения хотя бы на приведенные выше примеры. Установление аналогии, соответствия между физической теорией тяготения и неевклидовой геометрии безусловно стимулировало развитие этих разделов физики и математики. То же самое справедливо в случае теории электромагнитного поля и теории дифференциальных уравнений, в случае квантовой механики и матричного исчисления.

Нет сомнения, что на основе анализа истории развития математики и истории развития конкретных наук и их сопоставления можно показать в каждом случае ту или иную степень плодотворности действия указанного выше «механизма». Но это предмет — специального исследования и притом исследования, которое должно быть выполнено объединенными усилиями специалистов по истории математики и конкретных наук. И такое исследование, по-видимому, приведет к важным выводам, относящимся к проблеме о закономерности развития науки.

Максвелл наряду с аналогией в общем смысле выделяет также аналогию в узком смысле. Например, аналогия между звуковыми и световыми волнами — это аналогия в узком смысле. Смысл этой (и подобных ей) аналогии заключается в том, что она позволяет логический и математический аппарат, применяемый в одной области, перенести на другую область.

Здесь мы имеем два ряда эмпирических фактов или закономерностей. Положим, для одной области эти факты и закономерности были уже установлены и приведены в соответствие с понятиями и законами математики, т. е. были математически описаны, был разработан математический и логический аппарат. Иначе говоря, для этой области была установлена аналогия в широком смысле.

При исследовании какой-либо другой области явлений на эмпирическом уровне обнаруживается, что эмпирические факты и закономерности этой области явлений в той или иной мере сходны, аналогичны эмпирическим фактам и закономерностям первой, более исследованной области явлений, для которой уже была найдена аналогия в широком смысле. Тогда естественно, что область действия этой последней аналогии расширяется, и она охватывает и эту новую область физических явлений.

Правда, при этом в зависимости от степени полноты аналогии в узком смысле, т. е. в зависимости от того, насколько полно, глубоко и тесно сходство между двумя рассматриваемыми областями физических явлений (или то же между их эмпирическими закономерностями), математический и логический аппарат, адекватный для первой области явлений, при его перенесении на вторую область явлений в той или иной мере видоизменяется и усовершенствуется.

Таким образом, во-первых, аналогия в общем или широком смысле расширяет поле своего действия через аналогию в узком смысле, во-

вторых, это расширение поля действия аналогии в широком смысле связано с видоизменением и усовершенствованием связанного с ней логического и математического аппарата, т. е. в конце концов приводит к развитию математики и логики (т. е. «мира идей»). Ярким примером, иллюстрирующим высказанные положения, является развитие теории колебаний. Так как эмпирические закономерности любых колебаний, независимо от их физической природы, обнаруживают тесную аналогию, то логический и математический аппарат, разработанный для механических колебаний, применяется с теми или иными изменениями и усовершенствованиями для колебаний немеханической природы.

И вообще, если при изучении колебаний какой-либо физической природы найдены новые эмпирические закономерности и соответственно усовершенствован формальный аппарат, описывающий эти колебания, то, естественно, по аналогии ищут подобные закономерности и возможности применения усовершенствованного формального аппарата при изучении колебаний другой физической природы.

В истории развития физической науки особая роль принадлежит так называемой оптико-механической аналогии. Это аналогия между оптическими лучами и механическими траекториями. На нее указал Гамильтон в 1825 г., показав, что задачи геометрической оптики и классической механики математически тождественны.

Спустя почти 100 лет Луи де Бройль, развивая основную идею оптико-механической аналогии, а именно идею сопоставления оптических и механических явлений, пришел к мысли — сопоставить движению любого тела, в том числе и микрообъекта, распространение некоторой волны. Более полное математическое оформление получила эта мысль у Шредингера, написавшего знаменитое волновое уравнение.

В наше время оптико-механическая аналогия Гамильтона развилась в корпускулярно-волновой дуализм, представляющий одну из ведущих идей современной физики.

Можно было бы привести множество примеров плодотворного применения аналогий как в классической, так и в современной физике. Но можно указать и примеры, когда та или иная аналогия не приводила к положительным результатам. И это вполне естественно, так как умозаключение по аналогии имеет вероятностный характер, и предположения, вытекающие из той или иной аналогии, могут и не выдержать проверки практикой. И это обстоятельство иногда дает повод для отрицательных высказываний о роли аналогий в процессе познания, а следовательно, и в процессе развития науки.

Применение аналогий в физике, независимо от степени их плодотворности и подтверждения опытом, является настолько обычным, что ее выдающиеся представители вводят понятие о методе аналогии.

Так, Максвелл в упомянутой выше работе пытался дать определение понятия физической аналогии и указать преимущества метода физической аналогии по сравнению с другими методами исследования физических явлений.

Максвелл указывает, что метод, согласно которому физические явления стремятся представить с помощью одних лишь математических формул, страдает тем недостатком, что «мы совершенно теряем из виду объясняемые явления и потому не можем прийти к более широкому представлению об их внутренней связи, хотя и можем предвычислить следствия из данных законов» ([1], стр. 12). Здесь Максвелл, очевидно, имеет в виду сторонников концепции дальнего действия, или ньютоновцев, которые не обсуждали вопроса о природе тех или иных сил, ссылаясь на отсутствие экспериментальных данных, и пытались найти

эмпирическим путем математические формулы, описывающие эти силы. «С другой стороны, — продолжает Максвелл, — принимая некоторую физическую гипотезу, мы уже смотрим на явления предубежденно и становимся склонными к той слепоте по отношению к фактам и поспешности в допущениях, которым способствуют частные односторонние объяснения. Здесь, очевидно, Максвелл имеет в виду сторонников концепции близкодействия, или картезианцев, которые пытались вывести все явления из нескольких гипотез-принципов.

Таким образом, Максвелл здесь коснулся, правда, очень коротко, почти вскользь, теневых моментов метода индукции и метода дедукции. «Мы должны поэтому, — пишет далее Максвелл, — найти такой метод исследования, который на каждом шагу основывался бы на ясных физических представлениях, не связывая нас в то же время какой-нибудь теорией, из которой заимствованы эти представления, благодаря чему мы не будем отвлечены от предмета преследованием аналитических тонкостей и не отклонимся от истины из-за излюбленной гипотезы.

Таким методом по мысли Максвелла и должен явиться метод физической аналогии. «Для составления физических представлений без принятия специальной физической теории следует освоиться с существованием физических аналогий. Под физической аналогией я разумею частное сходство между законами двух каких-нибудь областей науки, благодаря которому одна является иллюстрацией для другой». Максвелл широко пользовался этим методом в своих работах, в частности в своей работе, в которой он впервые написал свои знаменитые уравнения ([1], стр. 107).

В наше время Дирак вводит понятие метода классической аналогии и определяет его следующим образом. В «Принципах квантовой механики», в главе «Квантовые условия», он пишет: «Проблема отыскания квантовых условий не имеет столь общего характера как все то, что мы рассматривали до сих пор. Это, напротив, частная задача, которая возникает для каждой частной системы, изучаемой нами. Однако существует довольно общий метод получения квантовых условий, применимый к очень широкому классу динамических систем. Это метод **классической аналогии...**

Значение классической аналогии в построении квантовой механики связано с тем фактом, что классическая механика правильно описывает динамические системы в определенных условиях — когда частицы и тела, образующие систему, достаточно массивны, так что возмущение, сопровождающее наблюдение, пренебрежимо мало. Поэтому классическая механика должна быть предельным случаем квантовой. Таким образом, мы должны ожидать, что важные понятия классической механики будут **соответствовать** важным понятиям квантовой механики. В частности, можно надеяться получить квантовые условия, являющиеся простым обобщением классического закона, согласно которому все динамические переменные коммутируют» ([2], стр. 125).

Важным понятием в классической динамике является скобка Пуассона. Дирак по аналогии с классической скобкой Пуассона вводит квантовую и, учитывая, что в квантовой механике физическим величинам сопоставляются операторы, которые в общем случае не коммутируют, приходит к основным квантовым условиям или перестановочным соотношениям.

Заметим, что впервые перестановочные соотношения были получены Гейзенбергом как аналогии квантовых условий

$$\oint p_i dq_i = n_i h,$$

где  $q_i$  и  $p_i$  — обобщенные координаты и импульсы,  $h$  — постоянная Планка,  $n_i$  — целое число в теории Бора.

А что касается вопроса о том, почему именно Бор постулировал такое равенство, то ответ на этот вопрос можно найти тоже на пути применения метода классической аналогии. Бору, безусловно, было хорошо известно, что величина

$$\Gamma = \oint p_i dq_i$$

остаётся при движении фазовой жидкости постоянной и была названа по предложению Пуанкаре интегральным инвариантом, т. е.  $\Gamma = \text{const}$ . Для любой замкнутой кривой в фазовом пространстве можно записать «циркуляцию»

$$\Gamma = \oint \sum p_i dq_i,$$

и эта циркуляция инвариантна при произвольном каноническом преобразовании ([3], стр. 211).

Ясно, что, описывая движение электрона внутри атома, принимаемого за планетарную систему, согласно классической механике, нельзя было прийти к согласию с опытом, и, чтобы обеспечить устойчивость этой системы, надо было наложить ограничения, позволяющие отобрать из множества орбит, допускаемых уравнением Ньютона, некоторые стационарные орбиты. Для стационарной орбиты какая-то величина должна была оставаться постоянной, изменяясь от орбиты к орбите. И вполне естественно, что в качестве такой величины надо было выбрать величину

$$\Gamma_i = \oint p_i dq_i,$$

так как из классики было известно, что именно эта величина оставалась инвариантной для любой замкнутой траектории в фазовом пространстве при произвольном каноническом преобразовании.

Величина  $\Gamma_i$  имеет размерность действия, а, согласно гипотезе Планка, действие, характеризующее атом как излучатель, квантуется, и, следовательно,

$$\Gamma_i = \oint p_i dq_i = n_i h, \quad \text{а} \quad \Gamma = \sum \Gamma_i = h \sum n_i.$$

Таким образом, логически теория Бора, которая, как известно, носит промежуточный, компромиссный (между классической и квантовой теорией) характер, тоже была построена по методу классической аналогии. Квантовые условия Бора, являющиеся принципиально новым элементом в его теории, есть своеобразное обобщение интегрального инварианта классической механики на основе соблюдения гипотезы Планка.

Можно было бы показать, что метод классической аналогии остаётся плодотворным и в развитии новейших теорий современной физики. Это вполне понятно. Ведь любая теория в физике должна подчиняться принципу соответствия, т. е. в предельном случае должна переходить в уже известные теории. Но такой подход, как указывалось выше, согласно Дираку, возможен только тогда, когда важным понятиям новой теории соответствуют важные понятия старой теории<sup>2</sup>. Поэтому

<sup>2</sup> Это, конечно, не значит, что это соответствие должно быть полным. В новой теории могут быть понятия, которым нет аналогов в старой теории. Но при предельном переходе эти новые понятия теряют свое значение, а аналогия между классическими понятиями и соответствующими им понятиям в новой теории сохраняется.

му число примеров можно было бы увеличить и за счет новейшего развития физики. Например, современная теория представлений развивается по аналогии с теорией канонических преобразований классической механики.

Подобно тому как в классической механике одну и ту же физическую систему можно описывать в различных системах отсчета, так и в квантовой механике одну и ту же систему или ее состояние можно описывать в различных представлениях. Но эта по существу очень простая аналогия при учете специфики квантовых систем приводит к представлению чисел заполнения, позволяющему описывать системы с переменным числом частиц.

## **§ 2. СООТНОШЕНИЕ ИНДУКЦИИ, ДЕДУКЦИИ И АНАЛОГИИ В ОТДЕЛЬНОМ РАССУЖДЕНИИ И В ИСТОРИИ ФИЗИКИ**

Множество примеров еще не есть доказательство, хотя, безусловно, и увеличивает доказательную силу того или иного утверждения. То или иное утверждение приобретает доказательную силу, если мы ответим на вопрос, почему это утверждение имеет место. Поэтому наш тезис о том, что метод аналогий является закономерностью развития физической науки, станет более убедительным, если сумму примеров дополним объяснением того, почему этот тезис имеет место.

В процессе познания применяется не только метод аналогий, но и метод индукции и дедуктивный метод. Являются ли эти методы тоже закономерностями развития науки или характер закономерности развития науки имеет только метод аналогий?

В каждом акте познания применяются и индукция, и дедукция, и аналогия как равноправные формы мышления. Более того, процесс мышления — это единый процесс, в котором эти формы мышления органически слиты, взаимно дополняя друг друга.

Если познающий субъект рассуждает дедуктивно, значит он исходит из какого-то положения, которое было установлено раньше им или другими индуктивно. Если он рассуждает по аналогии, он опять-таки сравнивает положения, полученные раньше им же или другими с помощью индуктивных или дедуктивных умозаключений. Может быть и так, что в процессе данного исследования познающий субъект, рассуждая индуктивно, получает положение, из которого дедуктивно получает следствия, а затем эти следствия сравнивает с другими известными положениями и делает выводы по аналогии, которые подвергает опытной проверке. То есть в процессе данного исследования субъект пользуется всеми формами мышления, всеми видами умозаключений.

История развития науки может рассматриваться как последовательность актов познания, в каждом из которых применяется и индукция, и дедукция, и аналогия. И в этой последовательности или цепи событий можно заметить ту же очередность применения аналогий, индукций, дедукций, которая имеет место в каждом событии, т. е. в каждом акте познания.

В древности, когда не были установлены эмпирически, индуктивно законы, принципы, из которых дедуктивно можно было бы получить как следствия объяснения наблюдаемых явлений, естественно, прибегали к сравнениям, аналогиям, слишком часто не обоснованным. Аналогия применялась, вместо индукции, для получения принципов, из которых выводились явления. Природа по аналогии с человеком одушевлялась (антропоморфизм), ей приписывалось такое качество, как божья пустота, которая возводилась в принцип, долженствовавший объ-

яснить наблюдаемые явления. Особенно расцветало это приписывание качеств в средних веках, слишком часто аналогии являлись чисто спекулятивными и даже фантастическими, поиски истины слишком часто напоминали гадание.

Практическая бесплодность этого метода в конце концов стала слишком явной, и он уступил свое место экспериментальному, индуктивному методу познания явлений природы. Френсис Бэкон, энергично провозгласивший индуктивный метод познания, сравнивал процесс познания с процессом восхождения по ступенькам лестницы. Согласно индуктивному методу переходы от низшей ступени явлений к верхним ступеням, принципам, должны совершаться постепенно, от ступеньки к ступеньке, от явлений к низшим аксиомам, от них к средним, а от средних к высшим — принципам, из которых можно дедуцировать.

Критикуемый Бэконом метод схоластов, напротив, напоминает восхождение по разверстой лестнице, с пропуском промежуточных ступенек, от низших ступенек к самым высоким, от самих явлений к самым широким, высшим аксиомам — принципам. Логически такой переход-взлет совершался с помощью аналогий, сравнений. Именно по аналогии с простым наблюдением, что тележка движется быстрее, когда ее толкаешь или тянешь сильнее: до Ньютона считалось, что не ускорение, а скорость пропорциональна силе. Человечество как будто спешило, торопилось и на крыльях сравнений, аналогий, подчас слишком фантастических, хотело достичь тех высот познания, откуда открывается широкая панорама явлений, уже понятых разумом.

Но практика познания показала, что аналогии слишком «окрыляют» познание, что необходимо привязать «свинцовые гири» опыта, эксперимента к «крыльям разума». Отсюда замена аналогии индукцией, вполне оправдавшая себя в истории науки, в истории физики, в частности. Возникновение физики как науки связано прежде всего с возникновением научного метода исследования физических явлений, исходящего из предположки, что индуктивные умозаключения являются основным логическим средством для обобщения данных эксперимента и наблюдения.

Недоверие к аналогиям, приводящим к необоснованным, только лишь вероятностным, выводам-гипотезам, недоверие, вполне заслуженное в результате полной дискредитации метода схоластов, нашло свое выражение в знаменитом «гипотез не измышляю», в стремлении некоторых ученых вообще изгнать из науки гипотезы на основании того, что они представляют собой в логическом отношении такие выводы, которые не следуют из индукции, опирающейся на строго проверенные опытом факты.

Однако схема индукции как логическая основа экспериментального метода без дополнения аналогией непригодна в действительности. Индукция — это некоторая идеальная схема, вполне работающая в абстрактных рассуждениях, в математике, логике. Но как только эта схема применяется на уровне эмпирическом, на уровне обобщения непосредственных данных наблюдения и опыта, ее приходится, как правило, дополнять аналогией.

Строгая индукция предполагает класс однородных, одинаковых явлений или предметов. И если опыт показывает, что какой-нибудь вывод (свойство, отношение) справедлив для  $n$  членов этого класса, то он справедлив и для  $n+1$  члена, а так как  $n$  — произвольный член этого класса, то, следовательно, этот вывод справедлив для всех членов данного класса, т. е. для всех явлений или предметов, составляющих данный класс.

Трудность заключается в том, что в сфере самих явлений природы исследователь не знает, где начинается и где кончается данный класс явлений, ибо это возможно установить только на основе применения экспериментального метода. Для строгого применения метода индукции необходимо заранее знать, какие явления составляют данный класс. Но это-то как раз и неизвестно и это-то должно быть как раз найдено. Здесь-то и сказывается ограниченность метода индукции и необходимость его дополнения аналогией.

Например, Ньютон, применяя строго индуктивный метод, опираясь только на достоверные факты наблюдения и результаты вполне надежных вычислений, пришел к выводу, что сила, которая удерживает Луну на ее орбите около Земли, подчиняется закону обратных квадратов расстояния. Но для того чтобы утверждать, что эта сила той же природы, что и сила тяжести на Земле, т. е. для того чтобы отнести эту силу к классу сил тяжести, ему пришлось по существу перешагнуть рамки строгого метода индукции и обратиться к методу мысленного эксперимента.

Допустим, около Земли вращается много маленьких лун, удерживаемых силой, изменяющейся по закону обратных квадратов, и среди них есть луна, которая почти соприкасается с вершиной высокой горы на Земле. И если такую луну лишить поступательного движения, то она будет падать со скоростью, определяемой силой, которая удерживала ее на орбите во время вращения. И если эта сила, удерживающая луну на орбите, была обычной земной силой тяжести, под действием которой падают камни на поверхность Земли, то и маленькая луна будет падать на гору со скоростью, обусловленной земным тяготением. Но если сила, удерживающая луну на орбите, иной природы, чем природа тяжести земных тел, то луна на гору будет падать с большей скоростью, сообщенной совместным действием обычной тяжести, так как все тела на Земле имеют тяжесть, и той силой, которая удерживала ее на орбите, будучи отличной по своей природе от тяжести. Но это, по Ньютону, невозможно, и поэтому сила, удерживающая Луну на орбите, имеет такую же природу, что и сила, заставляющая камни падать на Землю ([4], стр. 459). Вот к какого рода рассуждениям приходилось прибегать Ньютону, чтобы увеличить доказательную силу своего утверждения, что земная сила тяжести простирается до Луны.

Наконец, чтобы покончить с этим вопросом, Ньютон прибегает все-таки к постулированию правил философствования, среди которых есть правило, гласящее, что явления одного рода должны иметь и одинаковые причины. Это правило понадобилось Ньютону, чтобы считать доказанным, что не только Луна, но и планеты, и вообще любые тела подчиняются закону тяжести, что тяготение универсально, имеет всеобщий характер. Но это правило в логическом отношении есть вывод по аналогии, а именно аналогия от причины к следствию, по классификации А. И. Уемова [5].

Таким образом, Ньютону пришлось дополнить индукцию аналогией и, следовательно, его закон Всемирного тяготения еще долго после Ньютона, по выражению Энгельса, оставался гипотезой, правда, в высшей степени вероятной и все-таки гипотезой, пока Лавуазье, пользуясь этим законом, не доказал существование неизвестной планеты.

Отказ Ньютона от гипотез объясняется той обстановкой, в которой ему пришлось работать. Он жил и работал в период, непосредственно следующий за схоластами, которые изошрялись в бесплодных спорах, но далеки были от изучения объективных законов природы. Система природы Декарта, слишком богатая смелыми и необоснованными ги-

потезами, сравнениями, аналогиями, подвергнутая Ньютоном вполне заслуженной критике, также внушала ему естественное недоверие к гипотезам.

Стремление ученых разгадать скрытые законы мироздания окрыляло их пламенное воображение и находило свое выражение в бесчисленных попытках и предположениях без должной заботы об их опытной проверке. Даже Кеплер, с бесконечной настойчивостью проверявший свои многочисленные предложения и достигавший, наконец, истины, даже он предавался фантастическим соображениям вроде того, что существуют музыкальные, гармонические отношения между планетами, в ряду которых Юпитер и Сатурн должны представлять собой басы, Марс — тенор, Земля и Венера — альты, Меркурий — дискант. Осторожный Тихо-Браге, познакомившись с этими фантастическими увлечениями Кеплера, советовал ему, «оставив отвлеченные выводы аргюги, направить ум на изучение и вычисление наблюдений, чтоб, освоившись с этою первою ступенью, потом уже восходить к причинам» (6), стр. 590).

Время Ньютона было по преимуществу временем физических гипотез. За объяснением явлений обращались уже не к древним писателям, а к разным гипотетическим представлениям о внутреннем строении тел, о потоках тонкого вещества. Эти потоки выходили из тел, кружились вокруг них, двигались в их порах и производили наблюдаемые явления. Масса гипотез наводнила науку. Об их проверке опытом мало заботились, да часто она и не была возможна. Схоластическая страсть к спорам еще не исчезла, и Ньютону пришлось выдержать немало споров, в которых факты объяснялись на основании гипотез.

В такой обстановке у Ньютона сложилось не только недоверие, но и некоторая неприязнь к гипотезам. Ньютон не только заявлял, что он не измышляет гипотез, но нашел нужным в третьем издании «Начал» «присоединить к ранее выдвинутому им трем правилам философствования еще четвертое правило: «В экспериментальной философии положения, выведенные путем индукции из явлений, должны быть, несмотря на противопологаемые гипотезы, почитаемы за вполне верные или чрезвычайно близкие к таковым, пока новые явления или еще более подтвердят их, или покажут, что они подлежат исключениям. Так должно быть, дабы доказательства, добытые путем индукции, не отвергались на основании гипотез».

Скептические высказывания Ньютона о гипотезах, явившиеся правомерной реакцией на безудержные спекуляции схоластов и картезианцев, не означают, однако, что Ньютон в своей научной деятельности не применял гипотезы. Ньютон, правда с оговорками, тщательно отделяя гипотетическое от достоверного, высказал много гипотез, проявив при этом много изобретательности. И при этом, несмотря на всю свою осторожность, сдержанность, Ньютон, увлекаясь аналогиями, впадал в ошибки.

Если Кеплер увлекался музыкально-космической аналогией, то Ньютон увлекался музыкально-оптической аналогией. Именно руководствуясь этой аналогией, по мнению С. И. Вавилова, Ньютон ошибочно утверждал, что длина спектра (т. е. линейная дисперсия) не зависит от материала призмы. Ньютону удавалось избежать гипотез, сравнений, аналогий в тех случаях, когда он имел дело с явлениями, о которых заранее известно, что они с большей степенью вероятности являются однотипными, однородными, составляют один класс, имеют одну физическую природу, хотя о ней, о природе явлений, о механизме, вызывающем их, мало или ничего неизвестно. В этих случаях метод индукции,



дополненной постулированной в виде второго правила философствования аналогией от причины к следствию, работал без затруднений. Но как только Ньютон касался природы явлений, то гипотезы, сравнения, аналогии, модели появлялись неизбежно.

Ограниченность метода индукции обнаружилась еще более в процессе дальнейшего развития классической физики, когда возникла задача установления связей между отдаленными явлениями, относящимися к разнородным классам.

Если XVIII в. прошел под эгидой философии природы Ньютона, то уже с начала XIX в. чувствуется новое веяние. Если в XVIII в. различным классам явлений сопоставляются силы и соответственно их носители — невесомые — и эти явления изучаются в основном раздельно друг от друга, то в XIX в. центр тяжести перемещается на взаимные связи отдельных классов явлений, что в конце концов и привело в середине XIX в. к открытию и установлению закона сохранения и превращения энергии ([7], стр. 314).

В связи с новыми задачами развивается и методологическая мысль о задачах физической теории. Так, если методология Ньютона, нашедшая свое выражение в его четырех правилах философствования, в основном ориентирована на построение теории однородных явлений, принадлежащих к какому-либо определенному классу явлений (например, явления электрические, тепловые и т. д.), посредством применения метода индукции, то в начале XIX в. Френель уже значительно расширяет задачу физической теории.

В своем знаменитом «Мемуаре о дифракции» Френель писал: «Истинная теория должна вести к открытию числовых соотношений, связывающих между собою факты, наиболее отдаленные один от другого; тогда как ложная, хотя и может в строгости представить явления, для которых она придумана, подобно тому, как эмпирическая формула представляет данные какого-нибудь измерения в пределах, для каких она вычислена, однако не в состоянии открыть тайные связи, соединяющие явления одного класса с явлениями другого.

Польза теории не ограничивается тем, что она облегчает изучение фактов, соединяя их в более или менее многочисленные группы по наиболее выдающимся соотношениям. Хорошая теория должна иметь другую, не менее важную цель: она должна способствовать движению науки вперед, вести к открытию фактов и соотношений между классами явлений наиболее различных и по-видимому, наиболее независимых один от других» ([6], стр. 338).

В связи с такой задачей физической теории меняется и роль аналогии. Если в XVIII в. в период невесомых аналогия использовалась, чтобы по образцу тяготеющей массы ввести соответствующие невесомые, невидимые гипотетические субстанции, являющиеся носителями наблюдаемых сил и явлений, то в начале XIX в. эти на первый взгляд независимые друг от друга разнородные явления сопоставляются друг с другом и как логическое средство выражения общего, сходного в этих разнородных явлениях, естественно, используется аналогия.

Давно приводимая аналогия между звуком и светом теперь используется для развития волновой теории света (Юнг, Френель). В связи с этим разрабатывается механическая теория упругого эфира, и световые явления связываются с механическими. Теория упругого эфира (Навьё, Коши, Пуассон) явилась началом развития механики сплошных сред. Наконец, метод физической аналогии, сознательно применяемый Максвеллом, позволил ему установить связь между световыми и электромагнитными явлениями. Более того, этот метод позволил ему

высказать достаточно обоснованную гипотезу об электромагнитной природе света. А ведь до Максвелла эти явления вообще-то считались разнородными, явлениями разной природы, и лишь отдельные ученые, такие, как Ломоносов, Фарадей, высказали об этом меткие догадки.

Итак, мы видим, что с развитием науки, с изменением задачи науки изменяется и роль метода аналогий в познании явлений природы. В древности и в средних веках аналогия использовалась для получения принципов, из которых можно было бы дедуктивно выводить явления; в период становления физической науки, когда возникает научный экспериментальный метод, принципы устанавливаются индуктивно, но с дополнением аналогией; когда физика уже развилась и возникли в ней различные разделы со своими принципами, то аналогия используется для их сравнения и нахождения связей между явлениями разных классов.

Таким образом, в истории развития науки мы наблюдаем примерно ту же самую очередность в применении методов индукции, дедукции и аналогии, что и в логике рассуждающего субъекта, применяющего в определенной последовательности умозаключения по индукции, дедукции и аналогии.

Подобно тому как в применении отдельным рассуждающим субъектом умозаключений по индукции, дедукции и аналогии имеется определенная очередность и закономерность в применении методов индукции, дедукции и аналогии как методов познания, в истории науки, рассматриваемой как последовательность событий или актов познания, также имеется определенная очередность и закономерность.

Эта закономерность позволяет утверждать, что пока не найдены основные законы, принципы, центр тяжести находится на методе индукции, дополняемой методом аналогии. Когда эти принципы найдены, центр тяжести перемещается на метод дедукции, аксиоматики. Когда же найдены принципы, относящиеся к разнородным явлениям, и возникает задача установления связей между разнородными явлениями, то возрастает роль метода аналогий.

Итак, можно сказать, что закономерно не только применение метода аналогий, но и методов индукции и дедукции. Поэтому и методы индукции и дедукции, наравне с методом аналогии, тоже можно назвать закономерностями развития науки. И метод индукции и метод дедукции и метод аналогий являются закономерностями развития физической науки в том смысле, что их применение чередуется в какой-то мере с некоторой последовательностью, если самый процесс развития физики рассматривать как последовательность, как цепь событий, как цепь актов познания.

И если мы выделяем метод аналогий как особую закономерность развития физической науки, то на это имеются соответствующие причины.

### **§ 3. МЕТОД АНАЛОГИЙ КАК ЗАКОНОМЕРНОСТЬ РАЗВИТИЯ ФИЗИЧЕСКОЙ НАУКИ**

Во-первых, роль метода аналогий особо возрастает в условиях сильно развитой дифференциации науки или наук, т. е. научного знания вообще. А так как современный период развития характеризуется исключительной интенсивностью этого процесса в связи с общей интенсивностью процесса развития науки и вообще накопления запаса знания, то естественно возникает обратная тенденция интеграции наук, не-

обходимая хотя бы для целей систематизации и хранения информации в форме, легко усвояемой и применимой на практике. Но интеграция, объединение различных ветвей данной науки или вообще научного знания возможно на основе выяснения того сходного, общего, аналогичного, которое имеется в различных разделах знания. Это значит, что здесь становится необходимым применение метода аналогий. Этот способ сравнения, сопоставления различных наук или различных разделов внутри данной науки может быть чреват существенным сдвигом, прогрессом научного знания. Известно, что именно на стыках различных наук, на стыках различных разделов внутри данной науки, возникают новые науки, новые многообещающие направления развития знания.

Во-вторых, метод аналогий заслуживает быть отмеченным как закономерность развития науки, по крайней мере физической науки<sup>3</sup>, в связи с тем, что при изучении новой области явлений мы сначала, естественно, не располагаем понятиями и соотношениями, адекватными этой области явлений, но в нашем распоряжении имеются понятия и соотношения, возникшие раньше, при изучении других областей знания. Поэтому мы, как правило, пытаемся применить эти известные нам понятия и соотношения с учетом специфики изучаемой области явлений. Это возможно сделать лишь на основе выяснения общего, сходного вновь изучаемых явлений с ранее изученными. Это значит, что необходимо применить в данном случае метод аналогий. И лишь в процессе многочисленных попыток приспособить известные нам понятия и теории с теми или иными усовершенствованиями мы выясняем себе границы применимости этих понятий и теорий и убеждаемся в необходимости разработки существенно новых понятий и теорий.

Специфичность данной области явлений выделяется на фоне того, что эту область делает сходной, аналогичной с другими явлениями природы. А так как общее, сходное, единство в многообразии явлений природы существует объективно и всякое объективно существующее в действительности находит свое отражение в нашем знании, то применение метода аналогий является закономерностью развития науки как следствие, как конкретное проявление этого общего положения диалектического материализма.

В-третьих, аналогия, как правило, ведет лишь к вероятностным выводам и служит обычно логическим основанием для выдвижения этого вывода как научного предположения, гипотезы, подлежащей строгой проверке опытом и всем процессом последующего развития той области знания, к которой относится эта гипотеза. А так как гипотеза является формой развития естествознания ([8], стр. 191) и вообще научного знания, то применение метода аналогий является столь же естественным и закономерным явлением в процессе развития науки, как и применение гипотез.

В-четвертых, если исходить из положения Максвелла об аналогии в широком смысле, на которое мы указали в начале нашей статьи, то процесс развития физической науки можно рассматривать, как процесс установления соответствия между двумя рядами законов, между эмпирически найденными законами физики, с одной стороны, и логически

---

<sup>3</sup> В какой мере высказываемые в данной работе идеи справедливы для других наук, для научного знания вообще должно выясниться, по нашему мнению, на основе проверки этих идей на конкретном материале истории развития других наук и вообще человеческого научного знания. Мы же пытаемся обосновать эти идеи в основном только лишь на материале истории физики, привлекая некоторые общие положения, вообще говоря, общеизвестные.

установленными законами математики — с другой. И следовательно, применение метода аналогий в физике есть явление закономерное в процессе развития этой науки.

Мысль о том, что применение метода аналогий является закономерностью развития науки, может найти в идеальном случае практическое применение для целей планирования развития науки. Можно попытаться сознательно, применяя метод аналогий, выяснить на основе анализа имеющейся на данной стадии развития науки информации и сопоставления ее с историей науки все возможные аналогии и основанные на них гипотезы, взвесить эти аналогии и связанные с ними гипотезы чисто логически с учетом исторического опыта в данной отрасли знания и использовать результаты такого исследования для выявления возможных путей развития науки. Такой материал, безусловно, будет представлять ценность для целей предварительного планирования развития науки, для целей предварительного распределения и расстановки средств и сил на возможных направлениях развития науки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Максвелл Д. К. Избранные произведения по теории электромагнитного поля. М., ГИТТЛ, 1954.
2. Дирак П. А. Принципы квантовой механики. М., ГИФМЛ, 1960.
3. Ланцош К. Вариационные принципы механики. М., «Мир», 1965.
4. Ньютон И. Математические начала натуральной философии, кн. 3. Пг., 1916.
5. Уемов А. И. Вещи, свойства, отношения и теория выводов по аналогии (автореф. докт. дис.). Киев, Изд-во АН УССР, 1964.
6. Любимов Н. А. История физики. СПб., 1892.
7. Спасский Б. И. История физики. Изд-во МГУ, 1963.
8. Маркс К. и Энгельс Ф. Собр. соч., т. 20, стр. 555.

*Б. И. СПАССКИЙ, З. У. ЗУБАЙДУЛЛАЕВ*

## **О ПОНЯТИИ СТРУКТУРЫ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ**

Понятие структуры начало складываться давно, вместе с развитием отдельных естественных наук: физики, химии, геологии и др.

В физике и химии понятие структуры первоначально связывалось с представлением о пространственном расположении частиц — атомов и молекул, составляющих тот или иной физический или химический объект. Так возникло представление о кристаллической структуре твердого тела, о структуре химической единицы — молекуле и т. д.

Однако такое простое представление о структуре тела, как о пространственном расположении его элементов, усложнилось вместе с развитием науки. Прежде всего это усложнение коснулось химии. Во второй половине прошлого столетия Бутлеровым была развита теория химического строения вещества<sup>1</sup>.

Открытие сложного строения атома и последующие успехи в области теории строения вещества и поля привели к дальнейшему углублению понятия структуры в физике и химии. Ни атом, ни молекула, ни какой-либо другой физический или химический объект не может теперь рассматриваться как объект, сохраняющий определенное расположение своих частей относительно друг друга в пространстве. Статические модели уступили место динамическим моделям, в которых элементы изменяют свое расположение относительно друг друга. Более того, для целого ряда объектов элементы, из которых они построены, нельзя рассматривать как локализованные или даже приближенно локализованные в пространстве. Так, например, электроны в молекуле нельзя рассматривать как принадлежащие к какому-либо определенному из атомов, образующих данную молекулу, и т. д.

Таким образом, понятие структуры в физике и химии усложнилось. Структура физических и химических объектов уже больше не могла определяться простым расположением в пространстве частей или элементов этих объектов.

Одновременно с развитием и усложнением понятия структуры в физике и химии, оно развивалось и в других конкретных науках. Все это привело к потребности философского анализа этого понятия вообще. В литературе стало появляться все больше и больше работ, посвя-

---

<sup>1</sup> См. А. М. Бутлеров. Введение к полному изучению органической химии. М., Изд-во АН СССР, 1953.

щенных такому анализу, или работ, в большей или меньшей степени затрагивающих данный вопрос с общих философских позиций. В этих работах давались и общие определения понятия структуры как философской категории.

Так, например, в работах В. И. Свидерского структура рассматривается как философская категория. «Под понятием структуры, — пишет он, — мы будем понимать принцип, способ, закон связи элементов целого, систему отношений элементов в рамках данного целого»<sup>2</sup>.

Другое определение дается в работе Н. Ф. Овчинникова, который пишет, что «структура, по нашему мнению, может рассматриваться как инвариантный аспект системы»<sup>3</sup>.

Существуют и другие общие определения понятия структуры. Мы их не будем приводить. Ограничимся здесь лишь замечаниями по поводу определений понятия структуры, приведенных выше.

Определение структуры, данное В. И. Свидерским, не может, по нашему мнению, считаться достаточно полным. Во-первых, в этом определении говорится лишь об отношениях или связях элементов целого не зависимо от того, каковы эти элементы. Но структура каждого объекта определяется не только отношением и связью элементов, но и тем, каковы эти элементы, которые ее составляют и об отношении и связи которых говорит В. И. Свидерский.

Во-вторых, в определении Свидерского не учитывается то обстоятельство, что структура, вообще говоря, исключая простейшие объекты, такие, как атом, молекула и т. д., определяется не только теми элементами, которые составляют данный объект и не только связями и отношениями, существующими между элементами этого объекта, но и отношениями и связями этих элементов с элементами внешней среды.

Если простейшие объекты и можно рассматривать как существующие изолированно, то более сложные, например биологические, нельзя. Нельзя мыслить себе существование такого объекта без определенной внешней среды, без постоянного обмена веществ с ней.

Что касается определения понятия структуры, предложенного Овчинниковым, то оно не обладает подобным недостатком. Однако оно слишком абстрактно и вероятно охватывает собой целый круг понятий, а не только понятие структуры.

Более конкретное определение понятия структуры можно было бы дать, используя определение Свидерского, исправив в нем выше указанные недостатки. Например, можно дать такое определение: под структурой понимается принцип, способ, закон связи определенных элементов целого, как между собой, так и с компонентами окружающей среды.

Мы не будем далее останавливаться на определении понятия структуры. Подчеркнем только еще раз, что в настоящее время понятие структуры, возникшее в рамках отдельных конкретных наук, имеет тенденцию войти в ранг философских категорий.

С понятием структуры в настоящее время происходит примерно то же самое, что происходит с некоторыми другими понятиями, ранее возникшими. В рамках отдельных конкретных наук, а сейчас, обобщаясь, превращаются в ранг общих философских понятий.

Такой процесс происходит с понятием симметрии. Понятие симметрии в прежнее время развивалось в рамках отдельных наук, в основном

<sup>2</sup> В. И. Свидерский. Некоторые вопросы диалектики изменения развития. М., «Мысль», 1965, стр. 135.

<sup>3</sup> Н. Ф. Овчинников. Категория структуры в науках о природе. В кн.: «Структуры и формы материи». М., «Наука», 1967, стр. 13.

в кристаллографии. В настоящее же время это понятие подвергается философскому анализу и имеет тенденцию превратиться в философскую категорию<sup>4</sup>.

То же самое происходит с понятием «модель», которое выросло из конкретного понятия механической модели не механических явлений классической физики. Это понятие также подвергается философскому анализу и рассматривается как общее философское понятие.

Однако наряду с процессом в науке и философии, выражающимся в обобщении бывших конкретных естественнонаучных понятий в философские категории, в настоящее время развивается в некотором смысле и противоположный процесс.

Мы имеем в виду процесс формализации и математизации понятий естественных и общественных наук, которые в прежнее время не имели количественных характеристик. Так, например, в социологии или в экономической науке все шире и шире применяются методы математического описания. В этих науках вводится математический формализм, количественные оценки для объектов и понятий.

С этой точки зрения можно подойти и к понятию структуры в современной науке, в частности в современной физике и химии.

Для того чтобы формализовать здесь понятие структуры, можно воспользоваться понятиями теории вероятностей. Если сейчас нельзя характеризовать структуру физического объекта пространственным расположением его элементов, то можно говорить о пространственном расположении плотности вероятности для этих элементов или о их функции распределения.

Если мы рассмотрим атом водорода, то его состояние определяется волновой функцией электрона, являющейся функцией пространственных координат. И несмотря на то, что модель атома водорода есть динамическая модель. Она вполне точно выражается этой волновой функцией. В данном простейшем случае структуру атома водорода можно наглядно представить в виде рисунков, изображающих облако плотности вероятности распределения электрона вокруг ядра или облака отрицательного заряда. Такие модели-рисунки общеизвестны<sup>5</sup>.

В общем случае любого атома, содержащего  $n$  электронов, волновая функция является функцией  $3n$  переменных (точнее  $3n + n$  переменных, если учитывать спин электронов) и структура такого атома также определяется распределением плотности вероятностей этих электронов, но только не в обычном пространстве, а в конфигурационном пространстве  $3n$  измерений.

Таким же образом с помощью волновой функции мы представляем и структуру любого ядра, содержащего  $n$  нуклонов. Структуру макротела, например кристалла, мы также можем представить в виде пространственного распределения плотности вероятности узлов кристаллической решетки и электронов. В этом случае структура будет представлена волновой функцией этих электронов и функций распределения узлов решетки кристалла.

Следовательно, используя волновые функции частиц и функции распределения, мы можем конкретно определенным образом с помощью математического формализма определить структуру множества физических объектов, относящихся к веществу.

---

<sup>4</sup> См., например, В. С. Готт Симметрия и асимметрия. В кн.: «Некоторые категории диалектики». М., Росвузиздат, 1963, а также В. С. Готт. Философские вопросы современной физики. М., «Высшая школа», 1967.

<sup>5</sup> См., например, Э. В. Шпольский. Атомная физика. М., Физматгиз, 1963.

Конечно, так характеризуя структуру физического объекта, мы должны при этом каждый раз указывать, что за переменные входят в волновую функцию или в функцию распределения, т. е. какие элементы образуют структуру данного объекта. Для ядра это будут нуклоны, для атома — ядра и электроны и т. д.

Об определенной структуре данного физического объекта можно говорить лишь в том случае, если он находится в стационарном состоянии. Это значит, во-первых, что он составлен из определенных элементов. Во-вторых, если это микрообъект, то его энергия при этом должна оставаться постоянной, а если это макрообъект, то должна оставаться постоянной и его энтропия. Последнее возможно для макрообъектов только в случае, если он находится в состоянии термодинамического равновесия, т. е. в стабильном или метастабильном состоянии.

Если система находится в стационарном состоянии и в состоянии термодинамического равновесия, то она обладает определенной внутренней энергией. Энергия является самым важным параметром, определяющим структуру рассматриваемых здесь физических объектов, и этот параметр можно рассматривать в данном случае как основную количественную характеристику структуры.

Действительно, всякое изменение структуры физического объекта от одной определенной структуры к другой определенной структуре обязательно сопровождается, или, лучше сказать, связано с изменением его внутренней энергии.

При этом следует подчеркнуть, что процесс самопроизвольного перехода изолированной термодинамической системы из состояния, отличного от состояния термодинамического равновесия, в состояние термодинамического равновесия не является процессом, при котором эта система переходит из одного состояния с определенной постоянной структурой к состоянию с другой определенной постоянной структурой.

Для того чтобы осуществился указанный процесс, сначала нужно в изолированной системе создать состояние, отличное от состояния термодинамического равновесия, чего нельзя сделать без вмешательства в эту систему, к тому же такое состояние уже не может рассматриваться как состояние системы, имеющей определенную постоянную структуру.

Мы не видим никакой связи между утверждением о том, что основной количественной характеристикой структуры физического объекта является внутренняя энергия этого объекта и «энергетизмом» Оствальда, о чем упоминает В. В. Агудов, соглашаясь с Л. О. Вальтом<sup>6</sup>. Агудов, соглашаясь с Вальтом, ссылается на химическую теорию «резонанса», выдвинутую Л. Полингом. Указывая, что в атоме и молекуле непрерывно происходит «обменное» взаимодействие, он утверждает, что источником изменений структуры могут явиться также и внутренние противоречия в системе. Но дело в том, что либо химическая система, о которой он говорит, находится в стационарном состоянии и тогда она описывается постоянной волновой функцией и, следовательно, обладает постоянной структурой, такой же постоянной динамической структурой, которой обладает, например, атом водорода в стационарном состоянии. Либо же эта система не является стационарной и ее волновая функция не постоянна, это возможно, если энергия системы изменяется.

---

<sup>6</sup> В. В. Агудов. Количество, качество, структура. «Вопросы философии», 1967, № 1, стр. 65.



Мы полагаем, что, считая основной количественной характеристикой структуры рассматриваемых физических объектов, их внутреннюю энергию, мы следуем положениям, высказанным Энгельсом о том, что движение, количественной мерой которого является энергия, есть способ существования материи ее атрибут.

Энергия, являясь количественной характеристикой физического объекта и его структуры, одновременно может рассматриваться и как качественная характеристика этого объекта. Излагая свои мысли о законе перехода количества в качество, Ф. Энгельс писал, что «в природе качественные изменения — точно определенным для каждого отдельного случая способом — могут происходить лишь путем количественного прибавления либо количественного убавления материи и движения (так называемой энергии).

Все качественные различия в природе основываются либо на различном химическом составе, либо на различных количествах или формах движения (энергии), либо, — что имеет место почти всегда, — на том и другом. Таким образом, невозможно изменить качество какого-нибудь тела без прибавления или отнятия материи либо движения, т. е. без количественного изменения этого тела»<sup>7</sup>.

С понятием структуры физического объекта связано другое понятие — понятие физического индивидуума. Это понятие впервые использовал Л. Пекарник<sup>8</sup>. Он называет физическим индивидуумом систему, образованную либо а) одной элементарной частицей или б) из большого количества элементарных частиц, связанных силовым взаимодействием таким образом, что отделение любой части этой системы требует, по крайней мере сначала, повышения энергии системы. И далее он подчеркивает, что «физический индивидуум, по этому определению, является системой, находящейся в минимуме потенциальной энергии, причем этот минимум может быть только локальным».

Мы полагаем, что это определение имеет смысл несколько изменить, а именно за основную количественную характеристику физического индивидуума принять не минимальную потенциальную энергию, а интервал энергии, внутри которого может лежать значение внутренней энергии данного физического индивидуума, пока он остается таковым.

Вообще говоря, под физическим индивидуумом по аналогии с химическим индивидуумом<sup>9</sup> мы будем понимать соответствующий физический объект, качественно отличный от всех других физических объектов. Таким образом, к числу физических индивидуумов следует отнести: различные элементарные частицы, различные атомные ядра, различные атомы, молекулы, макротела разного состава в разной фазе и т. д.

Понятие физического индивидуума отличается от понятия структуры. Структура физического объекта может претерпевать изменения, когда этот объект продолжает оставаться одним и тем же физическим индивидуумом.

Атом, например, какого-либо элемента при возбуждении его электронов будет по-прежнему оставаться атомом того же элемента. Если от него оторвать один или несколько электронов, и тогда он еще будет

<sup>7</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс. Соч., т. 20, стр. 385.

<sup>8</sup> См. Л. Пекарник. Проблема развития в микрофизике. Доклад на симпозиуме «Диалектика и современное естествознание». М., 26—29 октября 1966 г.

<sup>9</sup> Как известно, в химии используется понятие химического индивидуума или химического индивида. Под химическим индивидуумом здесь понимается «совокупность» однородных тел, состоящих из одного и того же вида вещества». См. БСЭ, т. 18, стр. 8.

продолжать оставаться тем же атомом, хотя и ионизованным. Структура же этого атома при возбуждении его электронов будет изменяться.

Только тогда атом данного элемента перестанет существовать как физический индивидуум, когда он потеряет все электроны, тогда он превратится в голое ядро и свободные электроны, т. е. в новые физические индивидуумы: ядро и электроны.

При процессе отрыва электронов от атома будет изменяться его внутренняя энергия от значений  $E_0$  — энергии не возмущенного состояния до  $E_m$  — энергии ядра и свободных электронов, удаленных из атома. При этом под  $E_0$  и  $E_m$  будем понимать полную внутреннюю энергию, т. е. величину, измеряемую известным соотношением Эйнштейна  $E = mc^2$ .

Таким образом, если сообщить данному атому энергию  $\Delta E \geq E_m - E_0$ , то он прекратит свое существование как атом, как данный физический индивидуум и превратится в другие физические индивидуумы.

Нужно сейчас же отметить, что и  $E_0$  и  $E_m$  будут различны для всех атомов, так что величину  $\Delta E$  мы можем считать за количественную характеристику соответствующего атома, за количественную характеристику данного физического индивидуума.

Такое же рассуждение мы можем провести и для многих физических индивидуумов, а не только для атомов химических элементов. Для каждого ядра мы можем определить значение его наименьшей энергии  $E_0$ , которой может обладать это ядро и  $\Delta E$  — ту энергию, которую нужно затратить, чтобы оторвать один нуклон от этого ядра, после чего это ядро превратится в новое ядро, т. е. в новый физический индивидуум.

Таким же образом будет обстоять дело и для каждой молекулы, по крайней мере молекулы неорганического вещества, в том числе и для молекул, имеющих изомеры<sup>10</sup>.

Если мы имеем твердое макротело в кристаллическом состоянии и если, например, это тело может находиться только в одной твердой фазе, то оно опять-таки может существовать как определенный физический индивидуум только в определенном энергетическом интервале.

Если  $E_0$  — внутренняя энергия этого тела при температуре абсолютного нуля, а  $E_m$  — энергия этого же тела, когда оно все превратится в жидкость при температуре плавления (например, при атмосферном давлении), то интервал энергии, соответствующий данному физическому индивидууму<sup>11</sup>, также будет равен  $\Delta E = E_m - E_0$ .

В случае же, если данное тело может в твердом состоянии существовать в нескольких фазах, то мы будем иметь и несколько физических индивидуумов, характеристикой которых будут соответствующие интервалы энергии  $\Delta E$ .

В последнем примере, однако, имеется некоторая неопределенность в количественной характеристике физического индивидуума при помощи величины  $\Delta E$ . Действительно, если для каждого атомного ядра или

---

<sup>10</sup> Здесь нужно исключить так называемую зеркальную изомерию, так как молекулы, отличающиеся зеркальной изомерией, обладают одной и той же внутренней энергией. Но это несколько не противоречит общности наших рассуждений, так как, например, правый и левый кварц отличаются друг от друга только в отношении объектов, которые сами различаются «правизной» и «левизной».

<sup>11</sup> При этом, конечно, предполагается, что в данном теле при указанном изменении температуры не будут происходить химические реакции. В противном случае превращение в новый физический индивидуум, вместе с превращением в новый химический индивидуум, произойдет при более низкой температуре.

данного атома  $\Delta E$  имеет определенное значение, то для макротела из определенного материала, находящегося в определенной фазе, эта величина зависит от его массы и, следовательно, не является определенной. В связи с этим для количественной характеристики физического индивидуума, пригодной для рассматриваемых физических объектов, следует брать не просто интервал  $\Delta E$ , а величину  $\gamma$ , равную отношению  $\Delta E$  к массе данного физического объекта. Можно назвать эту величину *удельным интервалом энергии*, соответствующим данному физическому индивидууму. Для микрообъектов это будет «удельная энергия связи».

Если энергию и массу мы будем выражать в одних и тех же единицах, используя соотношение  $E = mc^2$ , то  $\gamma$  может быть представлена в виде  $\gamma = \frac{\Delta m}{m}$ , где  $\Delta m$  есть изменение массы при разрушении физического индивидуума на его отдельные элементы, а  $m$  — масса физического индивидуума, находящегося в наини́зшем энергетическом состоянии.

Здесь следует сделать замечание. Мы не можем говорить о значении  $\gamma$  для элементарных частиц. Это вполне понятно. Хотя, как показывают исследования, элементарные частицы и обладают определенной структурой, тем не менее структура этих частиц имеет иной смысл, нежели структура других физических объектов, например атомов, молекул и др. Поэтому в само понятие энергии связи для элементарных частиц, по крайней мере в настоящее время, трудно вложить определенный смысл.

В связи с этим не имеет смысла устанавливать и какое-либо определенное значение  $\gamma$  для них<sup>12</sup>. Число физических индивидуумов чрезвычайно велико. Это все элементарные частицы, все ядра, атомы, молекулы и т. д. И каждый из физических индивидуумов количественно определяется своим значением  $\gamma$  (исключая, как сказано выше, элементарные частицы).

Но все рассматриваемые физические объекты могут быть разбиты на определенные группы или классы, соответствующие различным физическим формам материи. Такими классами будут: класс элементарных частиц, класс атомных ядер, класс атомов, класс молекул, класс макротел в различных агрегатных и фазовых состояниях.

Можно предположить, что такое разбиение множества физических индивидуумов на классы получает свое выражение в возможности разбиения, в свою очередь, множества величин  $\gamma$  также на соответствующие группы. И действительно, если провести простые расчеты для  $\gamma$ , то мы найдем, что значение  $\gamma$  для физических индивидуумов различных классов отличается между собой на несколько порядков, тогда как  $\gamma$  для физических индивидуумов одного и того же класса имеет примерно один и тот же порядок величины.

Величина  $\gamma$  является также характеристикой сохраняемости физического индивидуума. Действительно, чем больше  $\gamma$ , тем больше устойчивость данного физического индивидуума по отношению к внешним воздействиям, тем больше энергии нужно, чтобы разрушить этот физический индивидуум. Вместе с тем  $\gamma$  в какой-то мере характеризует и чувствительность физического объекта к внешним воздействиям. Чем больше  $\gamma$ , тем в среднем больше будет энергетический интервал между

---

<sup>12</sup> Можно, конечно, считать для них  $\gamma = \infty$ , полагая, что их энергия связи равна бесконечности, поскольку они не могут быть разделены на более мелкие части.

возможными возбужденными состояниями физического индивидуума<sup>13</sup>.

Сохраняемость и чувствительность физического индивидуума к внешним воздействиям без качественного изменения этого физического индивидуума выражает собой одно из самых общих свойств материи — свойство отражения. Ленин писал: «логично предположить, что вся материя обладает свойством, по существу родственным с ощущением, свойством отражения»<sup>14</sup>.

Каждый новый класс физических индивидуумов, считая по возрастающей лестнице, включает в себя более низшие физические индивидуумы, и более сложные физические индивидуумы обладают меньшим значением  $\gamma$  и, следовательно, меньшей сохраняемостью и большей чувствительностью к внешним воздействиям. А меньшая сохраняемость и большая чувствительность к внешним воздействиям означает также то, что для разрешения данного физического индивидуума и превращения его в физический индивидуум более низшего класса требуется меньше энергии по сравнению с энергией, требуемой для разрушения физического индивидуума низшего класса.

Таким образом, величина  $\gamma$  дает возможность характеризовать физические индивидуумы с точки зрения принадлежности их к той или иной форме материи, более высшей или более низшей, и одновременно также характеризует их сохраняемость и чувствительность, т. е. способность отражать внешние воздействия, оставаясь все еще тем же самым индивидуумом.

Конечно, нужно подчеркнуть, что величина  $\gamma$  может быть качественной характеристикой для различных уровней только для определенных физических форм материи, и частично для химических. И эта величина постепенно теряет указанный смысл при переходе к более высшим формам материи, например к биологическим объектам и еще более высшим формам материи.

В заключение мы хотим остановиться еще на одном общем вопросе, относящемся к понятию структуры физического объекта. Когда мы говорили об определении понятия структуры, мы подчеркнули, что, вообще говоря, структура объекта определяется не только элементами, присущими самому этому объекту, и отношениями между ними, но и отношениями элементов объекта с окружающей средой. При этом мы отметили, что это обстоятельство не является существенным для простых объектов: атомов, молекул и др. и в дальнейшем, вводя в качестве количественной характеристики физического индивидуума внутреннюю энергию, рассматривали физические объекты как изолированные системы.

Сейчас мы должны отметить, что это не всегда, строго говоря, справедливо.

Во-первых, это не вполне справедливо для наиболее сложных физических индивидуумов, именно для макротел. Действительно, постоянство структуры макротел — газа в сосуде, жидкости или кристалла — обеспечивается не только внутренними связями молекул и величиной внутренней энергии, но и существующим теплообменом с окружающими телами, которые играют роль термостата. Этим обстоятельством и

<sup>13</sup> Л. Пекарин предлагает для чувствительности физического индивидуума микро-объекта следующую величину:  $C = \frac{N}{\sum (E_i - E_0)}$ , где  $E_0$  — энергия основного (наинизшего) состояния,  $E_i$  — энергия более высшего состояния,  $N$  — число состояний между 1 и  $\lambda$ . Причем  $N$  выбирается так, что учитываются все энергетические уровни, принадлежащие всем возможным изменениям квантовых чисел на единицу.

<sup>14</sup> В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 91.

объясняется выполнение так называемой квазиэргодической гипотезы для всех макротел.

На это обстоятельство, в частности, обратил внимание Френкель. Он писал: «Дело в том, что макроскопические системы, с которыми мы встречаемся на опыте, никогда не являются вполне изолированными от внешнего мира. Взаимодействие их с этим внешним миром, как бы оно ни было слабо, существенным образом изменяет ход явлений... При наличии подобного взаимодействия энергетическая гипотеза может выполняться даже в тех случаях, когда условия для выполнимости ее в изолированной системе отсутствуют»<sup>15</sup>.

При усложнении объектов влияние внешних тел становится все более и более важным и, как уже подчеркивалось выше, биологические объекты немыслимы без окружающей среды, без обмена веществ.

С другой стороны, и при рассмотрении структуры элементарных частиц нельзя, по-видимому, исключить влияние окружающей среды, в данном случае вакуума. Да и понятие структуры элементарных частиц имеет, как мы подчеркивали, особый смысл, что, в частности проявляется в том, что величина  $\gamma$  для нас не может быть определена, тем не менее известны факты, например рождение многих частиц при взаимодействии двух частиц больших энергий, наталкивают на высказанное предположение.

---

<sup>15</sup> Я. И. Френкель. Статистическая физика, ч. 1. М.—Л., Гостехиздат, 1936, стр. 158.

Я. П. ТЕРЛЕЦКИЙ

## ДОПОЛНИТЕЛЬНОСТЬ В СТАТИСТИЧЕСКОЙ ФИЗИКЕ

Понятие дополнителности впервые появилось в квантовой теории. Оно было сформулировано Нильсом Бором как обобщение принципа неопределенностей Гейзенберга. Согласно Бору, квантовомеханические величины находятся во взаимно дополнительных отношениях так, что фиксация одной величины исключает возможность точного измерения другой величины, дополнительной к первой величине. Для координаты и импульса дополнителность считается вытекающей из соотношения неопределенностей

$$\Delta(q) \Delta(p) \geq \frac{\hbar}{2}, \quad (1)$$

где

$$\Delta(q) = \sqrt{\overline{(q-\bar{q})^2}} \quad \text{и} \quad \Delta(p) = \sqrt{\overline{(p-\bar{p})^2}} \quad (2)$$

суть средние квадратичные отклонения координаты и импульса. В такой форме соотношение неопределенностей вытекает из определения квантовомеханических средних и математического аппарата квантовой механики как точная теорема.

Аналогичным образом и для других квантовомеханических величин, изображаемых взаимно некоммутирующими операторами  $\hat{L}$  и  $\hat{M}$ , их дополнителность является результатом неравенства Шварца

$$\Delta(L) \Delta(M) \geq \frac{1}{2} |\overline{\hat{L}\hat{M} - \hat{M}\hat{L}}|,$$

представляющего обобщение соотношения неопределенностей (1). Согласно этому неравенству, если  $|\overline{\hat{L}\hat{M} - \hat{M}\hat{L}}| \neq 0$ , т. е.  $\hat{L}$  и  $\hat{M}$  некоммутируют, то точная фиксация  $M$ , т. е.  $\Delta(M) = 0$  исключает точное знание  $L$ , так как  $\Delta(L) \rightarrow \infty$ .

Таким образом, дополнителность квантовомеханических величин может рассматриваться как следствие статистических неравенств, связывающих средние квадратичные отклонения, т. е. вообще как результат статистической природы квантовой механики.

Если дополнителность — результат статистичности, то она может иметь место в других физических статистических теориях. Имеет смысл

поэтому прежде всего выявить сущность дополнительности в классической статистической механике.

Нетрудно убедиться в том, что такие термодинамические параметры, как объем  $V$  и давление  $P$ , находятся в дополнительном отношении. Действительно, в системе с фиксированным объемом имеют место флуктуации давления, и, наоборот, в системе с фиксированным давлением флуктуирует объем. Выведем соответствующие формулы для средних квадратичных отклонений давления и объема, используя общие теоремы классической статистической механики Гиббса [1].

Рассмотрим систему  $N$  материальных точек-частиц, заключенную в сосуд, закрытый подвижным поршнем. Пусть сосуд является абсолютно жестким, вертикально расположенным цилиндром, боковые стенки и дно которого могут описываться как бесконечно высокие потенциальные стенки. Будем считать абсолютно жестким и поршень, который можно рассматривать как одномерную систему, описываемую координатой  $q$  и импульсом  $p$ . Координата  $q$  может быть отождествлена с объемом сосуда, если в выбранной системе единиц поперечное сечение цилиндра равно единице. Действующие на поршень внешние силы могут быть описаны потенциальной энергией  $U(q, a)$ , где  $a$  — внешние параметры.

Гамильтониан рассматриваемой системы материальных точек и поршня может быть, очевидно, записан в виде

$$H(\mathcal{P}, Q, p, q) = H_0(\mathcal{P}, Q, p, q) + U(q, a), \quad (3)$$

где  $\mathcal{P}$  и  $Q$  — совокупность всех координат и импульсов  $N$  частиц,  $H_0$  — гамильтониан свободной системы без учета внешних сил, действующих на поршень.

Если фиксировано давление  $P$ , как это имеет место для системы, изображенной на рис. 1, то, полагая  $q=V$ , входящую в гамильтониан (3), потенциальную энергию  $U(q, a)$  можно представить в виде

$$U = PV. \quad (4)$$

Если температура  $T$  системы задана, то для произвольной физической величины  $F$  справедлива вторая лемма Гиббса [1, 2]

$$\frac{\partial \bar{F}}{\partial a} - \overline{\frac{\partial F}{\partial a}} = -\frac{1}{\Theta} \overline{\left( \frac{\partial H}{\partial a} - \frac{\partial H}{\partial a} \right)} (F - \bar{F}), \quad (5)$$

где  $a$  — внешний параметр,  $\Theta = kT$ ,  $k$  — постоянная Больцмана.

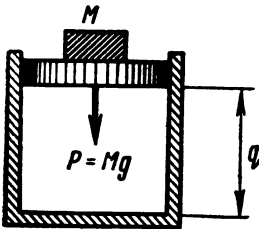


Рис. 1

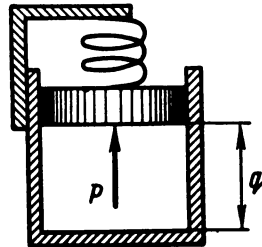


Рис. 2

Полагая  $a=P$ ,  $F=V$  согласно равенствам (5), (4) и (3), получаем для дисперсии объема

$$\overline{(V - \bar{V})^2} = -\Theta \frac{\partial \bar{V}}{\partial P} \quad (6)$$

или для среднего квадратичного отклонения

$$\Delta(V) = \sqrt{-\Theta \frac{\partial \bar{V}}{\partial P}}. \quad (7)$$

Следовательно, при фиксированном давлении  $P$  объем  $V$  известен лишь с неопределенностью, выражаемой формулой (7) и обусловленной флюктуациями.

Если же вместо давления фиксирован объем  $V$ , то флюктуирующей неопределенной величиной будет давление  $P$ . В этом случае надо рассмотреть систему, в которой поршень жестко связан со стенками сосуда. Физически, абсолютно жесткая связь может быть представлена как соединение поршня с сосудом посредством очень жесткой пружины (в пределе бесконечно жесткой) удерживающей поршень вблизи фиксированного положения  $q_0 = V$ , как это изображено на рис. 2. Потенциальная энергия такой пружины, входящая в гамильтониан, может быть представлена в виде

$$U = \frac{\alpha (q - q_0)^2}{2}, \quad (8)$$

где  $\alpha \rightarrow 0$ . Если под давлением  $P$  понимать силу, действующую на поршень с единичной поверхностью со стороны ударяющихся о него молекул системы, то необходимо положить

$$P = \frac{\partial H_0}{\partial q}. \quad (9)$$

Но согласно уравнениям Гамильтона

$$\dot{p} = -\frac{\partial H}{\partial q} = -\frac{\partial H_0}{\partial q} - \frac{\partial U}{\partial q}, \quad (10)$$

откуда

$$P = -\dot{p} - \frac{\partial U}{\partial q} = -\dot{p} + \frac{\partial U}{\partial q_0}. \quad (11)$$

Поскольку в равновесии

$$\bar{\dot{p}} = 0, \quad (12)$$

поскольку среднее давление

$$\bar{P} = -\frac{\partial \bar{U}}{\partial q} = \frac{\partial \bar{U}}{\partial q_0}. \quad (13)$$

Полагая в уравнении (5)  $a = q_0$ ,  $F = P$  и используя (11), (12) и (13), получаем

$$\frac{\partial \bar{P}}{\partial q_0} - \frac{\partial \bar{P}}{\partial q_0} = -\frac{1}{\Theta} \overline{(P - \bar{P})^2} - \frac{1}{\Theta} \overline{p \dot{p}}. \quad (14)$$

Используя обобщенную теорему о вириале [2], второй член правой части (14) можем представить в виде

$$-\frac{1}{\Theta} \overline{p \dot{p}} = \frac{1}{\Theta} \overline{\frac{\partial H}{\partial q} P} = \frac{\partial \bar{P}}{\partial q}, \quad (15)$$



откуда, замечая что согласно (9)  $\frac{\partial P}{\partial q_0} = 0$ , уравнение (14) записывается в виде

$$\overline{(P - \bar{P})^2} = -\Theta \left( \frac{\partial \bar{P}}{\partial q_0} \cdot \frac{\partial \bar{P}}{\partial q} \right). \quad (16)$$

Если связь бесконечно жесткая, то  $q_0 = q = V$  и уравнение (16) вырождается в

$$\overline{(P - \bar{P})^2} = -\Theta \left[ \frac{\partial \bar{P}}{\partial V} - \frac{\partial \bar{P}}{\partial V} \right], \quad (17)$$

которое сразу получается из (5), если поршень отождествить с неподвижным потенциальным барьером и положить  $a = V$ ,  $F = \frac{\partial H}{\partial V} = P$ .

Известно, что второй член правой части уравнений (16) и (17), пропорциональный  $\frac{\partial \bar{P}}{\partial V}$ , может принимать бесконечно большое значение

при достаточно крутом потенциальном барьере, изображающем взаимодействие молекул системы с поршнем или со стенкой сосуда (см., например, обзорную статью Мюнстера о теории флуктуаций [3]). Такой «нефизический» результат объясняется тем, что формула (17) является максимально точной и не учитывающей неизбежного огрубления, вносимого макроскопическим прибором, измеряющим давление. Если давление измерять, например, по отклонению поршня  $q - q_0$ , то практически невозможно обнаружить отклонения, вызываемые ударами о поршень отдельных молекул. Каждый такой удар приводит к кратковременному, но очень большому увеличению давления, тем большому и тем более кратковременному, чем больше градиент потенциального барьера на границе поршня. Эти кратковременные всплески давления не будут регистрироваться достаточно инерционным прибором, но должны привести к неограниченному увеличению точно вычисляемой дисперсии давления, которое и учитывается вторым членом  $\Theta \frac{\partial \bar{P}}{\partial V}$ . Таким образом, если мы ограничимся лишь тем средним квадратичным отклонением давления, которое может быть практически измерено, то мы должны оставить в правой части формулы (17) лишь член  $\Theta \frac{\partial \bar{P}}{\partial V}$ , т. е. положить

$$\Delta(P) = \sqrt{-\Theta \frac{\partial \bar{P}}{\partial V}}. \quad (18)$$

Аналогично тому, как это имеет место для неопределенности объема при фиксированном давлении, согласно (18) при фиксированном объеме давление известно лишь с точностью до конечной величины  $\Delta(P)$ .

Замечательно то, что для произведения средних квадратичных отклонений (7) и (18) имеет место соотношение, удивительно похожее на соотношение неопределенностей (1). Действительно, согласно (7) и (18),

$$\Delta(P) \Delta(V) = \Theta \sqrt{\frac{\partial \bar{V}}{\partial P} \frac{\partial \bar{P}}{\partial V}}. \quad (19)$$

Если считать, что для макроскопических систем зависимость  $\overline{P}(V, \Theta)$  не отличается от зависимости  $P(\overline{V}, \Theta)$ , то уравнение (19) принимает более простой вид:

$$\Delta(P) \Delta(V) = \Theta. \quad (20)$$

Если же учесть ошибки, неизбежные при любых измерениях, то вместо (20) надо написать

$$\Delta(P) \Delta(V) \geq \Theta, \quad (21)$$

т. е. соотношение внешне совершенно аналогичное соотношению Гейзенберга.

Итак, для сопряженных термодинамических параметров  $P$  и  $V$  имеет место дополненность и соотношение, аналогичное соотношению неопределенностей.

В дополнительном отношении должны также находиться внутренняя энергия  $E$  и температура  $T$ . Действительно, при фиксированной температуре система описывается каноническим распределением Гиббса, а энергия системы известна лишь с точностью до  $\Delta(E)$ , которое согласно первой лемме Гиббса [1, 2]

$$\frac{\partial \overline{F}}{\partial \Theta} = \frac{1}{\Theta^2} \overline{(F - \overline{F})(H - \overline{H})} \quad (22)$$

определяется как

$$\Delta(E) = \Theta \sqrt{\frac{\partial \overline{H}}{\partial \Theta}}. \quad (23)$$

Если же фиксирована энергия  $E$ , т. е. система описывается микроканоническим распределением, то температура не является определенной. К сожалению, дисперсия температуры не может быть вычислена как дисперсия некоторой механической величины, так как температура в статистической механике определяется лишь как статистический параметр. Многими авторами, однако, исходя из более наглядных упрощенных представлений [4, 5], выводится формула и для среднего квадратичного отклонения температуры, имеющая вид

$$\Delta(\Theta) = \frac{\Theta}{\frac{\partial E}{\partial \Theta}}. \quad (24)$$

Умножая (24) на (23), мы получаем соотношение

$$\Delta(E) \Delta(\Theta) = \Theta^2. \quad (25)$$

Последнее соотношение можно записать в более простом виде, если вместо  $\Theta$  ввести обратную величину  $\beta = 1/\Theta$ . Легко показать, что

$$\Delta(E) \Delta(\beta) = 1. \quad (26)$$

Таким образом, энергия и температура действительно находятся в дополнительном соотношении и для них так же, как для объема и давления, справедливо некоторое соотношение неопределенностей.

Заметим, что в определенном смысле соотношение (25) или (26) более похоже на соотношение неопределенностей для энергии и времени

$$\Delta(E) \Delta(t) \geq \hbar. \quad (27)$$

Действительно, в последнем соотношении  $\Delta(t)$  не является, строго говоря, средним квадратичным отклонением времени, поскольку последнее — не динамическая переменная, а лишь параметр квантовомеханического аппарата. Точно так же и  $\Delta(\Theta)$  определяется не по правилам вычисления средних от механических величин, а исходя из иных, более качественных соображений.

Итак, в классической статистической механике сопряженные термодинамические параметры находятся в дополнительных соотношениях и для них справедливы соотношения неопределенностей, аналогичные квантовомеханическим. Это является веским аргументом в пользу представления, что квантовомеханическая дополнительность также имеет чисто статистическую природу. Но, заняв такую позицию, мы можем рассматривать квантовомеханическую дополнительность не как запрещение частице одновременно иметь точные значения координаты и импульса (или других сопряженных величин), а как статистическое правило, устанавливающее определенную взаимосвязь между средними квадратичными отклонениями сопряженных величин при их измерении в соответственно различных условиях. Наличие такого соотношения между дисперсиями не означает, что при точно заданном импульсе частица не имеет вообще определенной координаты. Координата частицы в действительности имеет какое-то определенное значение, которое известно нам лишь с определенной точностью, выражаемой статистически величиной среднего квадратичного отклонения.

Такое представление, однако, категорически отвергается ортодоксальной концепцией дополнительности, согласно которой  $\Delta(q)$  и  $\Delta(p)$  означают истинные неопределенности сопряженных величин  $q$  и  $p$ , поскольку в духе этой концепции мы можем считать существующим лишь то, что практически уже измерено. Выше мы видели, что эта ортодоксальная концепция заслуживает пересмотра не только ввиду общей несостоятельности лежащего в ее основе позитивизма, но и в силу того, что казавшаяся специфической лишь для квантовой механики дополнительность может иметь чисто статистическую природу, как это видно из анализа примеров, относящихся к классической статистической механике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гиббс Дж. В. Основные принципы статистической механики М., Гостехиздат, 1946.
2. Терлецкий Я. П. Статистическая физика, М., «Высшая школа», 1966.
3. Мюнстер А. Термодинамика необратимых процессов, М., ИЛ., 1962, стр. 58.
4. Ландау Л., Лифшиц Е. Статистическая физика. М., «Наука», 1964.
5. Френкель Я. И. Статистическая физика. М., Изд-во АН СССР, 1948.

**С. Ф. ШУШУРИН**

## **ЛОГИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ПОНЯТИЯ ИНФОРМАЦИИ И СМЫСЛ ЕГО ОБОБЩЕНИЙ**

Проблема определения понятия информации продолжает оставаться предметом обсуждения и анализа. А. Н. Колмогоров отделил комбинаторное определение понятия «количество информации» от вероятностного и предложил алгоритмическое определение [1]. Ю. А. Шрейдер развил понятие семантической информации как отличное от понятия информации в смысле Шеннона [2, 3]. Предполагаются различные модификации меры информации, применимые для решения физических задач [4]. При этом почти не уделяется внимания интуитивному понятию информации в обыденном смысле, поскольку считается, что различные определения, существующие в рамках теорий, более строги и эффективны.

В настоящей работе предполагается выработать строгое определение интуитивного понимания информации, а далее путем его сравнения с некоторыми (далеко не всеми) определениями информации показать, что многие «строгие» определения либо в нем содержатся, либо имеют существенные недостатки, либо представляют собой орудия для решения совершенно иных задач, чем те, которым служит интуитивное понятие информации, т. е. не могут с ним конкурировать.

### **§ 1. ЛОГИЧЕСКИЙ ВЫВОД И «ИНТУИТИВНАЯ» ИНФОРМАЦИЯ**

Анализ понятия «интуитивной» информации, которая, по мнению ряда авторов, «не вызывает сомнений и не нуждается в пояснениях» [2], целесообразно начать все же с пояснений смысла утверждений, в которых это понятие встречается.

Рассмотрим выражение: «Информация, содержащаяся в результатах некоторого эксперимента о данном физическом процессе». Каков его смысл?

Понятие процесса часто используется в физике на уровне объяснения, а именно для объяснения наблюдаемых явлений, обычно осуществляемого в результате использования некоторой модели. Изменение этой модели обычно и называется процессом (так, например, явление диффузии объясняется на основе процесса проникновения молекул одного физического тела в промежутки между молекулами другого тела).

Представление о процессе носит, как правило, предположительный, гипотетический характер. Иными словами, в знаниях о процессе всегда имеется некоторая неопределенность, т. е. имеется возможность построения множества гипотез относительно процесса (по крайней мере, относительно его деталей), причем число элементов этого множества — не менее двух. Каждая гипотеза представляет собой систему непротиворечивых (в смысле двузначной логики) утверждений и может быть использована как совокупность посылок для логического вывода. Некоторые логические следствия из различных гипотез могут оказаться взаимоисключающими, что позволяет осуществлять *ex reperimentum crucis*.

Если некоторый эксперимент говорит об истинности одного из выводов, то он свидетельствует о ложности противоположного умозаключения, который должен быть отброшен вместе с той гипотезой (системой посылок), на основе которой он был получен. Следовательно, множество гипотез после осуществления этого эксперимента уменьшается на один элемент. Если оказавшийся ложным результат вывода следует не только из одной гипотезы, а из гипотез, составляющих некоторое подмножество гипотез, то множество возможных гипотез стягивается (редуцируется) в дополнение этого подмножества. Если дополнение состоит из одного элемента, то из множества гипотез остается одна. В этом случае можно сказать, что получены сведения о физическом процессе, что у нас сформировано знание о физическом процессе.

Это понятие «формирование знаний» является исходным, первичным по отношению к понятию «информация». Информация, содержащаяся в результатах некоторого эксперимента, представляет собой дополнительное утверждение, которое, будучи добавленным к системе посылок, выбранных как исходные, уменьшает число выводов, не находящихся в противоречии с дополненной таким образом системой посылок. Измерить информацию, содержащуюся в результатах эксперимента, — значит измерить эффективность дополнительного утверждения с точки зрения уменьшения множества возможных (незапрещенных) гипотез. Поэтому меру информации, или меру редуцированности дополнительного утверждения, можно определить через уменьшение множества возможных гипотез. Вопрос о конкретной форме выбора меры уже является вопросом техническим. В качестве меры информации можно выбрать количество элементов множества гипотез, с которыми после проведения эксперимента оказываются находящимися в противоречии утверждения, формулирующие результат эксперимента. Очевидно, что выбор абсолютного или относительного количества элементов для измерения информации не играет принципиальной роли. Точно так же не принципиален выбор системы счисления, в которой записывается количество элементов элиминированного подмножества. Неважно, как измерять множество, числом или разрядом в какой-либо системе счисления. Поскольку в логических выводах чаще всего используется логика двузначная, то очень часто бывает удобно для измерения множеств выбрать число двоичных разрядов числа элементов множества, т. е. его двоичный логарифм.

Нетрудно проанализировать выражение: «информация, содержащаяся в записи алгоритма». Поскольку твердого определения подобного рода информации нет, то при анализе могут быть допущены некоторые терминологические вольности.

Пусть  $X$  — специалист по вычислительной математике, который ясно себе представляет, какое обилие алгоритмов может быть сформулировано, услышал о разработке некоторого алгоритма для решения задачи, в осуществлении которого он заинтересован. Будучи знакомым с

принципами построения алгоритмов, он до некоторой степени представляет, каким этот алгоритм может быть. Следовательно, сам факт существования алгоритма несет для него в себе информацию, поскольку он относится к более или менее частной задаче. Далее  $X$  от своего коллеги узнает, что тот видел этот алгоритм в записанном виде, и коллега ему сообщает основные его этапы. Следовательно, сообщение коллеги несет дополнительную информацию. И вот после поисков  $X$  достает полную запись алгоритма. Из всех мыслимых алгоритмов он выбирает один определенный. Очевидно, что информация, содержащаяся в записи алгоритма, существенно зависит от тех сведений, которыми он располагал до визуального знакомства с записью.

Нечто вполне аналогичное по смыслу содержится в выражении: «информация, содержащаяся в данном документе».

Но в последнее время термин информации начал употребляться далеко не в обычном смысле. Например, рассмотрим выражение: «информация, хранящаяся в ячейке вычислительной машины». Как можно его понять?

Рассмотрим намеренно простой случай. Пусть мы располагаем вычислительной машиной (ВМ), которая может складывать два любых числа из множества 0, 1, 2, 3, 4, 5. Какой бы ни был технический принцип осуществления этой машины, она имеет возможность однозначно сопоставить каждому элементу множества пар чисел, образованных из этого множества, т. е. декартова произведения двух одинаковых множеств (оно будет насчитывать 36 элементов), элемент множества их сумм (множества из 11 элементов). Когда в машину не введено ни одного числа, т. е. еще неизвестно, что с чем складывать, можно лишь сказать, что ВМ может лишь выдать один из 11 результатов. Введение в ВМ первого слагаемого уменьшает множество возможных результатов (множество всегда редуцируется до подмножества, состоящего из 6 элементов). Поэтому ввод определенного значения первого слагаемого в ячейку ВМ несет информацию. Ввод второго слагаемого устраняет неопределенность и дает полную информацию о результате действия ВМ.

В рассмотренной выше ситуации не было гипотез, не было логического вывода, но была неопределенность и имело место ее уменьшение путем фиксирования одной степени свободы входного состояния. Налицо определенный изоморфизм между ситуациями, хотя понятие информации в смысле редуccionной способности дополнительных утверждений в данном случае вряд ли применимо. В этом выражении, а также в выражении «информация, перерабатываемая автоматом» понятие информации используется в более широком смысле, являющемся естественным обобщением более непосредственного понимания информации, и к нему мы вернемся позже.

Можно продолжить анализ выражений, использующих интуитивное понимание информации в более или менее расплывчатой форме, но целесообразно дать четкое определение обычного понятия информации и рассмотреть для этого выбор слова из словаря. Будем считать, что в английском языке около  $7 \cdot 10^4$  слов и выражений [5]. Утверждение о том, что искомое слово начинается на  $e$ , уменьшает неопределенность с  $7 \cdot 10^4$  слов до  $2,5 \cdot 10^3$  (с 16,1 до 11,3 битов), задание второй буквы  $l$  уменьшает неопределенность до 150 слов (до 7,25 битов), задание третьей буквы  $e$  — до 75 слов (6,25 битов), задание четвертой буквы  $c$  — до 51 слова (5,68 бита), задание пятой буквы  $t$  — до 49 слов (5,66 битов). Шестая буква слова  $r$  уменьшает неопределенность до 40 слов (5,13 бита). Задание седьмой буквы  $o$  далее уменьшает неопределен-

ность до 29 слов (4,94 бита), восьмая буква  $n$  — до 4 слов (2,00 бита). Знак окончания слова дает указание на одно-единственное слово *electron*. Знак окончаний слова полностью устраняет неопределенность. Теперь можно сделать оценку редуцированных способностей отдельных знаков в слове *electron*. Задание первой буквы уменьшает неопределенность в 28 раз (на 4,8 бита), второй — в 16,6 раза (на 4,05 бита), третьей — в 2 раза (на 1 бит), четвертой — в 1,47 раза (на 0,56 бита), пятой — в 1,04 раза (на 0,03 бита), шестой — в 1,22 раза (на 0,53 бита), седьмой в 1,7 раза (на 0,72 бита), восьмой — в 7,25 раза (на 2,94 бита), знака окончания — в 4 раза (на 2 бита). Поэтому по информативности буквы в слове *electron* располагаются в следующем порядке:  $e$  (первая),  $l$ ,  $o$ ,  $n$ ,  $e$  (вторая),  $c$ ,  $r$ ,  $t$  (третья).

Теперь можно дать определение интуитивного понятия информации как способности дополнительных утверждений, присоединенных к некоторой системе посылок, редуцировать (уменьшать) множество возможных утверждений, не вступающих в противоречие (в смысле двузначной логики) с этой системой посылок. Это определение можно пояснить следующим образом. Пусть имеется  $S$ -система посылок, т. е. взаимно непротиворечивых утверждений, которые могут быть системой посылок в логическом выводе. Множество всевозможных утверждений  $\Sigma$  можно разбить на два непересекающихся подмножества:  $\Sigma_1$  — множество утверждений, не противоречащих  $S$ , и  $\Sigma_2$  — множество утверждений, находящихся в противоречии с  $S$ . Добавление к  $S$  дополнительного утверждения  $\sigma$  может выделить из  $\Sigma_1$  подмножество и перевести его в  $\Sigma_2$ . Таким образом, множество утверждений  $\Sigma_1$  уменьшится. Прибавление дополнительных утверждений можно продолжить до тех пор, пока  $\Sigma_2$  не станет состоящим из одного элемента. Существенным для процедуры редукиции множества является неизменность системы  $S$ . Это обстоятельство очень существенно, и мы его используем при анализе вероятностного определения информации по Шеннону.

Вопрос о мере информации сводится к измерению множества  $\Sigma_1$  и его уменьшению при добавлении  $\sigma_1$  к  $S$ . По сравнению с проблемой смысла информации он является второстепенным и техническим.

Интуитивное понятие информации является результатом абстракции некоторых процедур логического вывода — инференции. Поэтому его природа логическая, и его можно назвать *инференционной информацией*. Селективная или указательная информация (выбор элемента из множества) является частным случаем инференционного понятия информации.

Далее мы проанализируем некоторые наиболее существенные трактовки информации, существующие в научной литературе, отличающиеся от интуитивного понятия, и выясним их отношение к инференционной информации, которая является инструментом теории логического вывода и используется, в частности, для проверки гипотез.

Вывод, которым можно было бы закончить настоящий параграф, целесообразно привести в следующей форме: *интуитивное понятие информации по своей природе есть понятие логики.*

## § 2. СТАТИСТИЧЕСКИЕ И ВЕРОЯТНОСТНЫЕ ПОНЯТИЯ ИНФОРМАЦИИ

Исторически первой, довольно четкой и достаточно самобытной формулировкой понятия информации было введение Р. А. Фишером некоторой функции, определенной на множестве параметров плотности распределения случайной величины, выборкой из множества реализа-

ций которой являются члены некоторого ряда наблюдаемых величин. Эта функция естественным образом вводится при развитии метода наибольшего правдоподобия. Ее значение равно нулю, когда значения ряда наблюдений не дают возможности сделать вывод о значении параметров плотности распределения [6—8]. Несмотря на специальный смысл введенной Фишером функции, она может считаться мерой уменьшения степени неопределенности (множества возможных) выводов (умозаключений) о значениях параметров плотностей распределения при добавлении к ряду основных посылок, составляющих формулировку метода наибольшего правдоподобия, утверждения о том, что члены ряда наблюдений имеют такие-то конкретные значения. Поэтому информация в смысле Фишера есть частный пример построения меры информации в обычном, точнее в интуитивном, или еще точнее, в инференционном (выводном) смысле, который был уточнен выше. Любопытно отметить, что, несмотря на то, что информация Фишера является понятием математической статистики, непосредственно со статистикой и теорией вероятности не связана, а имеет тоже логическую природу.

Следующим важным понятием информации, генетически связанным с наиболее популярным вероятностным определением в смысле Шеннона, является информация, введенная Хартли [9]. В работе последнего нет определения информации как таковой, а есть лишь указание на «эластичность» термина и на то, что в ней имеется его специфическое (частное) значение. Наиболее позитивным утверждением Хартли можно считать следующее: «По мере выполнения выборов исключается все большее и большее число последовательности возможных символов, и мы говорим, что информация становится более точной» ([9], стр. 7). Из него можно сделать вывод о том, что Хартли также понимает информацию в элиминационном смысле или, точнее, в индикационном (указательном) смысле: информация увеличивается по мере уменьшения неопределенности и указания последовательности символов. Это определение также является пониманием информации в выводном (инференционном) смысле.

Количественное выражение информации, по Хартли, состоит в выборе разряда числа элементов множества возможных последовательностей символов, выраженных в некоторой системе счисления (например, в двоичной) в качестве меры информации, внесенной выбором одного элемента множества. При этом рассматривается множество возможных значений, мыслимое до начала выбора элемента. У Хартли нет речи об информации, вносимой отдельным или некоторыми этапами выбора (например, буквы *e*, или букв *ct* при выборе слова *electron*), хотя он и говорит далее об «информационном содержании символов». Определение Хартли не содержит ничего, что не содержалось бы в инференционном понятии информации.

Теперь необходимо проанализировать смысл и содержание вероятностной концепции информации, предложенной Шенноном [10]. Информацию как таковую Шенноном тоже не определяет. Он лишь указывает, что информация создается выбором одного сообщения из конечного множества возможных сообщений. В таком виде его определение совпадает с определением Хартли. Но Шеннон далее сделал очень существенное предположение, породившее, по сути дела, вероятностную концепцию информации: «в предположении, что все сообщения равновероятны» (см. [10], стр. 244). Поскольку далее Шеннон говорит только о мере информации, которая, по сути дела, уже была введена Хартли, то целесообразно сосредоточить внимание на смысле сделанного им предположения о равновероятности.



Понятие вероятности не применимо для характеристики структуры множества. Если множество состоит из элементов, никакая пара которых не является парой идентичных элементов, то каждый элемент представляет собой вполне определенную долю полного множества. Эта доля равна  $N^{-1}$ , где  $N$  — число элементов множества. Из тех же  $N$  неидентичных элементов можно построить новое множество. Можно взять  $k$ -тый элемент, репродуцировать его, не нарушая его идентичности,  $n_k$ -раз. Прodelать это можно для всех  $N$  элементов и составить новое

множество из  $N_1 = \sum_{k=1}^N n_k$  элементов. Тогда доля каждого типа элемен-

тов составит  $n_k N^{-1}$  и можно говорить о вероятности случайной выборки элемента типа  $k$  из множества, состоящего из  $N_1$  элементов. Но на практике подобные множества никто и никогда не составляет, и трудно предположить, что подобная репродукционная процедура могла бы быть кому-нибудь и для чего-нибудь полезна. Несмотря на то, что в процессе речи отдельные знаки, слова и даже более сложные комбинации повторяются, все-таки исходные алфавиты, словари и коды содержат только различимые, неидентичные элементы. Повторение элементов связано с тем, что логический вывод, как правило, состоит из этапов, в начале которых вывод начинается как бы сначала: индикация сложных элементов состоит из индикации более простых элементов, причем простота элемента — понятие весьма относительное и условное. Поскольку вероятность тесно связана со случайностью, дополнительное предположение Шеннона связывает логический вывод со случайностью весьма искусственно.

Главное же возражение против вероятностной интерпретации понятия информации сводится к тому, что на каждом этапе индикации, согласно вероятностной концепции, основная система посылок изменяется, репродуцируется новое множество возможных выводов. Эта концепция скорее подходит для описания логического вывода, когда исходная система посылок случайна (то одно предполагается, то другое).

Для иллюстрации последнего утверждения рассмотрим смысл термина информации в следующем контексте: информация о величине  $y$ , содержащаяся в указании величины  $x$  при условии, что плотность их совместного распределения задана функцией  $\varphi(x, y)$ . Для определенности рассмотрим дискретное распределение на конечном множестве значений величин  $x$  и  $y$ . Пусть  $a \leq x \leq b$  и  $c \leq y \leq d$ . Вне прямоугольника на плоскости  $XOY$   $\varphi(x, y) = 0$ . Внутри прямоугольника  $\varphi(x, y)$  изображается некоторой поверхностью, расположенной выше плоскости  $XOY$ . Итак, задание области, где  $\varphi(x, y) \neq 0$ , фактически задает неопределенность значений обеих величин, которая может быть тем или иным способом измерена. Пусть  $x = x_0$ . Вообще говоря, при этом неопределенность в значении величин  $y$  не уменьшается. Ее значения распределены на отрезке  $c \leq y \leq d$  с некоторой плотностью  $\varphi_{x_0}(y)$  (задание  $x = x_0$  задает не новое редуцированное множество возможных значений величины  $y$ , а новую плотность распределения на том же множестве, которая может быть описана как функция или как функционал, скажем, с помощью энтропии). Поэтому задание  $x = x_0$ , вообще говоря, не несет информации в инференционном или в индикационном смысле. Лишь в том частном случае, когда область значений величины  $y$  зависит от  $x$ , можно говорить о том, что в  $x$  содержится информация относительно  $y$ . Уменьшение области значений  $y$  можно понимать и в приближенном

смысле, считая что  $\varphi(x, y) \approx 0$ , если значение плотности меньше некоторого заранее выбранного уровня вероятности. Полную информацию об  $y$  можно получить лишь при условии, что при некоторых  $x$  плотность распределения величины  $y$  становится несобственной. Поэтому можно заключить, что шенноновское определение информации содержится в инференционном, если пренебречь его предположением о равновероятности сообщения, которое, по меньшей мере, не расшифровано.

В несколько иной форме предположение Шеннона как один из постулатов теории информации сформулирован Файнштейном [11]: «...чем более вероятно событие, тем меньше информации мы получаем, узнавая о его действительном осуществлении». Исходя из вышесказанного об отсутствии связи между инференционной информацией и вероятностью события (или точнее, сообщением о событии), следует констатировать, что положение Файнштейна с большим успехом могло бы быть использовано для построения не теории информации, заключающейся в сообщении, а теории сенсационности сообщения (так как, чем более вероятно событие, тем меньше острых ощущений мы получаем, узнавая о факте его осуществления).

Как вывод настоящего параграфа предлагается следующее утверждение: статистические и вероятностные определения информации представляют собой варианты инференционного определения ухудшенных тем, что в них без достаточных оснований информация связывается со случайностью.

### § 3. СЕМАНТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Неудовлетворение вероятностной концепцией информации побудило ряд авторов ставить вопрос о выработке нового понятия, отражающего не только приобретение знания за счет выборки (селекции) или указания (индикации) правильных (в смысле не находящихся в противоречии с основной системой посылок, дополненной другими утверждениями) утверждений, но и смысл (а также и значимость, значительность) утверждений.

Первая попытка построить более богатую концепцию принадлежит Бар-Хиллелу и Карнапу [12, 13]. Ими было предложено построение нового понятия семантической информации на основе индуктивной концепции вероятности, разработанной Карнапом [15]. Но эта концепция не исключает вероятностной концепции информации, а подводит под нее другую основу путем логического обоснования вероятности. Вопрос о взаимоотношении логики и случайности, для решения которого и создана теория индуктивной вероятности, является весьма сложной и, возможно, более фундаментальной, чем вопрос о понятии информации. Поэтому подробно останавливаться на нем вряд ли уместно в рамках настоящего исследования, тем более, что этот вопрос по сути дела является обоснованием теории вероятностей. Хотелось бы отметить, что, обсуждая вопрос о связи информации с вероятностью, различные авторы понимают под информацией различные вещи. В выше изложенном информационном понимании (Маккей называет его селективным [14]) информации речь идет о некотором свойстве дополнительной посылки, *не противоречащей* основной системе посылок и об измерении этого свойства. В других случаях (см., например, [13]) речь идет о проверке состоятельности системы посылок путем сопоставления утверждения, следующего из них, с фактами. Если из некоторой системы посылок следует невозможность какого-то события, то иными словами можно сказать, что вероятность этого события тождественно равна нулю. Но пусть

в действительности происходит все-таки это событие. Согласно Файнштейну мы получаем бесконечно большую информацию. На самом деле из этого лишь следует, что либо система посылок неадекватна, либо логический вывод проведен неправильно. В данном случае мы получили некоторые сведения о качестве исходных посылок, хотя далеко не бесконечное количество. Но речь здесь идет не об информативности присоединяемой дополнительной посылки, после которой следует вывод, а об информативности факта (или утверждения о факте), сопоставляемого с результатами логического вывода (в частности, для его верификации). В этом случае, действительно, если факт не ломает наших представлений, то он мало информативен. Очевидно, возможно разработать процедуру измерения степени сокрушительности фактов по отношению к какой-либо концепции, но это совсем иная задача, не имеющая отношения к информации в смысле Бар-Хиллела—Карнапа.

Критика Бар-Хиллелом и Карнапом того, что информация в обычном смысле не учитывает содержания символов, требует обоснования, так как в задании системы символов уже всегда закладывается значение символов; особенно это легко видеть на примере естественных языков, состоящих из слов, обозначающих понятия.

Весьма близкой к инференционной концепции информации является идея Харра [16]. Его мысль, состоящая в том, что для выработки понятия информации существенно сравнение сообщения со знаниями приемника, оценивается на основе его полезности для достижения некоторых его целей. В данном случае сообщением называется дополнительное по отношению к основной системе посылок утверждение (что всегда можно сделать), а знания — это основная система посылок. Харра не конкретизирует цели, а целью чаще всего бывает стремление выудить из множества возможных «выводов», допускаемых «знаниями», какой-либо один, что и достигается приплюсовыванием «сообщения» к «знаниям».

Непосредственной детализацией этой концепции является концепция семантической информации Шрейдера [2—3]. В ней роль «знаний» Харра играет тезаурус, понимаемый как предельно глобальное множество всех возможных и действительных адекватных по отношению к действительности утверждений. Предполагается, что тезаурус под воздействием новых утверждений («сообщений») деформируется. Сообщения играют роль операторов. Степень информативности сообщений определяется по степени деформации тезауруса, производимой оператором, сопоставленным сообщению.

В этой концепции есть много от инференционного подхода к определению информации. Но вместе с тем имеется в ней и ряд положений, которые лишают ее ряда преимуществ по сравнению с последней. Первое затруднение возникает при гносеологической оценке концепции. Если тезаурус под действием операторов-сообщений, как правило, деформируется, но не увеличивает свой фазовый объем (по аналогии с ливиллевскими множествами), то это свидетельствует о преформистичности ее исходных положений. Если ее объем не меняется, то прогресс человека и общества приводит лишь к переименованию того «тришкинского кафтана» знаний, которым человечество (или человек в отдельности) всегда располагало. Вряд ли это положение может противостоять контраргументации чисто философского характера. Вернее всего тезаурус подобен не разминаемому мячику, а раздувающемуся шару, который хотя и может изменять свою форму, но это изменение есть лишь вторичное по отношению к его непрерывному раздуванию. Автор не отвергает наличия раздувания тезауруса, но и нигде не упоминает, тем

более его нигде не использует. А между тем проверка гипотез, предсказания, сопоставление утверждений с действительностью — все это средства раздувания тезауруса. И новые сообщения деформируют не основную систему посылок («знания» или тезаурус), а уменьшают неопределенность возможных выводов. Причем бывает и так, что какие-либо операторы-сообщения уже содержатся в имеющейся совокупности знаний, т. е. в тезаурусе. Поэтому общности ради нужно вести речь не только о деформации тезауруса, но и об его выворачивании. Кроме того, в этой концепции есть многое от концепции Файнштейна — деформация посылок действительно подчас имеет место, но не как результат присоединения дополнительных посылок, а как результат сопоставления результатов вывода с фактами или утверждениями о фактах.

Таким образом, попытки создания семантической разновидности информации касаются иной проблемы (вообще говоря, не лишней интереса): оценки разрушительности действия фактов по отношению к каким-либо сконструированным системам посылок. Но эта проблема по сути дела даже не поставлена, а если и можно уловить следы ее присутствия в чисто логической литературе, то там она никоим образом не связывается с концепцией информации. Авторы, выдвигающие идею о необходимости введения семантической информации, противопоставляют ее инференционной информации — орудию решения несколько иных проблем чем те, которые являются предметом их исследования. Поэтому семантическая информация не может составить конкуренцию инференционной, а по степени разработанности она находится далеко позади.

#### § 4. АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИИ

Колмогоров [1] предлагает ввести меру косвенности знаний, заключенных в одном относительно другого<sup>1</sup>. Желательность введения такой меры видна из ряда примеров. Если величина  $y$  связана с  $x$  соотношением  $y=x^2$ , то, зная  $x$ , мы совершенно однозначно узнаем  $y$ , не рискуя оказаться лицом к лицу с какой-либо неопределенностью. Но если в одном случае  $x=2$ , а в другом  $x=868731954$ , то во втором случае получить точное знание о величине  $y$  сложнее, чем в первом. Поэтому несмотря на то, что в обоих случаях все знание об  $y$ , заключено в  $x$ , степень подспудности или недоступности этих знаний во втором случае больше. Поэтому в некотором смысле можно сказать, что во втором случае в  $x$  содержится меньше сведений относительно  $y$ ; что во втором случае задание  $x$  менее информативно, чем в первом.

Можно привести актуальный пример из области теоретической физики. Современная квантовая механика при условии учета всевозможных эффектов позволяет с очень большой точностью вычислить энергетические уровни атома водорода, т. е. атома элемента с порядковым номером в периодической системе элементов Менделеева, равным единице. То же самое возможно и для элемента с порядковым номером, равным двум (т. е. для гелия), но в этом случае вычисление энергетических уровней связано с гораздо большими вычислительными трудностями. Начиная с атома лития (порядковый номер, равный трем) последние становятся настолько большими, что о *точном* вычислении энергетических уровней не может быть и речи даже на современном уровне развития вычислительной математики и техники, хотя в принципе, пользуясь физической теорией энергетических уровней (и спектров), можно

<sup>1</sup> Дальнейшее развитие этой идеи см. в [17].

рассчитывать энергетические уровни всех элементов, вплоть до транскурчатовиевых, причем вполне однозначно, без тени неопределенности.

Эти два примера показывают, что не всегда, когда задание одной величины (или множества величин) позволяет однозначно определять другую, эту вторую найти одинаково легко. И весьма желательно введение показателя, который мог бы количественно характеризовать подспудность сведений, а следовательно, и целесообразность извлечения с учетом затрат на вычисление и на оценку экономической эффективности. Но подобная мера опять не имела бы прямого отношения к информации в инференционном смысле и не могла бы быть ее альтернативой, а также бросить тень на целесообразность развития и употребления понятия информации в этом смысле: она могла бы быть ее хорошим дополнением.

## § 5. ДВА ОБОБЩЕНИЯ ИНФЕРЕНЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ

Вряд ли можно говорить об обобщении этого понятия, поскольку мы хотим отметить, что у ряда авторов встречаются употребления термина «информация» в весьма метафорическом смысле. Эти употребления можно разбить на две группы.

К первой группе относятся иносказательные трактовки информации, о которых уже шла речь в первом параграфе. Имеются в виду выражения: а) информация, хранящаяся в ячейке вычислительной машины; б) информация, перерабатываемая автоматом.

Каковы происхождение и законность подобного употребления термина «информация»? Дело в том, что действие вычислительных машин, автоматов, да и вообще человеческое действие можно описать с помощью законов, изоморфных правилам логического вывода. Проводя отношение изоморфизма, можно сопоставить дополнительным утверждениям в логическом выводе некоторые фиксированные состояния машин или фиксированные ситуации, которые уменьшают, будучи осуществленными, неопределенность результата действия вычислительных машин, автомата, человека. По аналогии с инференционной информацией можно ввести меру оценки степени снятия неопределенности результатов, возникающей как следствие фиксации состояния или ситуации. Формально она будет той же, что и мера инференционной информации, хотя она относится к случаям, в которых логического вывода вообще нет. Поэтому информацию в подобном смысле можно было бы назвать *праксеологической*, поскольку в данном случае речь идет либо о человеческой практике, либо об орудиях последней (что то же самое).

Ко второй группе переносных смыслов термина «информация» можно отнести использование его при описании естественных процессов. Объясняя процессы, протекающие в изучаемых вещах, исследователи строят модели протекания процессов, которые явно или неявно предполагают справедливость принципа причинности и наглядно описывают процессы в виде причинной сети различных подпроцессов. При этом используется аналогия с действием искусственных инженерных систем и человеческой деятельностью. И в этом случае при проведении аналогии можно установить свойство отдельных состояний или процессов в вещах естественного происхождения уменьшать при своей фиксации итоговый результат процесса. Это позволяет переносить понятие праксеологической информации в рамках, конечно, аналогии, в рамках состоятельности или адекватности выбранной модели на вещи естественного происхождения. Плодом подобного переноса является использование концепции информации в биологии, в частности понятие генетиче-

ской информации [18]. Такое метафорическое понимание информации можно было бы назвать *кибернетической* информацией, поскольку основной предмет кибернетики как дисциплины, созданной в основном трудами Н. Винера, составляет использование сложных инженерных систем (управляющих систем, систем автоматического регулирования, электронных счетных машин и т. п.) в качестве моделей вещей естественного происхождения, изучаемых частными науками, а не изучение самих сложных инженерных систем, которое составляет предмет технических наук (в частности, системотехники и ее вариантов [19]).

В последнее время понятие информации очень часто используется для построения теории физических систем и процессов [21, 22]. Но информация, используемая при этом, не является кибернетической информацией. Ее корни — в вероятном (довольно формальном) определении и вероятностном истолковании чисто физического понятия — энтропия. Полезность использования информации в физике под этим углом не очевидна и нуждается в тщательном исследовании.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Колмогоров А. Н. Три подхода к определению понятия «количество информации». «Проблемы передачи информации», 1965, № 1, стр. 3—11.
2. Шрейдер Ю. А. Об одной модели семантической теории информации. В сб.: «Проблемы кибернетики», вып. 13. М., «Советское радио», 1965, стр. 233—243.
3. Шрейдер Ю. А. О семантических аспектах теории информации. В сб.: «Информация и кибернетика», под редакцией акад. Берга А. И. М., «Советское радио», 1967, стр. 15—47.
4. Schutzer D. M. A proposed measure for the information content in quantum fields. Doct. Diss. Syracuse Univ. 1965, 102 p.
5. Англо-русский словарь, составленный проф. В. К. Мюллером, изд. 7. М., Госиздат. иностр. и национ. словарей, 1960.
6. Фишер Р. А. Статистические методы для исследователей. М., Госстатиздат, 1958.
7. Крамер Г. Математические методы статистики. М., ИЛ, 1948, главы 32—33.
8. Ван-дер-Варден Б. Л. Математическая статистика. М., ИЛ, 1960, стр. 184—191.
9. Hartley R. V. L. Transmission of Information, Bell System Technical Journal 7, No. 3, 1928, pp. 535—563.  
Русский перевод: Хартли Р. В. Л. Передача информации. В сб.: Теория информации и ее приложения. М., Физматгиз, 1959, стр. 5—35.
10. Shannon, C. E. A Mathematical Theory of Communication, Bell System Technical Journal, 27, No. 3, pp. 379—423; No. 4, pp. 623—656 (1948).  
Русский перевод: Шеннон К. Э. Математическая теория связи (работы по теории информации и кибернетике). М., ИЛ, 1963, стр. 243—332.
11. Файнштейн А. Основы теории информации. М., ИЛ, 1963, стр. 8.
12. Bar-Hillel Y., Carnap R. Semantic Information. Brit. J. Phil. Sci., vol. IV, No. 14, pp. 147—157 (1953).
13. Bar-Hillel Y., An Examination of Information Theory. Philos. Sci., 20, No. 3, pp. 86—105 (1955).
14. Maskay D. M. In Search of Basic Symbols. Transactions of VIII Conference on Cybernetics, N. Y., 1952, pp. 222—235.
15. Carnap R. Logical Foundation of Probability. Chicago, 1952.
16. Haggah D. A Model for Applying Information and Utility Functions. Phil. Sci., 30, No. 3, pp. 267—273 (1963).
17. Колмогоров А. Н. К логическим основам теории информации и теории вероятностей. «Проблемы передачи информации», 1969, т. 5, № 3, стр. 3—7.
18. Сб. «Концепция информации и биологические системы». Перевод с английского под ред. Гурфинкеля В. С. М., «Мир», 1966.
19. Шушурин С. Ф. Физика и кибернетика. Доклад на III Международном съезде по логике, методологии и философии науки. Амстердам, 1967.
20. Бриллюэн Л. Наука и теория информации. М., Физматгиз, 1960; Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация. М., «Мир», 1966.
21. Ingarden R., Urbanik K. Information as a Fundamental Notion of Statistical Physics. Bull. de l'Acad. Pol. Sci. Série des sciences math., astron. et phys., 1961, 9, n° 4, p. 314; Information without Probability. Coll. Math., 1962, 9, No. 1, p. 136.

*С. Ф. ШУШУРИН*

**ИЗУЧЕНИЕ СВОЙСТВ И ЯВЛЕНИЙ КАК ПУТЬ ПОЗНАНИЯ  
СТРУКТУРЫ И ПРОЦЕССА  
(на примерах общей физики)**

**§ 1. ВВЕДЕНИЕ**

Развитие исследований гносеологического характера имеет перво-степенное значение для основ теории физического познания. Необходимость разработки и уточнения этих основ усугубляется все ускоряющимся ростом физических исследований и расширением их фронта. Физика как и любая частная наука представляет собой продукт деятельности людей и общества в целом. Эта деятельность закономерна и причинно обусловлена. Природа этих закономерностей глубоко вскрыта марксистско-ленинской теорией общественного развития — историческим материализмом — и марксистско-ленинской философией — диалектическим материализмом. Причинная обусловленность хода физического познания предполагает возможность управления им. Знание конкретных причинных связей позволило бы изменять его ход, решать задачу оптимизации физического познания. Трудность решения этой задачи вызвана крайней переплетенностью общественных и психологических факторов в процессе научного творчества. Хотя отрыв одного рода факторов от другого, строго говоря, недопустим, ради упрощения подхода к анализу проблем научной деятельности вообще мы ограничиваемся гносеологическим аспектом.

Одной из фундаментальных проблем разработки основ теории физического познания является проблема исследования эмпирических основ или предпосылок физического знания, в частности физических законов. Задача состоит в том, чтобы, опираясь на фундамент материалистической философии, проследить на конкретном физическом материале происхождение и самых общих, и частных физических законов из психологических данных (ощущений, восприятий представлений). Важность этой задачи обусловлена тенденцией к обобщению, экстраполяции физических законов, попытками считать некоторые весьма общие законы физики, например, законы сохранения, сложным образом выросшие из чувственных данных, априорными законами, извне внесенными в человеческое познание как обязательные схемы. Частной стороной этой проблемы является проблема происхождения физических понятий, расширение их круга и выяснения границ применимости каж-

дого из них. Ее разработка стимулируется необходимостью развития и создания новых научных понятий путем обобщения опытных фактов и установления связи между ними (нахождения новых физических законов).

Все это необходимо для успешного ведения борьбы против превращения физики в дедуктивную схему, против априоризма, и в конечном счете с догматизмом и объективным идеализмом в физике. Анализ возникновения физических понятий, использования моделей, роль объяснения в физике необходимы для борьбы с механицизмом.

## § 2. ЭМПИРИЧЕСКИЙ ХАРАКТЕР ПРЕДПОСЫЛОК ФИЗИЧЕСКОГО ЗНАНИЯ

Утверждение, принятое в качестве заголовка настоящего параграфа, звучит как вполне очевидное, но тем не менее в деле конкретного анализа возникновения хотя бы основных физических понятий из чувственных данных сделано еще очень мало.

Единственным источником физического знания являются ощущения: зрительные, кинестетико-моторные, осязательные, тепловые, слуховые. Обонятельные и вкусовые ощущения для формирования физических понятий значения не имеют. Точно так же не все ощущения, имеющие отношение к физическим явлениям, играют какую-либо гносеологическую роль. Любопытно заметить, что, например, ощущение слабого удара электрического тока ровно никакого значения для создания такого раздела физики, как электричество, не сыграло.

Опирающиеся на ощущения такие этапы познавательной деятельности, как выделение отдельных вещей, их классификация, образование понятий как чего-то, определяющего принадлежность вещи к некоторой совокупности вещей, в физике большой роли не играют. Они имеют большое значение в таких науках, как биология, петрография, в технических науках, меньшее значение — в химии (для классификации и различения веществ) и лишь небольшую роль в физике.

Решающую же роль в физике играет выработка понятия о свойстве вещи, сформированного на основе того или иного ощущения и представления об отдельной вещи, выработка которого предшествует началу физического познания. Предметом физического исследования являются такие свойства, как цвет, твердость, нагретость и др. Возможно, что к свойствам относятся и такие понятия, которые не считаются физическими свойствами. Например, есть основания полагать, что положение тела является его свойством. Связь свойств и ощущений иногда можно установить просто: цвету соответствует ощущение цвета, твердости — кинестетико-моторное, нагретости — тепловое ощущение и т. д. Но не всегда такое соответствие просто установить (магнитные свойства).

Более интересна возможность трактовки свойства вещи в рамках наглядной концепции «черного ящика» или неизвестного функционального многовходного преобразователя.

Иначе говоря, «черный ящик» представляет собой многополюсник, связь входов с выходами которого может быть установлена в процессе его изучения, а внутреннее его устройство неизвестно. Для установления этой связи производят некоторое воздействие на вход и регистрируется ответная реакция на выходе. Далее, эта установленная на опыте и воспроизводимая при повторениях связь либо используется для практических целей, либо является исходным данным для восстановления устройства этого многополюсника.



По аналогии свойство вещи можно трактовать как связь между воздействием на входы и реакцией или ответом с выхода многополюсника («черного ящика») соответственно. Рассмотрим, например, цвет. Освещение вещи светом некоторого спектрального состава вызывает ощущение субъектом некоторого цвета. Это восприятие вызвано воздействием на глаз света некоторого спектрального состава. Если спектральный состав при освещении не меняется, то тело принято называть в физике белым. Далее, если мы осветим тело светом иного спектрального состава, то цветовое ощущение субъектом изменится. Обычно освещение производится белым светом, а с цветом тела связывается ощущение цвета, отраженного от этого предмета. Таким образом, закономерная связь между спектральным составом освещающего света (воздействием) и спектральным составом отраженного от тела светом (ответа) можно трактовать как присущее телу свойство (цвет).

Рассмотрим другой пример. Твердость минералов по методу Бринелля определяется как связь между давлением, оказываемым на стальной шарик, входящий в результате этого в вещь, и диаметром образующего в теле углубления. Таким образом, твердость, по Бринеллю, как свойство явно свидетельствует о состоятельности аналогии с «черным ящиком».

Как легко видеть, свойство тел неразрывно связано с причинной обусловленностью. Ответ вещи на определенное воздействие причинно связан с ним. Повторяющаяся связь между воздействием и ответом, зафиксированная после ряда испытаний, представляет собой эмпирический закон. В качестве примеров можно указать законы механического движения материальной точки (зависимость ее положения от времени) и законы Ньютона, уравнения состояния газов, жидкостей и твердых тел, формула Ньютона для течения вязкой жидкости, закон Ома для участка цепи и многие другие.

Эмпирический закон может быть сформулирован качественно и количественно. Количественная форма закона предполагает возможность *измерения* свойства. Вопрос о сопоставлении некоторому свойству числа сложен и заслуживает особого обстоятельного анализа. Ниже мы ограничимся некоторыми замечаниями.

Обычно число сопоставляется свойству путем приписывания некоторому ответу числа при одном и том же воздействии. При измерении твердости по методу Бринелля телу сопоставляется число (диаметр вдавленного углубления) при одной и той же нагрузке на шарик. Фиксация воздействия предполагается не только при количественной характеристике свойства. Можно твердость определить и качественно, но для сравнения различных твердостей важно, чтобы воздействия во всех случаях были одинаковы.

Как же при количественной формулировке закона число сопоставляется воздействию и ответу? Рассмотрим частный случай уравнения состояния — закон Гука для растяжения тел. Воздействием является сила, которой некоторым образом сопоставлено число, ответом — относительное удлинение тела, количественно выражаемое посредством измерения длины тела до и после воздействия. Поскольку определение относительного удлинения практически легко доступно, этот закон используется для сопоставления силе числа, т. е. для измерения силы. Детальный анализ измерения свойств в физике (происхождение почти всех физических величин) показывает, что в конечном счете измерение в физике сводится к измерению длины. Исключением, может быть, являются измерения с помощью счетчиков частиц, но при этом измеряются не свойства, а вещи (точнее, явления).

Кроме изучения свойств, их измерения и установления эмпирических законов существенную часть физических исследований составляют изучения изменения вещей и их свойств, которые можно объединить под названием явлений. Изучение явлений существенно ничем не отличается от изучения свойств, так как при констатации явления необходимо установить изменение вещи или изменение свойств. Так же как и при установлении эмпирического закона, большое значение имеет вскрытие причинных связей между явлениями.

Таким образом, первой важнейшей ступенью физического познания является изучение *свойств* и *явлений*, установление эмпирических законов (как количественных, так и качественных). Результаты первой ступени познания допускают практическое использование в силу своей повторяемости, причинного характера. Эту стадию познания можно назвать *описательной*. Иногда ее называют феноменологической. Последний термин философски не точен, так как феноменология — это учение о явлениях, сущность которых принципиально недоступна для познания. Поскольку диалектический материализм отрицает существование таких явлений, первое название является более подходящим. Но эта ступень или стадия познания не является последней, хотя очень часто итоги этой ступени находят непосредственное применение на практике.

### § 3. СОСТАВНЫЕ ВЕЩИ И ИХ СВОЙСТВА

Переход к следующей стадии познания тесно связан с проблемой части и целого и образованием составных частей вещей. Выделение вещей из окружающего объективного мира — материи — представляет собой сложный процесс начальной стадии познания. Выделение вещи относительно, оно зависит от многих условий, в частности вещь может рассматриваться как совокупность ранее выделенных вещей. В этом случае говорят, что вещь состоит из частей. Под частью в этом случае понимают ранее гносеологически выделенные вещи. На самой ранней стадии выделение части было связано с практической деятельностью человека, с расчленением целого, с деструкцией вещей. Поэтому нередко часть понимается как вещь, полученная в результате расчленения другой вещи. Но подобное понимание не всегда справедливо, ибо далеко не всегда полученная часть до деструкции существовала внутри целого, как отдельная вещь. Чаще имеет место обратное. Часть в строгом смысле, как объективно существующее, бывает элементом составной вещи.

Другой разновидностью деятельности человека, играющей большую роль для выработки понятия части, является созидательная деятельность, создание сложных вещей из более простых. Особенно важную роль играет создание орудий труда — вещей, предназначенных для воздействия на окружающий мир, в частности на отдельные вещи. Любое орудие труда тоже можно трактовать как «черный ящик», на вход которого воздействует человек, а ответом на «выходе» является желаемое воздействие на вещи. Но в отличие от случая исследования (и это очень существенно) орудие труда не является «черным ящиком», ибо известны связи между входом и выходом, заложенные в конструкцию, и более того, известно устройство орудия труда как вещи из его составных частей. Орудия труда входят в класс искусственных вещей, состав которых из исходных вещей доступен непосредственному восприятию, так как они созданы руками человека. Связь исходных вещей в сложной вещи, доступной непосредственному восприятию, называется *строением* сложной вещи или ее структурой.

Составная вещь, так же как и целая, обладает различными свойствами. Они могут давать различные ответы на те или иные воздействия. Примером тому являются орудия труда (машины), начиная от простейших — рычага и винта.

#### § 4. СТРОЕНИЕ ЦЕЛОГО КАК РЕЗУЛЬТАТ АНАЛОГИИ С СОСТАВНЫМИ И СЛОЖНЫМИ ВЕЩАМИ

Изучение свойств целой вещи, т. е. вещи, относительно строения которой нет непосредственно воспринимаемых данных, и свойств вещи, заведомо составной, может обнаружить некоторое сходство их свойств или эмпирических законов, связывающих эти свойства и описывающих их поведение. Если сходство довольно большое, то составную вещь можно использовать как модель целой вещи. Польза этой аналогии состоит в том, что с некоторым приближением целой вещи можно приписать структуру составной. Строение же составной вещи, как правило, известно, и связь между входом и выходом следует из нее логически. Эмпирический закон как результат опыта может быть началом цепи логического (индуктивного и дедуктивного) вывода. Но если удастся осуществить логический вывод, результатом которого будет эмпирический закон, то будет осуществлено логическое объяснение его, исходя из некоторых посылок. Для составной вещи известны свойства и законы, относящиеся к элементам системы, и ее структура. Поэтому, исходя из них, можно логически объяснить свойство сложной системы как целого или эмпирический закон, ее описывающий. Это можно использовать для предсказания свойств такой системы.

Таким образом, свойства составной вещи можно *объяснить*, исходя из ее строения. Но как объяснить свойства целой вещи, строение которой не известно? Их объяснить можно *по аналогии* со свойствами составной вещи, строение которой заранее известно. В этом заключается сущность структурного объяснения свойств или переход от их описания к объяснению.

Физика изобилует примерами структурного объяснения. Кинетическая теория газов представляет собой объяснение свойств газов на основе строения и свойств системы тел, подчиняющихся законам механики (модель упругих шаров). Статическая физика представляет собой теорию расчетов свойств физических тел на основе их аналогии с системами тел, между которыми действуют силы различной природы; свойства этой системы доступны непосредственному расчету на основе эмпирических законов поведения элементов этой системы. Можно говорить о объяснении явлений: объяснение интерференции и дифракции света на основе волновой модели и объяснение фотоэффекта и эффекта Комптона на основе фотонной модели света.

Очень важным методологическим выводом из вышеизложенного является относительность структуры вещи, так как она — продукт аналогии, которая не является тождеством. Чем удачнее модель вещи, чем полнее аналогия, тем больше опасность забвения приближенности представления о вещи. Это может тормозить процесс совершенствования модели вещи, а иногда приводит просто к подмене изучаемой вещи моделью, которая беднее объекта исследования. Это фактически кладет конец прогрессу познания вещи и создает на его пути препятствия. В этом следует усматривать гносеологическую лазейку для проникновения механицизма, который проявляется в замене целого его моделью, представляющей составное целое, строение которого дано непосредст-

венно. В философии механицизм проявляется в замене материи, объективного мира в целом, совокупностью вещей, выделенных из него гносеологически в процессе познания.

Так же как свойства целой вещи могут быть объяснены на основе структуры ее модели, так же и явление может быть объяснено на основе определенной модели, или, как часто говорят, механизма изменения структуры, т. е. *процесса*. Как и установление структуры вещи приблизительно, неабсолютно, так и познание процесса, приписываемого существу явления, относительно. Как бы успешно ни были подобрана модель вещи и ее изменения, всегда имеются перспективы ее уточнения, усовершенствования, отказа от старых, сослуживших хорошую службу концепций и замены их новыми, более действенными.

На этом, собственно говоря, можно было бы и закончить изложение вопроса о познании структуры и процесса с помощью метода моделирования свойств вещей и их изменений (явлений).

Итоги можно подвести следующим образом. Для проведения последовательно материалистической точки зрения на природу физического знания следовало бы на конкретном материале показать, как из ощущений вырастают основные физические понятия; как в физику (науку эмпирическую) проникают понятия математики, прежде всего натуральное число, какова природа физических измерений и эмпирического закона в физике. Эту часть следовало бы закончить общим обзором описательной стадии познания в физике, познания *свойств и явлений*. Следующая проблема, непосредственно вытекающая из предыдущей: переход от описания к объяснению в физике; какими средствами он совершается; как используется метод моделирования; его сила и тающиеся в нем опасности механических огрублений процесса познания. Это и означало бы анализ второго этапа познания — объяснения, или познания *структуры и процесса*.

Но говоря об изучении структуры, нельзя не остановиться на двух важных вопросах, тесно с ней связанных: 1) на роли статистического метода в познании структуры и процесса; 2) гносеологическом обосновании сущности кибернетики и ее возможностей.

## § 5. ПРИРОДА СТАТИСТИЧЕСКОГО МЕТОДА

Пусть совокупность некоторым образом гносеологически выделенных вещей рассматривается как отдельная вещь. По определению она заведомо составная, не целая. Как ее описать, как провести сравнение вещей такого рода и описывать их изменения? Во-первых, совокупность можно характеризовать числом составных частей — элементов. Во-вторых, по некоторому принципу можно разбить множество на подмножества, характеризовать каждое множество количественно или качественно и построить функциональную зависимость числа элементов каждого подмножества от характеристики последнего. Эта зависимость носит название распределения (точнее, плотности распределения) множества по какому-либо признаку или количественному параметру. Эта функция самым непосредственным образом характеризует структуру множества вещей.

Когда число аргументов подобной функции велико, проводить анализ и сравнение нескольких таких функций затруднительно. Поэтому сравнение функций сводят к сравнению функционалов, однозначно определяемых этой функцией. Этими функционалами могут быть различные моменты, средние значения, энтропия (в статистическом смысле). При построении модели вещи, состоящей из множества элементов, предполагается наличие у этого множества распределения, некоторые свойства вещей (например, давление газа) связываются с некоторым средним значением — функционалом, зависящим от распределения. Обычно по значению свойств пытаются сделать вывод о распределении.

С математической точки зрения, по функционалу пытаются сделать вывод о функции (задача далеко не однозначная), а с философской точки зрения, по свойствам пытаются сделать вывод о структуре. Очевидно, эта задача допускает много решений. Поэтому появляется необходимость во введении некоторых дополнительных условий, позволяющих уменьшить произвол.

Все сказанное выше справедливо и для моделирования явления, которое сводится к нахождению изменения во времени некоторого множества, характеризующего модель изменяющейся вещи (явления).

В последнее время большое внимание уделяется роли теоретико-вероятностного описания процессов, которое рассматривается отдельно от статистического подхода. Даже при изложении математической статистики явно или неявно полагается, что последняя является приложением методов и идей теории вероятностей.

Дело обстоит как раз наоборот. Если при определенном воздействии на вход «черного ящика» получаются различные ответы на его выходе, или, говоря проще, регистрируются при одних и тех же условиях различные факты, то результатом регистрации будет некоторое множество событий. Если каждое событие можно охарактеризовать количественно или качественно, то не представляет труда охарактеризовать результат наблюдений или действия распределением. Изучение случайных событий, описание их случайными величинами, таким образом, сводится к применению статистического метода. Вопрос о природе вероятности и ее определениях все еще нельзя считать решенным, но ясно, что его можно решить только в рамках статистической концепции. К ней сводятся и классическое и геометрическое определение вероятности, правда, статистическая концепция Р. Мизеса нуждается в дополнительном анализе и существенном развитии.

## § 6. ГНОСЕОЛОГИЧЕСКАЯ ПРИРОДА КИБЕРНЕТИКИ

Метод моделирования нашел широкое применение в физике более двухсот лет назад. С ним связан расцвет многих ее глав: механики сплошных сред, включая механику твердого тела, кинетическая теория газов, представления о строении вещества, некоторые разделы оптики и в меньшей степени атомная физика. Но в качестве моделей предметов исследования в физике использовались несложные модели (модель упругих шаров, модель электростатически взаимодействующих тел).

Попытки применения моделирования живых существ в биологии на базе простых моделей очень быстро потерпели крах из-за примитивности и недостаточности моделей. Роль моделей при изучении биологических, психологических и общественных процессов была очень мала вплоть до середины нашего века. Так обстояло дело до сороковых годов нашего века, когда Н. Винер обратил внимание на то, что в качестве моделей многих вещей естественного происхождения можно с успехом использовать искусственные системы очень большой сложности, используемые как орудия труда (системы автоматического регулирования, счетные машины). Эта возможность явилась плодом наличия общих свойств у вещей естественного и искусственного происхождения. Н. Винер назвал это общее управлением. Несмотря на то, что это общее бесспорно существует, оно не является управлением. Управление — категория, относящаяся к человеческой деятельности и орудиям труда. Приписывание управления вещам естественного происхождения допустимо лишь в рамках *аналогии*. Поэтому *кибернетика* в том виде, в

котором она начала свое существование с трудов Н. Винера, представляет собой *приложение метода моделирования для изучения объектов со сложными свойствами биологической, психологической, общественной природы*. Но существенной особенностью этих моделей является то, что в качестве моделей используются орудия труда — сложные машины, результат многовекового развития науки и техники. Эти сложные машины имеют огромное значение для человеческого общества независимо от их способности быть моделями чего-то. Поэтому их теория, принципы конструирования представляют большой интерес, но они не имеют прямой связи с моделированием, их можно назвать системо-техникой или вообще теорией орудий труда.

Множество существующих определений кибернетики обращают внимание на большую роль моделирования, на сами модели, на свойства моделей, принципы конструирования и на возможность их использования в качестве моделей.

Стремление трактовать кибернетику как теорию современного машиностроения, как общую теорию орудий труда легко объяснить. Философия, много внимания уделяя гносеологии и онтологии (в основном онтологии естественного мира), почти не занимается принципами человеческого действия, труда, в частности теорией орудий труда. А потребность в философском осмыслении этих проблем назрела до болезненности. Поэтому все, кто чувствует в этом необходимость, были склонны увидеть в использовании современных машин в качестве аналогов вещей естественного происхождения философию действия, теорию труда в общем виде. Желаемое принимается за действительное. Поэтому не следует смешивать кибернетику Винера с теорией орудий труда. Главным же в кибернетике Винера является моделирование вещей естественного происхождения сложными техническими системами.

Отмеченную аналогию между объектами со сложными свойствами можно использовать и в другом направлении. Можно использовать знания о свойствах живых организмов для разработки новых орудий труда. На основе этого и развивается новая глава техники — бионика. Использование данных психологии порождает аналогичную техническую дисциплину — психонику. Совершенно аналогично можно говорить о возможности создания интеллектики, к которой, видимо, следует относить теорию машинного перевода.

Но создание машины со свойствами, аналогичными свойствам биологической системы, что является прямой задачей бионики, является одновременно и созданием модели этой биологической системы. А это является прямой задачей кибернетики. Поэтому между кибернетикой, с одной стороны, и бионикой, психоникой, интеллектикой и прочим им родственным техническим дисциплинам, с другой стороны, можно провести различие только с точки зрения цели, на которую направлено решение задачи. Если она направлена на научное исследование, значит мы имеем дело с кибернетикой, если же на создание технических устройств, то решается задача бионики или других технических дисциплин. Практически не всегда возможно провести между ними грань.

Подобное определение сущности кибернетики, которое не совпадает со многими определениями, получившими широкое распространение, открывает перспективу использования ее в физике, т. е. перспективу использования сложных систем для объяснения физических свойств и явлений. Это поможет углубить познание структуры и процессов в физике. Но для этого необходим дальнейший гносеологический анализ происхождения физических понятий, выделение эмпирических законов, анализ состоятельности используемых в физике моделей.

**В. В. МАКСАКОВ, Ц. С. САРАНГОВ**

## **МЕТОД АНАЛОГИИ В ТЕОРИИ СУБЪЯДЕРНЫХ ЧАСТИЦ**

В настоящее время многими авторами признается большое значение использования аналогий при развитии физической науки. В разных работах исследовалось применение аналогий в отдельных областях физики. На основе анализа исторического развития физики была высказана мысль о том, что применение аналогий является исторической закономерностью, позволяющей понять логический ход развития науки [1, 2]. Однако эта мысль нуждается в дальнейшем подтверждении и прежде всего на материале современной науки.

В связи с этим большой интерес представляет исследование применения аналогий в теории субъядерных частиц. Современная теория субъядерных частиц не представляет собой законченного построения. Сейчас начинают вырисовываться только некоторые ее стороны. Использование рассматриваемого здесь метода открывает широкие возможности создания новых теорий на основе ранее установленных закономерностей и теорий с помощью аналогий, которые существуют между уже исследованными и впервые открытыми физическими явлениями.

Важную роль сыграл метод аналогий при развитии понятия спина. С помощью аналогий возникла цепочка понятий, очень существенных для современной физики, понятий, тесно связанных друг с другом и возникающих одно из другого. Такими понятиями являются: квантовомеханический спин, изотопический спин, обобщенный спин,  $U$ -спин.

Идея изотопического спина возникла в результате проведения аналогии между поведением ядерных частиц и поведением частиц со спином  $1/2$  по отношению к магнитному полю. В процессе исследования особенностей внутренней структуры ядра пришли к открытию так называемого принципа зарядовой независимости. Было обнаружено, что взаимодействие между частицами ядра не зависит от величины электрического заряда. Силы взаимодействия между протоном и нейтроном, протоном и протоном, нейтроном и нейтроном равны между собой. На основании факта зарядовой независимости ядерных сил Гейзенберг [3] провел указанную аналогию. Он стал рассматривать протон и нейтрон как два различных состояния одной и той же частицы. Аналогично тому, как электроны образуют спиновый дублет под влиянием магнитного поля, протон и нейтрон образуют так называемый зарядовый дублет, отличаясь между собой только величиной электрического заряда.

Если пренебречь электрическим зарядом, то протон и нейтрон оказались бы неразличимыми, аналогично тому, как электроны неразличимы при отсутствии внешнего магнитного поля.

Гейзенберг развил указанную аналогию с обычным спином и придал ей математическую форму. По аналогии с обычным спином он ввел понятие новой величины, которую Вигнер [4] впоследствии назвал изотопическим спином. Значение новой величины (точнее, ее третьей компоненты), равное  $-1$ , Гейзенберг сопоставил протону, а значение  $+1$  — нейтрону. Ранее с помощью значений проекции спина различали состояние одной и той же частицы. Теперь переносят такой подход на случай, где каждое состояние некоей частицы (нуклона) является отдельной реально существующей частицей.

Термин «изотопический» подчеркивает аналогию в другом отношении — нейтрон и протон, аналогично изотопам химических элементов, обладают немного отличающимися друг от друга величинами масс [5].

По аналогии с обычным пространством декартовых переменных, Гейзенберг вводит пространство новых переменных для рассматриваемой величины, «вращение» в котором и изменяет проекции этой величины. При этом он подчеркивает, что сходство здесь является формальным, т. е. мы имеем дело с формальной аналогией.

Математический аппарат изотопического спина оказалось возможным развить полностью по аналогии с аппаратом обычного спина. Чтобы отнести протон и нейтрон к одному виду частиц, несмотря на большое различие в массах, аналогично изотопам химических элементов, им нужно приписать наличие какого-то нового общего свойства. Таким одинаковым для них свойством и будет изотопический спин. Считают  $I_p = I_n = 1/2$ . Различаться эти частицы будут уже проекциями этой величины на ось во введенном изотопическом пространстве. Точно так же, как и для случая обычного спина, величину  $I$ -спина выбирают из следующих соображений: сумма  $(2I+1)$  должна быть равна числу членов в семействе частиц. Для случая протона и нейтрона  $2I+1=2$ , значит,  $I=1/2$ . Изотопический спин характеризует всю группу частиц, зарядовое семейство в целом.

Проекция изотопического спина на некоторую «третью ось» в изотопическом пространстве наделяется реальным физическим смыслом. Ее различные величины позволяют отделять друг от друга по-разному заряженные частицы данного изотопического семейства. Однако надо заметить, что аналогия в данном случае является частичной, так как остальным проекциям изотопического спина на оси во введенном пространстве не придается никакого реального физического смысла. Роль «третьей компоненты» изотопического спина полностью аналогична роли  $z$ -компоненты обычного спина в теории спиновых мультиплетов. Понятие «изотопического мультиплета» и членов изотопического мультиплета является развитием по аналогии представлений о спиновом мультиплете.

В работе [4] Вигнер дополнил аналогию Гейзенберга в понятиях спин — изоспин. Ранее использовалось понятие полного обычного спина системы частиц. Проекция полного спина на третью ось равнялась сумме соответствующих проекций спинов частиц, составляющих систему, т. е.

$$\tau_{z_1} + \tau_{z_2} + \dots + \tau_{z_n} = n_N - n_P = 2T_z.$$

Тогда закон сохранения электрического заряда требует сохранения  $T_z$ . Теперь по аналогии можно рассматривать операторы полного изотопического спина, коммутационные соотношения и так далее [6].



Вигнер [4] успешно применил аналогию при развитии понятий спина и спинового мультиплета. Это оказалось полезным при объяснении свойств атомных ядер.

Он выделяет различные возможные приближения для ядерного гамильтониана. В первом приближении в гамильтониан ядра можно не вводить обычного спина, а также постулировать равенство сил между всеми составными частями ядра — протонами и нейтронами, т. е. пренебречь спиновыми и электромагнитными силами между протонами и нейтронами, считать действующие силы не зависящими от значений проекций изотопического и обычного спинов, а зависящими только от пространственных координат. С точки зрения этого приближения все частицы, образующие ядро — протоны и нейтроны — с любыми значениями проекций обычного спина, неразличимы между собой.

Можно рассматривать второе приближение, в котором учитываются спиновые силы. При таком подходе силы считаются зависящими и от пространственных координат, и от обычных спиновых координат. Взаимодействия между всеми сортами пар частиц — протоном и нейтроном, протоном и протоном, нейтроном и нейтроном — будут одинаковыми, т. е. можно обращаться с протонами и нейтронами на равных основаниях, учитывая лишь взаимные ориентации проекций спина.

При третьем подходе можно различать между собой протоны и нейтроны. Обычный спин в гамильтониан не включается. Тогда, пренебрегая спиновыми силами, можно принять во внимание силы, зависящие от пространственных координат и изотопического спина, т. е. здесь различают протон-протонные, протон-нейтронные и нейтрон-нейтронные взаимодействия без учета направлений проекций спинов взаимодействующих частиц.

Наконец, четвертый подход учитывает спиновые силы, как при втором подходе, и различает протоны и нейтроны, как при третьем. Тогда принимаются во внимание все типы взаимодействий. Силы, действующие между составными частями ядра, будут при этом зависеть и от пространственных координат, и от обычных спиновых координат, и от значений проекций изотопического спина.

Первый подход является грубейшим из четырех. Второй подход — более точен для легких элементов таблицы Менделеева, а третий — для тяжелых элементов. Четвертый подход — это самое точное приближение.

Гейзенберг пользовался вторым подходом. Ему были известны экспериментальные данные о том, что силы между всеми парами составных частей ядра являются приблизительно равными. Исходя из этого, он предложил схему, в которой рассматривал протоны и нейтроны как различные состояния той же самой частицы. По аналогии со спином Гейзенберг ввел переменную, которую Вигнер теперь называет изотопическим спином, и обозначает через  $\tau$ . Значением  $-1$  этой переменной Гейзенберг определяет протонное состояние частицы, значением  $+1$  — нейтронное состояние. Считая протон и нейтрон эквивалентными, можно не включать в гамильтониан изотопический спин.

Кроме переменной изотопического спина  $\tau$ , имеется также и обычная спиновая переменная  $s$ . Она может принимать два значения,  $+1$  и  $-1$ , которые будут соответствовать двум различным направлениям проекции спина на третью ось. Принцип Паули требует, чтобы волновая функция

$$\Psi(r_1 s_1 \tau_1, r_2 s_2 \tau_2, \dots, r_n s_n \tau_n)$$

являлась антисимметричной по отношению к одновременной перестав-

новке декартовых, спиновых и изотопически спиновых переменных у каждой пары тяжелых частиц. Вигнер подчеркивает, что «этот факт является полностью аналогичным сходному утверждению для обычного спина».

По аналогии со схемой Гейзенберга Вигнер развивает новую схему. От второго приближения он переходит к первому. В гамильтониан не включаются ни изотопически спиновые, ни обычные спиновые переменные. Все частицы ядра в любом состоянии будут теперь полностью эквивалентными. По аналогии с мыслью Гейзенберга, можно считать любые частицы ядра с любыми значениями проекций спина как бы одними и теми же частицами, ничем не отличающимися друг от друга.

Это дало Вигнеру возможность по аналогии с обычным и изотопическим спинами ввести понятие нового, «обобщенного» спина. Тогда, аналогично изотопически спиновой и обычной спиновой переменным, вводится новая переменная обобщенного спина. Четырем различным значениям переменной нового спина соответствуют четыре реальные состояния — два состояния протона и два состояния нейтрона с различными значениями проекций обычного спина.

Вигнер так определяет новый спин ([4], стр. 109): «Большая разница между обычным спином и спином, рассматриваемым здесь, в том, что мы имеем для каждой частицы две спиновые координаты  $s$  и  $t$ , дающие в целом четыре различные набора значений  $-1, -1; -1, 1; 1, -1; 1, 1$ . Взамен двух двузначных спинов можно ввести один четырехзначный спин  $\eta$ , который имеет значения 1, 2, 3, 4 для четырех различных дублетов значений  $s$  и  $t$  соответственно. Такое  $\eta$  играет ту же самую роль, какую играет двузначный спин в обычной спиновой теории».

По аналогии с операторами обычного и изотопического спинов Вигнер вводит операторы нового спина, волновые функции, зависящие от нового спина  $\Psi(\eta_1, \dots, \eta_n)$ . Появляется возможность рассматривать собственные значения операторов нового спина, затем «определить что-то аналогичное  $z$ -компоненте спинового момента» и соответствующие матрицы. Определяются диагональные квантовые числа. Набор алгебраических комбинаций этих чисел, полностью их определяющий, Вигнер по аналогии называет *магнитными квантовыми числами*, подчеркивая, что «их важность для спектроскопических рассмотрений та же самая, что и у одного обычного магнитного квантового числа в атомной спектроскопии».

Затем в рамках первого приближения Вигнер старается «определить аналог мультиплетной системы». Несколько состояний с различными новыми магнитными квантовыми числами будут так же образовывать наборы «мультиплетов», которые имеют общую энергию, т. е. эти наборы содержат одно состояние, с новыми магнитными квантовыми числами, так же изменяющимися в определенных пределах. Расщепление вырожденных состояний будет происходить при «включении» взаимодействий, зависящих от обычного и изотопического спинов. Так, «включая» взаимодействия, зависящие только от обычных спинов, получим в границах второго подхода схему Гейзенберга, где остается вырождение внутри изотопических мультиплетов. Но можно, например, «включить» только взаимодействия, зависящие от изотопических спинов, и в рамках третьего подхода получить новый возможный аналог схемы Гейзенберга.

Мы видим, что всю теорию оказалось возможным развить по аналогии с теориями для обычного и изотопического спинов и в дальнейшем перейти ([7], стр. 86) к понятию  $U$ -спина.

До этого пользовались понятием изотопического мультиплета.

В изотопические мультиплеты объединялись частицы с близкими массами. Симметрию частиц, входящих в изотопические мультиплеты, обуславливает симметрия соответствующих взаимодействий. Изотопической симметрии соответствует эквивалентность частиц с точки зрения так называемых «умеренно сильных» взаимодействий. Если бы учитывали только «сверхсильные» взаимодействия, пренебрегая умеренно сильными и другими взаимодействиями, то это обеспечило бы значительно более широкие симметрии между частицами. Учет умеренно сильных взаимодействий вызывает расщепление масс между изотопическими мультиплетами, но внутри изотопических мультиплетов массы должны оставаться одинаковыми.

Изотопические симметрии сильно взаимодействующих частиц находят себе объяснение в так называемой «схеме кварков». Точнее говоря, изотопические симметрии частиц сводятся к изотопическим симметриям составляющих их кварков. С точки зрения схемы кварков, для сильных и умеренно сильных взаимодействий  $u$ -кварк и  $d$ -кварк считаются совершенно симметричными. Они объединяются в изотопический дублет. Дублету ( $u, d$ ) приписывают изотопический спин, равный  $1/2$ . Значение проекции изоспина на «третью ось», равное  $+1/2$ , соответствует  $u$ -кварку, значение  $-1/2$  —  $d$ -кварку. Расщепление масс триплета кварков ( $u, d, s$ ) вызывается присутствием более «тяжелого»  $s$ -кварка, который выделяется в изотопический синглет, соответствующий значению изоспина  $I=0$ .

Определенные комбинации  $u, d$  и  $s$ -кварков сопоставляют различным сильно взаимодействующим частицам. Данный состав частиц из соответствующих кварков и объясняет имеющиеся изотопические симметрии. Различия в умеренно сильных взаимодействиях для ( $u, d$ )-кварков и  $s$ -кварка ведет к нарушению симметрии сверхсильных взаимодействий. И расщепление масс между изотопическими мультиплетами частиц вызывается присутствием в частицах различного числа  $s$ -кварков.

Теперь можно перейти к новой схеме, которая полностью аналогична схеме изотопических симметрий. Можно считать, что умеренно сильные взаимодействия «выключены», но расщепление масс остается. Это расщепление масс будет происходить только вследствие электромагнитных взаимодействий. Кваркам с различными электрическими зарядами соответствуют различные электромагнитные взаимодействия.  $u$ -кварк имеет электрический заряд  $+2/3$ , у  $d$ -кварка и  $s$ -кварка электрический заряд равен  $-1/3$ , т. е.  $d$ - и  $s$ -кварки являются симметричными относительно электромагнитных взаимодействий, а  $u$ -кварк нарушает эту симметрию.

Тогда по аналогии с понятием изотопического спина можно ввести понятие  $U$ -спина. В данной ситуации естественно объединить в дублет  $d$ - и  $s$ -кварки, поскольку их электрические заряды одинаковы, а  $u$ -кварк с другим зарядом выделить в синглет. Введение понятия  $U$ -спина по аналогии с понятием изотопического спина  $I$  и  $U$ -мультиплетов по аналогии с изотопическими мультиплетами оказалось целесообразным для учета электромагнитных поправок к массам.

С точки зрения электромагнитных взаимодействий, при *выключенных* умеренно сильных взаимодействиях  $d$  и  $s$ -кварки неразличимы. Объединяя  $d$ -кварк и  $s$ -кварк в  $U$ -дублет, приписывают дублету  $U$ -спин, равный  $1/2$ . Аналогично пространству спиновых переменных, можно рассматривать пространство  $U$ -спиновых переменных.

По аналогии с изотопическим спином, физический смысл приписывают не всем проекциям  $U$ -спина на координатные оси, а только проекции  $U$ -спина на «третью ось». Проекция  $U$ -спина, равного  $1/2$ , на

«третью ось» может принимать значения  $1/2$  и  $-1/2$ . Значение третьей проекции  $U$ -спина, равное  $1/2$ , соответствует  $\lambda$ -кварку, а значение, равное  $-1/2$ , соответствует  $\rho$ -кварку.  $\rho$ -кварк считают  $U$ -синглетом, для него  $U=0$ .

Переход от  $I$ -спина к  $U$ -спину может быть формально проведен заменой  $\lambda \longleftrightarrow \rho$ .

Определенные  $U$ -симметрии кварков по аналогии со случаем  $I$ -спина ведут к соответствующим  $U$ -симметриям частиц, составляемых из кварков.  $U$ -спин частиц сводится к  $U$ -спинам составляющих их кварков. Тогда реальные частицы можно объединять в различные мультиплеты по  $U$ -спину. Формальной заменой  $\lambda \longleftrightarrow \rho$  можно перейти от разбиения частиц октета барионов на изотопические мультиплеты к разбиению на  $U$ -мультиплеты.

С помощью понятия  $U$ -мультиплета можно учесть электромагнитные поправки к массе барионов. Для  $U$ -симметрии роль, аналогичную роли  $\lambda$ -кварка в нарушении изотопической симметрии, будет играть  $\rho$ -кварк. При отсутствии умеренно сильных взаимодействий нарушение симметрии между  $\rho$ -,  $\lambda$ -кварками обусловлено лишь  $\rho$ -кварком, обладающим иным электрическим зарядом, чем  $\lambda$ -кварки. В состав каждого из барионов, принадлежащих к одному данному  $U$ -мультиплету, будет входить одинаковое число нарушающих симметрию  $\rho$ -кварков. Это число будет меняться при переходе от одного  $U$ -мультиплета к другому, т. е. массы барионов, входящих в данный  $U$ -мультиплет, должны быть равны между собой, но меняться от одного  $U$ -мультиплета к другому. Обозначая через  $m$  «основную» массу частиц октета (получаемую при учете только «сверхсильных» взаимодействий), а через  $\delta_+$ ,  $\delta_0$ ,  $\delta_-$  — электромагнитные поправки к массе для частиц, входящих в соответствующие  $U$ -мультиплеты, можно написать:

$$\begin{aligned} m_p &= m + \delta_+; & m_{\Sigma^+} &= m + \delta_+; \\ m_{\Xi^0} &= m + \delta_0; & m_N &= m + \delta_0; \\ m_{\Sigma^-} &= m + \delta_-; & m_{\Xi^-} &= m + \delta_-. \end{aligned}$$

Затем можно перейти к рассмотрению реального случая, когда учитываются и умеренно сильные, и электромагнитные взаимодействия. Пользуясь принципом аддитивности, считают, что поправки к массе барионов, обусловленные умеренно сильными взаимодействиями, будут просто складываться с электромагнитными поправками, т. е. можно вместо величины  $m$  подставить массы частиц изотопических мультиплетов при выключенном электромагнитном взаимодействии. Обозначая в этом случае через  $m_\nu$ ,  $m_\Sigma$ ,  $m_\Xi$  массы нуклона,  $\Sigma$  и  $\Xi$ -гиперонов, одинаковые внутри изомультиплетов, получают:

$$\begin{aligned} m_p &= m_\nu + \delta_+; & m_{\Sigma^+} &= m_\Sigma + \delta_+; \\ m_{\Xi^0} &= m_\Xi + \delta_0; & m_N &= m_\nu + \delta_0; \\ m_{\Sigma^-} &= m_\Sigma + \delta_-; & m_{\Xi^-} &= m_\Xi + \delta_-. \end{aligned}$$

Отсюда легко заметить, что

$$m_p - m_N + m_{\Sigma^-} - m_{\Sigma^+} = m_{\Xi^-} - m_{\Xi^0}.$$

Получив массовую формулу Колмена и Глэшоу [8], применим аналогично случаю октета барионов понятие  $U$ -спина к декуплету барионов.

В декуплете имеются следующие изотопические мультиплеты:

1) без  $\lambda$ -кварков,  $I = 3/2$ :

$$\Delta^{++}\delta, \Delta^+\delta, \Delta^0\delta, \Delta^-\delta;$$

2) с одним  $\lambda$ -кварком,  $I = 1$ :

$$\Sigma^+\delta, \Sigma^0\delta, \Sigma^-\delta;$$

3) с двумя  $\lambda$ -кварками,  $I = 1/2$ :

$$\Xi^0\delta, \Xi^-\delta;$$

4) только  $\lambda$ -кварки,  $I = 0$ :

$$\Omega^-.$$

Отсюда получаем аналогичную схему для  $U$ -мультиплетов, заменяя  $\lambda \leftrightarrow p$ :

1) без  $p$ -кварков,  $U = 3/2$ :

$$\Delta^-\delta, \Sigma^-\delta, \Xi^-\delta, \Omega^-;$$

2) с одним  $p$ -кварком,  $U = 1$ :

$$\Delta^0\delta, \Sigma^0\delta, \Xi^0\delta;$$

3) с двумя  $p$ -кварками,  $U = 1/2$ :

$$\Delta^+\delta, \Sigma^+\delta;$$

4) только  $p$ -кварки,  $U = 0$ :

$$\Delta^{++}\delta.$$

Здесь так же, как и для частиц октета барионов, пользуясь понятием  $U$ -мультиплетов, можно получить соответствующие массовые формулы, учитывающие электромагнитные поправки к массам.

Мы убедились в том, что аналогия  $I$ -спин— $U$ -спин позволяет получить интересные теоретические результаты.

В настоящее время интенсивно развиваются представления о составной структуре субъядерных частиц. Среди логических методов, использованных при подходе к этим представлениям, а также при дальнейшей разработке этих представлений, одним из наиболее сильных оказался метод аналогий. В новой, неисследованной области теории оказались чрезвычайно полезными многие аналогии свойств, явлений и объяснения их, которые уже были разработаны для других разделов физики.

В рамках применения аналогий удалось прийти к качественно различным понятиям, которые, с одной стороны, во многом аналогичны предшествующим понятиям, но, с другой — содержат дополнительные особенности, объяснимые новой областью приложения таких понятий. На некоторых случаях использования аналогий при разработке составных схем для субъядерных частиц мы и остановимся.

Первой удачной составной схемой для частиц оказалась схема Ферми—Янга, предложенная в 1948 г. [9], в которой одни частицы можно рассматривать как сложные образования из других частиц.

До этого при изучении различных структурных уровней строения

вещества: постоянно использовались различные составные схемы. Свойства материи на определенном структурном уровне объяснялись с помощью перехода на следующий более высокий структурный уровень и непосредственно сводились к свойствам материи на этом новом структурном уровне.

Общим для всех этих схем было то, что для составления сложных объектов из каких-то первичных объектов — атомных ядер из субъядерных частиц, атомов химических элементов из атомных ядер и электронов, молекул вещества из атомов и так далее — относительный масс-дефект образующейся системы всегда считался меньшим единицы:

$$\frac{\Delta m}{m_{\text{конечн}}} < 1,$$

т. е. по сути дела всегда составляли из более легких объектов более тяжелые.

В новой ситуации при рассмотрении свойств материи на уровне субъядерных частиц и при попытке выбрать среди этих частиц первичные объекты такой подход оказывается неприемлемым. Это объясняется относительной близостью величин масс у многих субъядерных частиц и увеличением сил взаимодействия между этими частицами по сравнению с силами взаимодействия между объектами на предыдущем структурном уровне материи.

Тогда, по аналогии с разобранным подходом, Ферми и Янг предложили новую схему, где также можно говорить о составлении одних объектов из каких-то других, но теперь уже из более тяжелых объектов составляются более легкие. Силы взаимодействия как бы «съедают» основную часть массы первичных объектов, и относительный масс-дефект становится большим единицы:

$$\frac{\Delta m}{m_{\text{конечн}}} > 1.$$

Новый подход значительно расширяет наши возможности для сведения свойств материи на данном структурном уровне к ее свойствам на более высоком уровне.

Далее Ферми и Янг рассуждали следующим образом. Уже известно большое число «элементарных» частиц — различные мезоны, нуклоны, электроны, нейтрино. Постоянно продолжают находить новые и новые частицы. Все меньше оснований полагать, что все эти частицы являются «элементарными», т. е. по существу бесструктурными. Можно было бы попытаться образовать одни частицы с помощью других и рассматривать свойства образованных таким образом частиц как суперпозицию свойств исходных частиц. Но какие частицы взять в качестве основных? У нас нет никаких аргументов, заранее оправдывающих такой выбор.

За исходные частицы Ферми и Янг выбрали нуклоны. Наиболее компактным среди известных до этого образований из частиц являлось ядро атома. Оно составлено из нуклонов — протонов и нейтронов, согласно схеме Иваненко—Гейзенберга [3, 10]. Значит, совершенно естественно из этих же частиц попытаться составить и другие частицы, т. е. в основе развития новой схемы лежит вывод по аналогии.

Новым здесь является переход от схемы из нуклонов к схеме из нуклона и антинуклона. Тогда различным комбинациям нуклонов и антинуклонов и будут сопоставляться реально существующие частицы.

Нужно подчеркнуть, что в то время еще не были экспериментально открыты антипротон и антинейтрон. Не считая допущение их существо-

вания сколько-нибудь революционным, Ферми и Янг вводят эти античастицы с их свойствами, и предполагают, что их свойства соотносятся со свойствами самих частиц совершенно аналогично тому, как соотносятся между собой свойства электрона и позитрона ([9], стр. 1739): «Первое допущение будет в том, что и антипротон и антинейтрон существуют, имея то же самое соотношение с протоном и нейтроном, как электрон с позитроном».

Можно учесть такие свойства частиц, как спин  $J$ , изотопический спин  $I$ , электрический заряд  $Q$ , и попытаться так подобрать основные частицы схемы, чтобы результирующие свойства набора совпали с перечисленными свойствами рассматриваемой частицы.

Ферми и Янг объясняют с помощью такой схемы свойства положительного, отрицательного и нейтрального  $\pi$ -мезонов: «В соответствии с такой точкой зрения, положительный мезон может быть соединением протона и антинейтрона, а отрицательный мезон может быть соединением антипротона и нейтрона. Как модель нейтрального мезона можно взять пару или нейтрона с антинейтроном, или протона с антипротоном». Так, для положительного  $\pi$ -мезона спин  $J$  равен нулю, проекция изоспина для  $\pi^+$ -мезона как члена изотопического триплета равна 1, электрический заряд  $Q$  равен 1. Те же значения этих чисел получим, рассматривая  $\pi^+$  как совокупность  $p$  и  $n$ , так как их заряды равны 1 и 0, проекции изоспина равны  $1/2$  и  $1/2$ , что в сумме даст 1, а их обычные спины равны  $1/2$ , но ничто не мешает нам считать, что у складываемых частиц обычные спины направлены противоположно друг другу и в результате дадут нуль».

Затем силам, действующим между частицей и античастицей (для исходных частиц схемы), приписывают свойство зарядовой независимости, т. е. считают одинаковыми силы сцепления между протоном и антипротоном, протоном и антинейтроном, нейтроном и антипротоном, нейтроном и антинейтроном. При этом подчеркивают, что рассматривают совершенно новые силы, полностью отличающиеся от сил, действующих между частицей и частицей, силы значительно более мощные и значительно более короткодействующие: «Эти последние силы могут быть совершенно отличными от обычных ядерных сил, потому что они могут иметь значительно большую энергию и значительно более короткий радиус».

Значит, распространение на новые силы принципа зарядовой независимости является результатом аналогии с применением этого принципа к системе из двух обычных ядерных частиц. Схема Ферми—Янга применима и к некоторым другим мезонам. Например, можно таким же образом рассмотреть триплет  $\rho$ -мезонов ( $\rho^+$ ,  $\rho^0$ ,  $\rho^-$ ), являющийся формальным аналогом триплета  $\pi$ -мезонов. Обычный спин теперь равен единице. Эти члены  $\rho$ -триплета состоят из основных частиц схемы Ферми—Янга совершенно аналогично соответствующим членам  $\pi$ -триплета. Но теперь нужно предполагать, что частица и античастица при сложении имеют одинаково направленные обычные спины, что и даст единичное значение результирующего спина.

Схема Ферми—Янга послужила аналогом при разработке многих других составных схем для субъядерных частиц, предложенных впоследствии.

Весьма удачной оказалась схема, предложенная Саката в 1956 г. [11]. Она позволила значительно глубже разобраться в свойствах микроробъектов. Разберем логику, использованную Саката и позволившую ему подойти к новой гипотезе.

Схема Ферми—Янга применима к определенным частицам. Объяс-

нение свойств этих частиц с помощью такой схемы оказалось удачным. Но по мере открытия новых частиц с новыми свойствами обнаружилась ограниченность данной схемы. Новый набор свойств уже нельзя было сводить к различным комбинациям свойств нуклонов и антинуклонов.

Кроме того, были открыты так называемые «странные частицы». Эти частицы рождаются только парами, а время их рождения соответствует времени сильных взаимодействий, тогда как время распада соответствует времени слабых взаимодействий.

Нужно было придумать какой-то логический подход к решению возникшей новой задачи.

Этой цели и послужила аналогия. Саката ищет задачу, подобную данной, уже встречавшуюся в физике. Тогда, проведя аналогию в особенностях двух задач, можно провести аналогию и в методах их решения.

В качестве аналога Саката рассматривает положение, сложившееся в теории атомного ядра в начале тридцатых годов. К тому времени были накоплены различные экспериментальные данные о свойствах атомных ядер. Все эти свойства еще не могли объяснить с помощью каких-то общих принципов, как естественные следствия этих принципов. Знали определенные наборы атомных ядер. Этим наборам ядер соответствовали какие-то наборы различных свойств, в том числе различные значения масс и спинов. Но почему в природе реализуются именно данные наборы свойств, а не какие-то другие? Этого не следовало из имевшихся тогда теоретических положений.

Кроме того, уже в то время были подмечены некоторые закономерности во взаимной связи различных свойств. Например, было хорошо известно так называемое «правило четного—нечетного» для атомных ядер, связывающее между собой значения спина и массового числа. Это правило состояло в том, что при четном значении массового числа спин ядра является целым, при нечетном значении массового числа спин — полуцелый. «Правило четного-нечетного» также не имело объяснения.

К новым возможностям в объяснении свойств атомного ядра привело открытие нейтрона [12]. Это дало возможность Иваненко и Гейзенбергу [3, 10] выдвинуть новую гипотезу составного строения ядра. Они предположили, что все атомные ядра образованы различными наборами из двух элементарных составляющих частей — протона и нейтрона. Эту гипотезу можно было взять за основу для объяснения свойств ядра.

Так, считая, что нейтрон, как и протон, обладает спином, равным половине, можно, естественно, объяснить «правило четного-нечетного». Оно является следствием закона аддитивности для спинов составных частей ядра, а также достаточно точной аддитивности для масс частиц, входящих в ядро. Так например, четное значение массового числа соответствует четному числу частиц с полуцелыми спинами в составе ядра, а значит — целому значению суммарного спина ядра.

Различные ранее не объяснимые свойства ядер стали сводиться к свойствам новой частицы, входящей в ядро, — нейтрона. Естественное объяснение получило наличие в природе именно данного набора свойств у имеющихся атомных ядер.

Затем Саката рассматривает особенности новой стоящей перед ним задачи, те особенности, которые делают возможным проведение аналогии.

К тому времени Гелл-Манн и Нисидзима на основе анализа реак-



ций для новых частиц, обладавших странными свойствами, ввели понятие «странного» числа, или «странности» [13—16]. Особенности реакций «странных» частиц объяснялись с помощью закона сохранения для введенного «странного» числа в границах определенных взаимодействий. Различным новым частицам сопоставляли различные значения «странного» числа. Теперь уже имели дело со все более широким набором свойств частиц. Набору известных субъядерных частиц соответствовал набор значений спина, изоспина и странности. Можно было бы попытаться объяснить, почему частицам присуще каждое из этих свойств, почему присущи в сумме именно эти свойства, и почему реализуются именно данные соотношения, наборы из этих свойств.

Кроме того, для нового набора свойств было отмечено новое правило, которое являлось интересной аналогией с «правилом четного-нечетного» для атомных ядер. Это правило заключалось в следующем: если сумма обычного и изотопического спинов у рассматриваемых частиц целая, то их странность четная, если сумма обычного и изотопического спинов полуцелая, то странность нечетная.

Указанное новое «правило четного-нечетного» в свою очередь требовало объяснения. Оно так же давало намек на возможность применения аналогии.

Мысль Саката заключается в проведении аналогии между особенностями свойств ядер и свойств новых частиц. Тогда можно попытаться объяснить по аналогии и сами причины этих особенностей.

В результате Саката дает гипотезу о составной природе этих частиц. Новые объекты составляются из других, базисных объектов, а их свойства будут совокупностью свойств этих базисных объектов.

В качестве основных частиц Саката берет нуклоны  $N$  (протоны и нейтроны) и лямбда-гипероны. Это уже является аналогией со схемой Ферми—Янга, в основу которой кладутся нуклоны  $N$ . По аналогии переносят на новый случай различные особенности схемы Ферми—Янга (например, относительный масс-дефект также может быть больше единицы).

В схеме Саката частицы  $\Lambda$ ,  $\bar{\Lambda}$  являются носителями нового свойства — странности, т. е. новые свойства различных частиц будут сводиться к свойствам  $\Lambda$ . Схема вполне объясняет существование в природе именно данных наборов квантовых чисел для частиц — нового числа  $S$ , обычного спина  $J$ , изотопического спина  $I$  (можно считать, что сюда входит и электрический заряд, так как значения суммарных электрических зарядов соответствуют суммарным значениям проекций изотопического спина на третью ось). В рамках схемы Саката естественное объяснение получает и новое «правило четного-нечетного». В силу составной структуры частиц это правило будет являться следствием законов аддитивности для обычных спинов, изотопических спинов и странностей слагаемых компонент.

Приведем рассуждение Саката ([11], стр. 686):

«Мне кажется, что современное состояние теории новых частиц очень сходно с состоянием теории атомного ядра 25 лет назад. В то время мы знали прекрасное соотношение между спином и массовым числом атомных ядер. А именно спин ядра всегда является целым, если массовое число четное; напротив, спин всегда полуцелый, если массовое число нечетное. Но, к несчастью, мы не могли понять глубокий смысл этого правила четного-нечетного».

И далее: «Однако ситуация совершенно изменилась после открытия нейтрона. Иваненко и Гейзенберг немедленно предложили новую

модель атомных ядер, в которой считается, что нейтроны и протоны являются составными частями ядер. Допуская, что нейтрон имеет спин, равный половине, они объяснили правило четного-нечетного для спинов атомных ядер как результат закона аддитивности для угловых моментов составных частей. Более того, они могли свести все таинственные свойства атомных ядер к свойствам нейтрона, входящего в них.

Полагая, что подобная ситуация реализуется и на этот раз, я предлагаю гипотезу состава для новых неустойчивых частиц, для того, чтобы объяснить правило Нисидзимы — Гелл-Манна. В нашей модели считается, что в действительности новые частицы составлены из четырех типов фундаментальных частиц, т. е. нуклона, антинуклона,  $\Lambda^0$  и анти- $\Lambda^0$ . Если  $\Lambda^0$  имеет такие же внутренние свойства, какие были определены Нисидзимой и Гелл-Манном, мы сможем легко получить правило четного-нечетного для составных частиц как результат законов аддитивности для обычного спина, изотопического спина и странности.

Кроме того, Саката подчеркивает, что в новой ситуации частица  $\Lambda^0$  играет роль, совершенно аналогичную роли нейтрона для случая атомных ядер: «Нужно подчеркнуть, что удивительные свойства новых частиц оказались возможным свести к свойствам  $\Lambda^0$ , совсем как таинственные свойства атомных ядер были сведены к свойствам нейтрона».

Появляется также возможность сделать интересные теоретические предсказания. Саката полагал, что схема действует для большего числа частиц, чем их было известно к тому времени. Три базисные частицы являются носителями определенных свойств. Каким-то известным частицам с данными свойствами сопоставлены какие-то комбинации основных частиц схемы. Вполне можно составить и другие, еще не использованные комбинации базисных частиц. Естественно предположить, что и другим возможным комбинациям базисных частиц соответствуют какие-то реально существующие частицы. Новые наборы основных частиц и получившиеся наборы квантовых чисел относят к существующим, но еще не открытым частицам. Это позволяет вести направленный поиск частиц с заранее ожидаемыми свойствами.

Идея обоснования существования новых частиц на основе составных моделей является интересной аналогией с возможностями, которые открыла гипотеза протонно-нейтронного состава ядер. Представление о ядрах как о совокупности протонов и нейтронов позволяет предсказывать существование новых химических элементов и изотопов. Теперь можно перенести такой подход на случай субъядерных частиц и получить возможности предсказания экспериментальных результатов.

Нужно подчеркнуть, что сам метод представления частиц через базисные частицы в схеме Саката является аналогом метода представления частиц в схеме Ферми—Янга, а именно, в схеме Саката также берутся за основу комбинации типа частица-античастица.

Имеются аналоги и в конкретном применении схемы Саката для представления различных частиц. Так, для представления псевдоскалярных  $K$ -мезонов ( $J=0$ ) берутся следующие комбинации:

$$K^+ \rightarrow p\bar{\Lambda}; \quad K^0 \rightarrow N\bar{\Lambda}; \quad K^- \rightarrow \Lambda\bar{p}; \quad \bar{K}^0 \rightarrow \Lambda\bar{N}.$$

В случае векторных мезонов имеется группа частиц  $\vec{K}$ , свойства которых проявляют аналогию со свойствами соответствующих  $K$ -мезонов и которые отличаются только величиной спина ( $J=1$ ):

$$K^+ \leftrightarrow \vec{K}^+$$

$$K^0 \leftrightarrow \bar{K}^0$$

$$K^- \leftrightarrow \bar{K}^-$$

$$\bar{K}^0 \leftrightarrow K^0$$

В силу указанной аналогии,  $K^*$ -мезонам сопоставляются такие же комбинации основных частиц схемы, как и соответствующим  $K$ -мезонам. Мы видим, что гипотеза Саката, обоснованная с помощью аналогии, позволяет объяснить разнообразные свойства субъядерных частиц.

Схема Саката, «работающая» для мезонов, встречается с затруднениями при объяснении свойств барионов. Для мезонов эта схема удобна благодаря тому, что каждый мезон составляется из одинакового числа барионов и антибарионов. При этом такая характеристика барионов, как барионный заряд, будет входить один раз с положительным знаком (для частицы) и один раз с отрицательным знаком (для античастицы). Результирующий барионный заряд будет равен нулю — именно это и требуется для мезонов.

Все остальные квантовые числа частиц и античастиц также удается подобрать таким образом, чтобы в совокупности они дали нужные величины, соответствующие величинам квантовых чисел образуемой частицы. Однако для барионов такой подход непригоден, так как у них барионный заряд отличен от нуля и равен  $B=1$  для частиц и  $B=-1$  для античастиц.

Можно было бы попробовать другие комбинации, например из трех основных частиц. Но это дало бы неправильные значения квантовых чисел барионов. Так, барионный заряд стал бы равным  $B=3$  вместо  $B=1$ .

Чтобы избавиться от этих затруднений, можно развить новую схему, являющуюся аналогом схемы Саката и свободную от недостатков предыдущей схемы. Это было сделано Гелл-Манном [17] и Цвейгом [18] в 1964 г. Новая схема получила название схемы «кварков».

Вводятся три новые гипотетические частицы, которые являются почти полными аналогами частиц схемы Саката — протона  $P$ , нейтрона  $N$  и  $\Lambda$ -гиперона.

Эти новые частицы, которые были названы «кварками», в настоящее время обозначаются соответственно как  $p$ -кварк,  $n$ -кварк и  $\lambda$ -кварк. Такие наименования особо подчеркивают указанную аналогию с  $P$ ,  $N$ ,  $\Lambda$ -барионами.

Барионы  $P$  и  $N$  объединяли в изотопический дублет, выделяя  $\Lambda$  в изотопический синглет. Теперь точно так же объединяют в изотопический дублет  $p$ -кварк и  $n$ -кварк, оставляя  $\lambda$ -кварк изотопическим синглетом. Берут те же значения обычного спина  $J=1/2$ .

Новыми здесь будут дробные значения электрического заряда  $Q$ , гиперзаряда  $Y=B+S$  и барионного заряда  $B$ . Однако, сохраняя аналогию с частицами схемы Саката, налагают условие о том, чтобы относительная разница в этих зарядах между  $p$ -кварком,  $n$ -кварком и  $\lambda$ -кварком была в точности такая же, как и в случае  $P$ ,  $N$ ,  $\Lambda$ -барионов.

Представление мезонов в схеме кварков полностью аналогично представлению их по схеме Саката. Производится лишь замена символов частиц схемы Саката символами соответствующих кварков.

Особенностью применения схемы кварков к барионам является переход от комбинаций типа частица-античастица к комбинациям из трех кварков для барионов и комбинациям из трех антикварков для антибарионов.

Тогда необходимо, в частности, выбрать барионный заряд кварков  $B = 1/3$ . Электрический заряд и гиперзаряд выбираются равными соответственно

$$Q_p = 2/3; \quad Q_n = -1/3; \quad Q_\lambda = -1/3;$$

$$Y_p = 1/3, \quad Y_n = 1/3; \quad Y_\lambda = -2/3.$$

С помощью этих значений квантовых чисел для кварков можно подбирать комбинации кварков, которые дадут нужные значения  $Q$  и  $Y$ , равные значениям этих чисел для соответствующих барионов.

В качестве примера можно дать представление по схеме кварков для протона, нейтрона и  $\Lambda$ -гиперона:

$$P \rightarrow (ppn); \quad Q = 1, \quad Y = 1, \quad B = 1;$$

$$N \rightarrow (pnn); \quad Q = 0; \quad Y = 1, \quad B = 1;$$

$$\Lambda \rightarrow (pn\lambda); \quad Q = 0, \quad Y = 0, \quad B = 1.$$

Массовые формулы для частиц в схеме кварков являются аналогичными с представлением масс ядер через массы входящих в них нуклонов. Сам вклад в массу со стороны различных кварков рассматривается в полном соответствии с особенностями масс частиц схемы Сакаата, а именно считаю  $p$  и  $n$ -кварки одинаково «тяжелыми», а  $\lambda$ -кварк берет более «тяжелым», вызывающим «расщепление» симметричности массовых формул.

Имеется целый ряд интересных аналогий в особенностях использования схемы кварков для объяснения различных свойств частиц, а также в разработке разнообразных видоизменений схемы кварков (например, схема «барионеттов»). Исследование этих аналогий выходит, однако, за рамки данной работы.

Рассмотренные примеры убеждают нас в том, что метод аналогий весьма эффективно используется при разработке теории субъядерных частиц, и что применение аналогий носит не случайный характер. Этот вывод согласуется с общим выводом о том, что применение аналогий является одной из исторических закономерностей, позволяющих понять логический ход развития науки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Спасский Б. И. История физики, чч. 1 и 2. Изд-во МГУ, 1963.
2. Сарангов Ц. С. Роль моделей и аналогий в развитии физической науки. Дис. МГУ, 1965.
3. Heisenberg W. Z. S. Phys., 77, 1, 1932.
4. Wigner E. Phys. Rev, 51, 106, 1937..
5. Овчинников Н. Ф. Принципы сохранения и проблема структуры материи. В сб.: «Философские проблемы физики элементарных частиц». М., «Наука», 1963.
6. Wigner E., Feenberg E., Rep. Progr. Phys., 8, 274, 1941..
7. Боголюбов Н. Н. Лекции по теории симметрии элементарных частиц, чч. I и 2. Изд-во МГУ, 1966.
8. Coleman S., Glashow S. L. Phys. Rev. Lett., 6, 423, 1961.
9. Fermi E., Yang G. N., Phys. Rev., 76, 1739, 1948.
10. Jvanenko D. D. Nature, 129, 798, 1932.
11. Sakata S. Progr. Theor. Phys., 16, 686, 1956.
12. Chadwick T. Nature, 129, 312, 1932.
13. Gell-Mann N. Phys. Rev. 92, 833, 1953.
14. Nakano T., Nishijima K., Prag. Theor. Phys., 10, 581.
15. Nishijima K. Progr. Theor. Phys., 12, 107, 1954, 1953.
16. Nishijima K., Progr. Theor. Phys., 13, 285, 1955.
17. Gell'Mann M. Phys. Lett. 8, 214, 1964.
18. Zrvlig G. Preprint CERN, 1964.

*Г. Г. КОРДУН*

## РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ НА УКРАИНЕ

Великая Октябрьская революция открыла неограниченные возможности для развития физики, которая за столь незначительный исторический промежуток времени достигла высокого уровня и заняла одно из ведущих мест в мировой науке.

В дореволюционной России физика не имела благоприятной почвы для своего развития, а научные исследования отдельных ученых не находили поддержки со стороны царского правительства. И только благодаря самоотверженному труду выдающиеся физики внесли много ценного в развитие науки того времени.

На Украине первые исследования по физике всецело связаны с развитием университетов и относятся к середине второй половины XIX столетия. Именно в этот период начали свою деятельность в университетах Украины такие выдающиеся физики, как воспитанники Московского университета Н. А. Умов (1846—1915) и Н. Н. Шиллер (1848—1910), воспитанники Петербургского университета М. П. Авенариус (1835—1895), Ф. Н. Шведов (1840—1905) и П. Д. Хрущев (1849—1909); Казанского университета Н. Н. Бекетов (1827—1911) и А. П. Грузинцев (1851—1919); Харьковского университета Н. Д. Пильчиков (1857—1908).

Киевская физическая школа, созданная и руководимая М. П. Авенариусом, в состав которой входили А. И. Надеждин, В. И. Зайончевский, А. Е. Страус, К. Н. Жук и др., не только одна из первых с помощью термодинамического метода теоретически разработала учение о критическом состоянии вещества, но и впервые с экспериментальной стороны наиболее обстоятельно и широко исследовала эту проблему. В области обоснования термодинамики, в частности второго начала, больших успехов достиг профессор Киевского университета Н. Н. Шиллер. Значительными были также его исследования по электромагнитной теории света.

Основополагающая роль в развитии современной физической химии принадлежит Н. Н. Бекетову, работавшему тридцать два года в Харьковском университете (1855—1887) и создавшему там физико-химическую школу (А. П. Эльтеков, И. П. Осипов, В. Ф. Тимофеев, Ф. Н. Флавицкий, Д. П. Турбаба и др.), исследования которой оставили глубокий след в отечественной науке и обогатили своими идеями и открытиями мировую науку. Харьковские физики П. Д. Хрущев и А. П. Грузинцев в своих работах решили некоторые проблемы химической термодинамики, создали термодинамическую теорию физико-химических процессов, в частности теорию химических реакций для твердых тел и газов.

На протяжении двадцати двух лет (1871—1893) в Одесском университете работал выдающийся физик Н. А. Умов, впервые в истории мировой науки фундаментально

исследовавший одну из важнейших проблем физики — о движении энергии в среде и решивший многие вопросы в области термодинамики и др. Профессор Одесского университета Ф. Н. Шведов явился основоположником современной физико-химической реологии дисперсных систем. Им были выполнены интересные исследования в области космической физики, в области дифракции и отражения электромагнитных волн и т. д.

Первые исследования в области радиоактивности на Украине были начаты в этом же университете Н. Д. Пильчикским. В 1909 г. по инициативе и под руководством Е. С. Бурксеры (1887—1965) в Одессе была создана первая в России радиологическая лаборатория, предметом изучения которой явилась радиоактивность вод и минералов на территории разных районов России.

В предреволюционные годы начали свою научную работу в области физики в Киеве — И. И. Косоногов (1866—1922) и Г. Г. Де-Метц (1861—1947); в Одессе — Л. И. Мандельштам (1879—1944); в Харькове — Д. А. Рожанский (1882—1936) и Т. П. Кравец (1876—1955).

Ассоциация физиков Советской России, созданная в 1918 г., поставила своей основной задачей содействовать повсеместному развертыванию физических исследований. В этом плане является примечательным тот факт, что уже 2-й съезд Русской ассоциации физиков состоялся в Киеве в 1921 г. и имел большое значение для развития физики на Украине. В этом же году решением Советского правительства на Украине создаются первые научно-исследовательские коллективы: киевская научно-исследовательская кафедра при Народном комиссариате просвещения УССР с экспериментальной базой при Киевском политехническом институте и аналогичная кафедра при Харьковском университете. В 1922 г. была организована кафедра математической физики АН УССР во главе с академиком Н. М. Крыловым, явившимся, вместе со своим талантливейшим учеником Н. Н. Боголюбовым, создателем новой отрасли знания — нелинейной механики с ее многочисленными применениями. Первыми научно-исследовательскими институтами в области физики в УССР явились физические институты Таврического и Одесского университетов, открытые по решению Советского правительства соответственно в 1924 и 1926 гг.

Следует подчеркнуть тот факт, что как и зарождение, так и особенно развитие физики на Украине шло в тесной взаимосвязи с развитием работ ведущих научно-исследовательских коллективов Москвы и Ленинграда, и поэтому мы говорим о работах физиков Украины, как о неотъемлемой части работ физиков нашей страны, призванной решать большие задачи, поставленные перед физикой нашим народом, партией, Советским государством.

Наряду с работами акад. Н. М. Крылова в области математической физики были проведены и исследования сотрудника Киевской кафедры физики впоследствии академика В. П. Линника. В это время акад. Д. А. Граве была опубликована интересная работа о электромагнитных явлениях в солнечной системе. Проф. Л. Кордыш теоретически рассмотрел свойства спектров рентгеновских лучей и вместе с проф. П. Лапинским (Киев) и проф. А. Малиновским (Днепропетровск) дальше развил учение об электропроводности металлов, опубликовав по этой проблеме несколько работ. Интересные исследования в области атомной физики были выполнены в это время проф. киевской кафедры физики Л. Штрумом, а сотрудник этой кафедры В. Лашкарев посвятил несколько статей вопросам теории относительности.

На 1-м Всеукраинском совещании физиков в Харькове в 1925 г. значительное место было уделено экспериментальным работам. В частности, В. П. Линником были выполнены важные исследования в области:

техники оптических приборов и совместно с В. Е. Лашкаревым изучены вопросы возможности фокусирования рентгеновских лучей; А. Малиновский провел исследования по изучению внутреннего механизма взрывной волны, а Е. С. Бурксер и Г. Г. Де-Метц — по изучению свойств радиоактивных веществ, радиоактивных вод и минералов во многих районах нашей страны.

Значительную часть работы по написанию монографии «Строение материи» выполнил в Физическом институте Таврического университета Я. И. Френкель. Здесь были проведены некоторые исследования И. Е. Таммом, А. Ф. Иоффе, С. И. Усатым, Л. О. Кордышем и др. Первые научные работы по физике моря написал здесь и выпускник этого университета И. В. Курчатov.

В Физическом институте Одесского университета проф. Е. А. Кирилловым и его учениками проводилось изучение электропроводности бромистого серебра в фотографической пленке. В дальнейшем этими исследованиями была установлена органическая связь между фотоэлектрическими и фотохимическими явлениями, показана аналогичность механизма их протекания, а также найдены и объяснены закономерности образования скрытого фотографического изображения.

Интересные работы по изучению зависимости интенсивности рентгеновских лучей от напряжения питания в рентгеновских трубках провели в эти годы сотрудники Киевского рентгеновского института П. В. Шаравский и Д. Н. Наследов.

Ряд теоретических и расчетных работ по химической термодинамике, и особенно в теории строения атомного ядра, выполнил на рубеже тридцатых годов в Харькове Е. Н. Гапон.

Годы первой пятилетки явились началом всестороннего планового развития физики на Украине. Именно в этот период было создано и открыто три больших научно-исследовательских института: физико-технические институты в Харькове (УФТИ) и Днепропетровске (ДФТИ) и Институт физики АН УССР в Киеве (ИФАН), — многосторонняя научная деятельность которых всемерно содействовала развитию физики в нашей стране. Это особенно относится к таким проблемам, как строение атома и ядра, изучение свойств плазмы и элементарных частиц, исследование свойств твердого тела и полупроводников, развитие радиофизики и электроники, физики жидкого состояния и теплофизики и т. д.

Первые на Украине глубокие исследования в области атомной и ядерной физики начались в УФТИ, созданном по решению правительства в 1928 г. и открытом 7 ноября 1930 г. Решающую роль в подготовке кадров для этого института, как и для других физических институтов УССР, оказали научно-исследовательские коллективы Москвы и особенно Ленинграда. Ленинградский физико-технический институт АН СССР (ЛФТИ) направил для работы в УФТИ целую группу молодых физиков: К. Д. Синельникова, А. К. Вальтера, А. И. Лейпунского и др.,



Н. М. Крылов

которые начали проводить свои исследования в теснейшем контакте с ЛФТИ, с лабораторией, руководимой И. В. Курчатовым. Вот что по этому поводу писал И. В. Курчатов в статье «Развитие атомной физики на Украине»<sup>1</sup>: «В Харькове с К. Д. Синельниковым мы работали над созданием новых высоковольтных установок, ускоряющих заряженные частицы для исследования атомного ядра. С А. К. Вальтером мы разрабатывали импульсные и электростатические ускорители для исследования атомных ядер. На основе этих исследований в последние годы советской промышленностью были выпущены электростатические ускорители, которыми оснащены многие ядерные лаборатории СССР. С А. И. Лейпунским были проведены исследования атомных ядер при помощи нейтронов незадолго до открытых англичанином Чэдвиком».

Работы по созданию ускорителей заряженных частиц всемерно содействовали развитию исследований атомного ядра. Уже в 1932 г., с помощью построенного в институте ускорителя протонов на 250 кВ, К. Д. Синельников, А. К. Вальтер, А. И. Лейпунский и Г. Д. Латышев осуществили почти одновременно с англичанами Д. Кокрофтом и Э. Уолтоном первую искусственную ядерную реакцию по превращению ядер лития в ядра гелия и открыли легкий стабильный изотоп гелия —  ${}^6_2\text{He}$ .

В 1937 г. в УФТИ был построен первый в Советском Союзе высоковольтный электростатический генератор, работавший при атмосферном давлении, с помощью которого проводились исследования взаимодействия быстрых электронов с веществом.

В 1936 г. А. И. Лейпунский выполнил свой знаменитый опыт по получению эффектов, связанных с существованием нейтрино. Серией экспериментов он подтвердил мысль, что при  $\beta$ -распаде импульсы электрона и ядра не равны. Эти выводы А. И. Лейпунского имели принципиальное значение и были подтверждены целым рядом экспериментальных и теоретических работ, в частности исследованиями советских физиков — академиков А. И. Алиханова и А. И. Алиханьяна, — предложивших в том же году для обнаружения нейтрино использовать так называемый К-захват.

В предвоенные годы харьковские физики выполнили целую серию работ по изучению взаимодействия медленных и быстрых нейтронов с атомными ядрами. К этому следует добавить, что уже в 1934 г. в Институте физической химии (Днепропетровск) чл.-корр. АН СССР А. И. Бродский впервые в СССР путем электролиза воды получил изотоп водорода дейтерий и тяжелую воду.

По окончании войны в Харьковском ФТИ и в ИФАН'е (где был организован в это время отдел физики атомного ядра во главе с А. И. Лейпунским) возобновились и успешно развиваются исследования по дальнейшей разработке и созданию новых типов ускорителей элементарных частиц.

Построенный в Харькове в начале 60-х годов один из крупнейших в мире линейный электронный ускоритель на 2 ГэВ дал возможность проводить обстоятельные исследования строения ядра и нуклонов с помощью изучения рассеивания быстрых электронов на нуклонах.

В 1957 г. в ИФАН был завершен монтаж разработанного и изготовленного в Ленинграде циклотрона, способного давать выведенный пучок ускоренных протонов, дейтронов и  $\alpha$ -частиц с энергиями соответственно 6,8; 13,6 и 27,2 МэВ. На циклотроне ведутся большие исследования упругого и неупругого рассеяния протонов, дейтронов и  $\alpha$ -частиц, а

<sup>1</sup> «Правда», 7 февраля 1960 г.





Н. Н. Боголюбов



А. И. Бродский



А. И. Лейпунский

также реакции срыва, подхвата и других прямых реакций, позволившие накопить обширный экспериментальный материал, необходимый для выяснения механизма ядерных реакций и других вопросов физики ядра.

Проводимые в ИФАН систематические исследования в области нейтронной физики средних энергий, фундамент которых был заложен в нашей стране в 30-х годах И. В. Курчатовым<sup>2</sup> и А. И. Лейпунским, выдвинули институт на одно из ведущих мест в СССР. Результаты этих исследований освещены в монографиях<sup>3</sup> руководителя этого направления работ в ИФАН акад. АН УССР М. В. Пасечника.

В феврале 1960 г. в ИФАН был пущен ядерный реактор типа ВВ Р-М с достигнутой фактически мощностью 15 Мвт. На нем выполняется большая программа экспериментальных работ по ядерной физике, радиационной физике, выполняются опытно-промышленные эксперименты в области реакторостроения. С этой целью реактор обеспечен 10 горизонтальными каналами для проведения физических экспериментов и вертикальными каналами в бериллиевом отражателе для облучения разных объектов, а также несколькими каналами (в зависимости от эксперимента) в активной зоне между тепловыделяющими элементами для исследования поведения конструкционных материалов при облучении большими интегральными потоками нейтронов. На ядерном реакторе также изучаются разнообразные применения радиоактивных изотопов в промышленности, сельском хозяйстве, биологии, медицине.

Параллельно с экспериментальными исследованиями на Украине в области атомной и ядерной физики (начиная с тридцатых годов) большое развитие получила и теоретическая ядерная физика, основными научными центрами которой являются Харьков и Киев. У истоков развития этой науки стояли проф. Д. Д. Иваненко, академики Л. Д. Ландау и Н. Н. Боголюбов и др.

В Харькове в 1929 и в 1934 гг. были проведены две большие всесоюзные конференции по теоретической физике с участием таких выдающихся ученых, как Л. Д. Ландау, И. Е. Тамм, М. А. Леонтович, Д. Д. Иваненко, Гейзенберг, Йордан, Вайскопф и др. Именно в дискуссии с Вайскопфом, проведенной в марте—апреле 1932 г. в г. Харькове, Д. Д. Иваненко пришел к окончательному выводу о справедливости своей модели ядра и опубликовал эти выводы в журнале «Nature», 1932 г.

Харьковская школа теоретиков, созданная Л. Д. Ландау, который работал там с 1932 по 1937 г., в состав которой входят чл.-корр. АН СССР И. М. Лифшиц, акад. АН УССР А. И. Ахиезер, чл.-корр. АН УССР Я. П. Файнберг и А. Г. Ситенко, проф. Р. Б. Половин и др., решила многие вопросы в современной теоретической физике: в квантовой электродинамике, физике твердого тела, теории ядра, физике плазмы.

На базе Киевской школы теоретической физики, основанной и ныне руководимой акад. Н. Н. Боголюбовым, вырос Институт теоретической физики АН УССР. Исследования сотрудников этого института академиком АН УССР А. С. Давыдова и О. С. Парасюка, чл.-корр. АН УССР В. А. Шелеста и др. в области статистической физики, квантовой электродинамики, в развитии современных представлений о строении ядра и механизме ядерных реакций имеют большое влияние на развитие физики как в нашей стране, так и за рубежом.

<sup>2</sup> И. В. Курчатов. Расщепление атомного ядра. Л.—М., ОНТИ, 1935.

<sup>3</sup> М. В. Пасечник. Вопросы нейтронной физики средних энергий. Киев, Изд-во АН УССР, 1962; Нейтронная физика. Киев, «Наукова думка», 1969.

Начиная с середины 50-х годов в СССР широко развернулись исследования по одной из важнейших проблем современной науки — проблеме управления термоядерными реакциями. Эти работы были начаты в ФТИ (Харьков) коллективом сотрудников В. Т. Толок, Б. Г. Сафронов, Н. И. Назаров, В. Г. Зыков и другие под руководством акад. АН УССР К. Д. Синельникова. За истекшее время выполнены важные теоретические и экспериментальные исследования свойств плазмы, разработаны новые методы получения глубокого вакуума, эксперименталь-



А. С. Давыдов



О. С. Парасюк

но исследованы методы высокочастотного нагрева плазмы и удержания плазмы в замкнутых магнитных ловушках с комбинированными магнитными полями, интенсивно ведется поиск новых методов удержания и нагрева плазмы и разработка на их основе новых установок.

В частности, широко проводились исследования ионизации газа и нагрева электронов плазмы импульсным пучком и исследования ВЧ-нагрева электронов и ионов плазмы, вращающейся в скрещенных электрическом и магнитном полях. Эксперименты, проведенные с помощью специально созданных на этом принципе установок, подтвердили возможность генерирования ионных циклотронных волн при использовании радиальной компоненты высокочастотного электрического поля и их применение для нагрева плотной плазмы в металлической камере в магнитном поле до 10 кэ. Было показано, что при генерировании магнитозвуковых волн в области СВЧ можно обеспечить условия эффективного поглощения энергии волн плазмой в области гибридного резонанса, если создавать область своеобразного магнитного берега на пути распространения волн. Результаты исследования ВЧ могут быть использованы для нагрева ионов плотной плазмы, находящейся в металлической камере, а результаты исследований СВЧ — для одновременного нагрева электронов и ионов. Исследовались и отрабатывались вопросы нагрева, инъекции плазмы, взаимодействия плазменных сгустков с магнитными ионами, вопросы длительного удержания горячей плазмы в магнитных ловушках, с замкнутым магнитным полем сложной конфигурации, получение плотной плазмы ( $2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$ ) с высокой

температурой ионов  $2 Kэв$ , находились и изучались условия полного торможения сталкивающихся быстрых плазменных сгустков в поперечных магнитных полях.

Использование новых методов исследования плазмы — зондирование пучками быстрых нейтральных и заряженных частиц — дало возможность изучить структуру плазменного сгустка и выяснить оптимальные условия получения горячих сгустков. С помощью запущенной криогенной магнитной ловушки (исследования чл.-корр. АН УССР Е. С. Бо-



А. И. Ахиезер



А. А. Галкин

ровка и его сотрудников) были получены новые результаты по применению низких температур в приборах с плазмой и развиты новые методы получения низких температур и низкотемпературные методы получения высокого вакуума с помощью компактных водородных и гелиевых ожижителей большой производительности.

В ИФАН УССР чл.-корр. АН УССР А. Г. Ситенко, В. Н. Радзиевский, М. Д. Габович и др. исследовали флуктуации в неравновесной плазме, находящейся во внешнем магнитном поле, определили спектральные распределения для флуктуаций токов и полей, нашли коэффициенты рассеяния и трансформации волн в неравновесной плазме, определили спектры излучаемых волн и полные потери энергии при движении заряда в магнитной плазме, получили зависимость пороговой энергии ионов от электронной температуры плазмы, зависимость частоты возбужденных колебаний от скорости пучка и др.

В этих достижениях украинских ученых в области физики плазмы и управления термоядерными реакциями большая роль принадлежит и теоретической физике. По праву можно считать пионерской работой в этом направлении исследование Л. Д. Ландау «Кинетическое уравнение в случае кулоновского взаимодействия» (Sov. Phys. 1936, № 10, стр. 266) об огромной роли столкновений на больших расстояниях с малым изменением скорости. В этой работе Ландау вывел кинетическое уравнение, сыгравшее решающую роль для построения теории релаксационных процессов в плазме. Большое значение для решения этой про-

блемы имел предложенный в 1946 г. Н. Н. Боголюбовым метод<sup>4</sup> построения кинетического уравнения, применяющийся сейчас в ряде теорий по физике плазмы.

В ФТИ АН УССР теоретические исследования по физике плазмы были в основном посвящены проблеме коллективных колебаний в плазме, теории турбулентной плазмы и исследованию резонансного поглощения и получения электромагнитных волн в неоднородной плазме.

Разработанная нелинейная теория возбуждения колебаний при инжекции пучка заряженных частиц в плазму показала при этом более высокую (на несколько порядков) напряженность возбуждаемого поля и температуру плазмы, чем в ранее исследованных случаях. Теория взаимодействия модулированных и релятивистских пучков с плазмой, использующая большую эффективность рассматриваемого взаимодействия для нагрева плазмы, была положена в основу метода турбулентного нагрева и новых методов генерирования мощных колебаний.

В 1964 г. вышла в свет монография А. И. Ахизера, А. Г. Ситенко, Я. Б. Файнберга и др. «Коллективные колебания в плазме», явившаяся обобщением работ украинских физиков по исследованию высокочастотных свойств плазмы.

Важнейшей областью исследования украинских физиков является физика твердого тела. Интенсивное развитие физики твердого тела началось на Украине в конце двадцатых годов и связано с развитием техники и с созданием квантовой физики твердого тела. Именно индустриализация всей страны поставила на повестку дня создание физики металлов и сплавов, физики прочности и пластичности и т. д. С другой стороны, оформившаяся в этот период квантовая механика способствовала появлению ряда фундаментальных исследований по физике твердого тела.

Основными научными центрами развития физики в этой области на Украине были ФТИ Харьков и Днепропетровск и ИФАН УССР в Киеве. После Великой Отечественной войны работы по физике твердого тела получили интенсивное развитие также в специально созданных институтах АН УССР — металлофизики, полупроводников, Физико-техническом институте низких температур и во многих ведущих высших учебных заведениях республики.

Столь широкий размах исследований позволил украинским ученым занять одно из ведущих мест по многим направлениям: построение теории фазовых переходов второго рода, теории антиферромагнетизма, теории поляронов, теоретическое и экспериментальное исследование электронных свойств кристаллов, создание приближенных методов второго квантования, теоретические и экспериментальные исследования оптических спектров металлических и неметаллических кристаллов, исследование экситонов в кристаллах, исследование по мартенситным превращениям в сталях и сплавах, исследование по физике прочности и пластичности и др.

В выполнении этой большой программы следует отметить прежде всего достижения Харьковской школы физиков-теоретиков, организованной и длительное время возглавлявшейся Ландау. Еще раньше В. С. Горский в 1928 г. выполнил важное исследование по теории сплавов; он построил статистическую теорию упорядочения и дал физическое объяснение природы этого явления. Это явилось основой для целого направления в теории растворов.

---

<sup>4</sup> Н. Н. Боголюбов. Проблемы динамической теории в статистической физике. М.—Л., Гостехиздат, 1946.

В 1936 г. Ландау создал теорию фазовых переходов второго рода, что дало возможность выявить глубокую связь между симметрией твердого тела и фазовыми переходами второго рода. Эта теория позволила объяснить и предсказать широкий круг явлений, происходящих при упорядочении сплавов, при магнитных и сегнетоэлектрических фазовых переходах. Существенный вклад харьковские теоретики внесли в развитие теории магнетизма. Ландау впервые ввел понятие об антиферромагнитном упорядочении, как об особой фазе, переходящей при высоких температурах в парамагнитную фазу, а в 1935 г. сформулировал вместе со своими сотрудниками первую теорию доменной структуры в ферромагнетиках, в которой заложены были основы теории ферромагнитного резонанса. Значительными были также исследования Ландау и его коллектива по теории сверхпроводимости, в которых была проанализирована природа промежуточного состояния сверхпроводников.

Важнейшие исследования по теории неидеальных кристаллов были выполнены чл.-корр. АН СССР и И. М. Лифшицем, распространившим теорию колебаний кристаллических решеток на случай кристаллов, имеющих дефекты. Для решения этой задачи он разработал специальную теорию возмущения и показал, что дефекты качественным образом изменяют спектр колебаний кристаллов, в частности приводят к появлению локальных колебаний. В дальнейшем работами Лифшица и его сотрудников были определены частоты и амплитуды колебаний кристаллов с дефектами, построена термодинамика колебаний растворов, исследован спектр упорядоченных систем. Это нашло приложение в оптике кристаллов, теории неупругого рассеяния нейтронов и т. д. Работы по динамике колебаний неидеальных кристаллов были завершены Лифшицем тонкими исследованиями общей структуры энергетического спектра и квантовых состояний неупорядоченных систем.

Особенно важным явились исследования Лифшица и сотрудников по электронной теории металлов, для чего разрабатывались различные методы исследования энергетического спектра квазичастиц — носителей заряда в металлах. Для этого были проведены всесторонние исследования поведения частиц в магнитном поле, изучена специфика своеобразной динамики таких квазичастиц при очень низких температурах, развит метод исследования формы поверхности Ферми при помощи изучения квантовых осцилляций магнитной восприимчивости и электросопротивления металлов в магнитном поле. Большим достижением электронной теории металлов явилось предсказанное сотрудниками Лифшица — М. Я. Азбелем и Э. А. Канером — явление циклотронного резонанса в металлах<sup>5</sup>, впервые экспериментально обнаруженное в Харькове акад. АН УССР А. А. Галкиным.

Развитие работ в этом направлении позволило сделать циклотронный резонанс одним из ценных методов изучения поверхностей Ферми металлов. В частности, этим методом была подробно изучена анизотропия эффективных масс в Al и Zn, а также распространение ультразвука в металлах в магнитном поле и впервые был открыт эффект анизотропии коэффициента поглощения.

Был также открыт новый тип резонансного поглощения ультразвука металлами и эффект гигантских осцилляций. За исследования электронного энергетического спектра металлов чл.-корр. АН СССР Лифшицу в 1967 г. была присуждена Ленинская премия.

---

<sup>5</sup> Развитие физики в СССР, кн. I. М., «Наука», 1967, стр. 263.

Глубокие теоретические исследования по квантовой теории газов элементарных возбуждений — фононов и магнонов в кристаллах были выполнены в ФТИ АН УССР акад. АН УССР А. И. Ахиезером. Полученное им в этих работах кинетическое уравнение для квазичастиц дало возможность рассмотреть не только равновесные тепловые и магнитные характеристики, но и различные кинетические характеристики, такие, как поглощение звука, магнитная релаксация и тому подобное. Эти исследования имели большое значение для квантовой теории магнетизма. Ахиезер вместе с акад. И. Я. Померанчуком является создателем последовательной теории неупругого рассеяния нейтронов на колебаниях атомов кристалла.

Параллельно с работами харьковской школы теоретиков в области физики твердого тела выдающиеся работы были выполнены в Киеве акад. Н. Н. Боголюбовым, разработавшим эффективный метод приближенного вторичного квантования, который позволил построить последовательную теорию многоэлектронной полярной модели металлов Шубина—Вонсовского и оказался очень удобным для рассмотрения ряда задач квантовой теории магнетизма. Большое значение имела построенная Боголюбовым теория конденсации неидеального бозе-газа, которая составила первый существенный шаг для построения микроскопической теории сверхтекучести  $He=II$ . В этих исследованиях было предложено знаменитое  $U=V$  — преобразование Боголюбова, позволившее ему впоследствии построить последовательную микроскопическую теорию сверхпроводимости. В 1958 г. за разработку нового метода в квантовой теории поля и статистической физике, приведшего к обоснованию теории сверхтекучести и теории сверхпроводимости, акад. Боголюбову была присуждена Ленинская премия.

Значительные результаты были получены в области теории электронных свойств неметаллических кристаллов акад. АН УССР С. И. Пекарем, построившим теорию поляронов. Эта теория привела к новому взгляду на электронную проводимость неметаллических кристаллов и потребовала пересмотра теорий подвижности носителей заряда, различных кинетических эффектов, термодинамики электронного газа и других электронных свойств.

Проведенный Пекарем и его сотрудниками большой комплекс исследований по теории поляронов с сильной, промежуточной и слабой связью позволил рассмотреть с новой точки зрения электронные свойства неметаллических кристаллов и привел к появлению большого количества работ, в частности к важному исследованию Боголюбова по квантовой теории поляронов. Созданная Пекарем теория спектров примесного и собственного поглощения в неметаллических кристаллах, основанная на его теории примесных центров и экситонов с сильной связью, оказалась весьма общей и сумела объяснить имеющиеся экспериментальные данные.

Важные результаты были получены чл.-корр. АН УССР К. Б. Толтыго в области теории колебаний ионных и атомных кристаллов. Им впервые был рассмотрен эффект «перепутывания» оптических фононов и световых волн в ионных кристаллах и был рассчитан спектр этих волн с учетом запаздывающего дальнего взаимодействия.

Одновременно были проведены тщательные микроскопические расчеты колебаний различных кристаллов и их механических, тепловых и других свойств.

Наряду с названными теоретическими работами на Украине были выполнены и фундаментальные экспериментальные исследования в области физики твердого тела.

В первую очередь следует указать на работы по изучению прочности кристаллов, выполненные в Харьковском ФТИ основателем этого института акад. И. В. Обреимовым и его школой. Проведенные ими рентгенографические и оптические изучения деформированных кристаллов каменной соли привели к открытию упругого двойникования (Р. И. Гарбер) — особой пластической деформации, исчезающей после снятия нагрузки.

И. В. Обреимов и акад. АН УССР А. Ф. Прихотько явились основоположниками метода спектроскопии молекулярных кристаллов при



С. И. Пекар



А. Ф. Прихотько

низких температурах, а систематические исследования по теории оптических свойств молекулярных кристаллов ведутся в ИФ АН УССР акад. АН УССР А. С. Давыдовым и его учениками.

Осуществленный А. Ф. Прихотько и ее сотрудниками в ФТИ, а затем в ИФАН большой комплекс работ по неметаллическим кристаллам (твердый кислород, нафталин, антрацен, нафтацен) дал возможность не только впервые получить спектр поглощения твердого кислорода, но и показать, что у многих молекулярных кристаллов со сравнительно слабыми силами связи понижение температуры приводит к появлению тонкой структуры в спектрах поглощения и испускания, и тем самым доказать реальную возможность изучения спектров кристаллов. После этих работ исследования спектров неметаллических кристаллов при низкой температуре получили широкое распространение в мировой науке.

В 1966 г. за фундаментальные теоретические и экспериментальные исследования экситонов в кристаллах, выполненные в Институте физики АН УССР, академиком АН УССР А. С. Давыдову и А. Ф. Прихотько, профессорам В. Л. Броуде, А. Ф. Лубченко, М. С. Бродину и Э. И. Рашбе была присуждена Ленинская премия.

Важнейшие экспериментальные исследования атомных характеристик кристаллов, приведшие к созданию новой отрасли науки — металлофизики, фундаментальные работы в области физики мартенситных превращений, сыгравшие большую роль для дальнейшего развития тео-



рии закалки стали и значительно расширившие представления о механизме фазовых превращений в твердых телах, далеко опередившие зарубежные исследования по этому вопросу, были выполнены в Днепропетровском ФТИ лауреатом Государственной премии акад. Г. В. Курдюмовым и его школой (В. Н. Свечников, В. И. Данилов, В. Н. Гриднев и др.).

Курдюмов и его ученики одни из первых применили рентгеновские методы в металловедении и провели фундаментальные исследования



В. И. Данилов



А. А. Слуцкий

процессов закалки и отпуска стали. Это означало качественно новый этап в металловедении и позволило непосредственно изучать кристаллоструктурные изменения, происходящие при термической обработке.

В этом же институте, а также в Днепропетровском металлургическом институте, под руководством акад. АН УССР В. Н. Свечникова было проведено систематическое изучение систем сплавов железа, исследовано влияние различных элементов на полиморфизм железа, а также изучение фазовых превращений при электронагреве стали.

Широкому исследованию жидких металлов посвятил свои работы в Днепропетровском ФТИ лауреат Государственной премии акад. АН УССР В. И. Данилов и его ученики. Для исследования структуры жидкостей ими впервые был применен рентгенографический метод и проведен ряд важнейших экспериментов, позволивших непосредственно определить ближний порядок в жидкостях и тем самым экспериментально подтвердить теоретические выводы Я. И. Френкеля о близости жидкого и твердого состояний. В Институте металлофизики АН УССР В. И. Данилов выполнил основополагающие работы по изучению механизма кристаллизации жидкостей, имеющие большое научное и практическое значение. В этих работах была выяснена физическая сущность зарождения центров кристаллизации и влияния различных факторов на этот процесс.

В Харьковском ФТИ и ФТИНТ (Физико-технический институт низких температур) лауреат Государственной премии Б. Г. Лазарев и его школа (А. А. Галкин, Б. И. Веркин, Е. С. Боровик, Б. Н. Есельсон

и др.) провели при низких температурах глубокие исследования по физике прочности и пластичности (в частности, в области электронных свойств металлов и сплавов), сверхпроводимости и явлению ядерного парамагнетизма.

Так, у большого числа металлов были открыты и изучены осцилляции магнитной восприимчивости и гальваномагнитные свойства металлов, особенности поведения сверхпроводников при высоком давлении, кинетика перехода в сверхпроводящее состояние, кристаллографическая



Г. В. Курдюмов



В. Н. Свечников

анизотропия и другие особенности явления сверхпроводимости. На основе проведенных исследований сверхпроводимости созданы практически важные сверхпроводящие сплавы и ряд приборов, в частности сверхпроводящие соленоиды с полями 88 000 и 100 000 э, криотроны и т. д.

Большие успехи достигнуты в Харьковских ФТИ и ФТИНТ в области развития криогенной техники, создана разнообразная комплексная аппаратура для исследований при низких температурах. Создана эффективная простая методика для получения температур ниже  $1^{\circ}\text{K}$  с помощью откачки, а также новая ожигительная техника, разрешившая получить вакуум порядка  $10^{-14}$  мм рт. ст.

В Харьковском ФТИ под руководством акад. АН УССР В. Е. Иванова с помощью вакуумного метода, метода зонной и электроннолучевой плавки ведутся исследования по сверхчистым металлам, имеющие большое значение для ряда отраслей новой техники. В частности здесь впервые получены бездефектные кристаллы, созданы высокопрочные биметаллы Nb—Mo, многослойные системы Nb—W—Nb—W, получены совершенно новые материалы типа волокнистых структур и т. д.

Фундаментальные исследования по проблемам прочности и пластичности металлов, по разработке новых методов скоростных нагревов для улучшения структуры и свойств металлов, в частности мартенситных структур, применение электронно-спектроскопических методов для выяснения многих процессов в кристаллах, наконец получение совер-

шенно новых субмелкозернистых тонких структур металлов проведены в Институте металлофизики АН УССР акад. АН УССР В. Н. Грідневим и его сотрудниками. Особенно важными явились работы по созданию сплавов с заранее заданными свойствами, сплавов, не только превосходящих по своим механическим свойствам существующие, но и приближающиеся по прочности и пластичности к теоретическим данным.

Большое внимание уделяется развитию исследований фазовых превращений, открывающих широкие возможности для изменения структурного состояния металлов и получения высокопрочных состояний, а также развития методов получения металлов особо высокой чистоты и исследование их свойств.

В Институте металлофизики акад. АН УССР А. А. Смирнов и его сотрудники выполнили широкий комплекс исследований по статистической теории упорядочения сплавов и по влиянию этого упорядочения на различные свойства сплавов (на диффузию, электросопротивление, магнитные свойства и т. д.).

Многие эффекты, предсказанные теорией, были вскоре подтверждены экспериментально. Ныне А. А. Смирнов развил теорию явлений упорядочения в сложных структурах и в ферромагнитных сплавах.

Большая работа была проведена в Институте металлофизики по разработке и использованию новых методов изучения диффузии в металлах и сплавах с применением радиоактивных изотопов проф. С. Д. Герцрикеном; а проф. М. А. Кривоглаз развил теорию рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов реальными кристаллами, а также теорию эффекта Мессбауэра в этих кристаллах. Акад. АН УССР В. Н. Свечников вместе со своими сотрудниками выполнил значительные работы по физико-химическому анализу металлических систем — тройных систем железа и систем тугоплавких редких металлов (Cr, Nb, Mo, Hf), создав при этом большое число уникальных приборов для этих исследований при высоких температурах в условиях вакуума.

Важнейшие результаты исследования распространения ультразвука в металлах в магнитном поле, приведшие впервые к открытию эффекта анизотропии коэффициента поглощения и нового типа резонансного поглощения ультразвука металлами и эффекта гигантских осцилляций, были получены акад. АН УССР А. А. Галкиным и его сотрудниками в Харьковском, а затем в Донецком ФТИ АН УССР.

Акад. АН УССР И. Н. Францевич и проф. П. П. Кузьменко (Киевский университет) получили существенные результаты при исследовании диффузионного переноса атомов в электрическом поле, позволившие выяснить механизм электропереноса и установить важную роль электронного и дырочного увлечения. Кроме того, получены важные результаты по диффузии и подвижности примесных ионов в твердых и жидких металлах при прохождении постоянного тока и разработке физических основ очистки металлов постоянным током. Значительные успехи здесь достигнуты работами проф. А. З. Жмудского в развитии физики рентгеновских лучей, рентгеноструктурного и электроннографического анализа.

В Харьковском университете развиты рентгенографические методы изучения гетеродиффузии, с помощью которых получен ряд новых данных, имеющих значение для порошковой металлургии и разработки жаропрочных сплавов (исследования проф. Б. Я. Пинеса и его сотрудников).

Значительные успехи в развитии физики твердого тела достигнуты в Днепропетровском, Одесском, Черновицком, Львовском университетах и других высших учебных заведениях нашей республики. В част-

ности, здесь получены новые сплавы с повышенными механическими свойствами, на основании рентгенографических данных построены соответствующие диаграммы «состав—свойство» и т. д.

Исследования в области физики полупроводников начались в нашей стране в конце двадцатых годов в ЛФТИ с инициативы и под руководством акад. А. Ф. Иоффе и вскоре в ИФАН под руководством акад. АН УССР А. Г. Гольдмана. Интересно отметить, что творческие научные связи, зародившиеся в то время между этими двумя крупнейшими центрами в области теоретического изучения и практического использования полупроводников, все более крепнут и расширяются.

Современная теория полупроводников, разработанная, в первую очередь, Иоффе и его школой, чл.-корр. АН СССР Я. И. Френкелем и многими другими учеными, представляет собой синтез двух линий развития учения о твердом теле: физико-химической, приведшей к объяснению механизма появления носителей заряда в полупроводниках, и квантово-механической, приведшей к зонной теории. В частности, Френкель перенес понятие «дырки», открытое им в 1925 г. с зонных кристаллов на полупроводники и этим самым ввел понятие об «электронной дырке».

Большое значение приобрели свойства возбужденных состояний кристалла — экситоны, открытые теоретически Френкелем в 1931 г., обнаруженные в спектрах поглощения закиси меди и подтвержденные многочисленными применениями в работах советских физиков. Была показана роль экситонов как первичного акта фотоэффекта в полупроводниках и их участие в переносе тепловой энергии.

В это время украинские физики выполнили значительные работы по созданию основ феноменологической теории, описывающей конкретные физические свойства в полупроводниках (фото-э. д. с., явления выпрямления и др.), в разработке первых полупроводниковых приборов. Так, в частности, в 1938 г. был создан сернисто-таллиевый фотоэлемент Б. Т. Коломийцем и Ю. П. Маслаковцем в ЛФТИ и почти одновременно сернисто-серебряный — коллективом сотрудников ИФАН (В. К. Бернадский, Д. С. Гейхман, Е. Г. Миселюк, О. М. Косоногова).

Сотрудники ИФАН В. И. Ляшенко и Г. А. Федорус в 1937—1940 гг. экспериментальным путем наиболее глубоко исследовали явление, впервые открытое в 1935 г. в ЛФТИ Д. Н. Наследовым и Л. Н. Неменовым, заключающееся в том, что кажущиеся отклонения от закона Ома в сильных электрических полях могут появляться в результате образования приэлектродных скачков потенциала, связанных с накоплением объемных зарядов. Эти исследования экспериментально подтвердили диффузионную теорию выпрямления, сформулированную в 1938—1941 гг. Давыдовым (ЛФТИ), Блохинцевым (ФИ АН СССР) и Пекарем (ИФАН).

Одно из главных положений этой теории, что в купроксном выпрямителе кроме слоя полупроводника с дырочной проводимостью создается слой с электронной проводимостью, было в 1940 г. экспериментально подтверждено акад. АН УССР В. Е. Лашкаревым. Это явилось фактическим предвидением и утверждением идеи  $p-n$ -переходов в полупроводниках, сформулированной лишь в 1949 г. в работах В. Шокли.

В начале сороковых годов в ИФАН, в Физическом институте Одесского университета (работы лауреата Государственной премии проф. Е. А. Кириллова и его сотрудников) были проведены широкие систематические исследования фотоэлектрических явлений, в частности исследования внутреннего фотоэффекта в закиси меди, исследования фото-

э.д.с. на специально приготовленных образцах закиси меди (так называемый дембер-эффект), изучена работа выхода из полупроводника, поверхностная проводимость и фото-э.д.с. изолированного полупроводника и т. д. Эти экспериментальные исследования явились базой, на основании которой В. Е. Лашкарев сформулировал в конце сороковых годов общую феноменологическую теорию возникновения фото-э.д.с. в полупроводниках.

После создания в 1948 г. В. Браттейном и Д. Бардином первого транзистора началось быстрое изучение таких полупроводников, как германий и кремний. Большая заслуга в этом принадлежит коллективу ученых ИФАН (В. Е. Лашкарев, С. И. Пекар, П. Г. Борзяк, В. И. Лященко, Е. Г. Миселюк и др.), разработавшему технологию получения чистых и совершенных монокристаллов германия и кремния, всесторонне исследовавшим их физические свойства и завершившему построение количественной теории этих полупроводников. Одновременно ими была разработана технология получения полупроводниковых диодов и триодов, в частности точечных германиевых триодов, необходимых для быстродействующих электронносчетных машин, выполнены исследования свойств ряда новых полупроводниковых соединений типа  $A^{II}B^{VI}$  (сульфид кадмия и его аналоги), типа  $A^{III}B^V$  (интерметаллиды) и показана возможность их практического использования (изготовление сопротивлений из сульфида кадмия и тому подобное).

В последующие годы физика полупроводников на Украине получила всестороннее развитие. И это вполне закономерно, ибо эта отрасль знаний становится одной из самых актуальных проблем современной науки. Без нее невозможно быстрое развитие радиоэлектроники с ее наиболее острым и тонким оружием — волнами сверхвысокой частоты (СВЧ), невозможна автоматизация производства и развитие ракетной техники, электронносчетных машин и непосредственное превращение тепловой и световой энергии в электрическую и т. п.

Развивая физику полупроводников, коллективы ученых многих научно-исследовательских институтов и проблемных научных лабораторий высших учебных заведений Украины успешно ведут исследования по получению новых полупроводников, изучению их свойств и их техническому применению, по созданию новых оригинальных полупроводниковых приборов. Глубоко изучаются эти вопросы и сотрудниками Института полупроводников АН УССР (ИПАН), созданного в 1960 г. на базе отделов полупроводников и теоретической физики ИФАН УССР.

В ИПАН значительное развитие получила радиоспектроскопия полупроводников, на основе изготовленных здесь, лучших в мире, сверхчувствительных радиоспектрометров. Оригинальные направления исследований, развиваемые украинскими радиоспектрометристами, получили высокую оценку в советской и мировой научной литературе. В результате проведенных исследований разработан ряд новых методов измерения основных параметров сложных фотополупроводников, основанных на комплексном изучении кинетики фототока и его инфракрасного гашения. Новые методы впервые позволили выяснить особенности фотоэлектрических принципов и определить основные их параметры в сульфиде и селениде кадмия, а также в их твердых растворах. Эти исследования выяснили природу процессов, ограничивающих импульсную фоточувствительность. Полученные результаты, а также изучение природы контактных и модуляционных шумов фототока в сернистом кадмии позволили В. Е. Лашкареву и его сотрудникам М. К. Шейнкману, Г. А. Федорусу и др. создать приборы с пороговой чувствительностью, приближающейся к теоретическому пределу.

Работами С. В. Свечникова, Н. А. Власенко и других созданы сублимированные фотопроводящие пленки сернистого кадмия и его аналогов на изолирующих и проводящих подложках, а также устойчивые контакты к ним. По своим фотоэлектрическим свойствам пленки не уступают известным монокристаллам. Они являются перспективным материалом для высокоэффективных фотоэлектрических полупроводниковых приборов широкого назначения. На их основе разработаны фототочность и фотопотенциометры, они могут быть использованы в качестве усилителей света и изображения и т. д.

В последние годы физиками Украины и особенно коллективом ИПАН выполнены значительные исследования по новым важнейшим научным направлениям: квантовой электронике (зарождение и развитие которой было обусловлено работами советских физиков лауреатов Ленинской и Нобелевской премий Н. Г. Басова и А. М. Прохорова, а также американского физика лауреата Нобелевской премии Ч. Туанса) и микроэлектронике (создание радиоэлектронных схем чрезвычайно малых габаритов и высокой экономичности). Огромное значение этих направлений для современной техники обусловило резкое возрастание актуальности теоретических и экспериментальных исследований по многим разделам физики полупроводников: по радиоспектроскопии, оптике и фотоэлектронике полупроводников, физике поверхностных явлений, физике тонких пленок и так далее.

Так, в ИПАН разработана и введена в действие установка двойного электронного резонанса для изучения электронных переходов в полупроводниках и поиска рабочих тел мазеров. Значительные исследования проведены М. Т. Лисицей и его сотрудниками по изучению нелинейных оптических эффектов под действием лазерного излучения в полупроводниках с акцепторными и донорными примесями. Лауреат Ленинской премии Э. И. Ращба с коллективом ученых завершил цикл исследований по теории интенсивного возбуждения спин-электронных переходов электрической компонентной СВЧ поля в полупроводниках — так называемый комбинированный резонанс, который дает возможность определить ряд новых параметров полупроводников, важных для поиска активных тел мазеров.

Существенный прогресс достигнут в исследованиях полупроводников в вузах УССР. На современном экспериментальном теоретическом уровне решен ряд важнейших задач в области фотоэлектрических, оптических и люминесцентных свойств полупроводников в Киевском университете — исследования И. С. Горбаня, Ю. И. Карханина и их сотрудников, в Львовском университете — работы А. Е. Глаубермана, Р. В. Луцива, Ф. И. Стасюка, А. Б. Лисковича и др., в Одесском университете — работы Е. А. Кириллова, Т. Я. Серы, К. К. Демидова и др., исследования в части изучения зонной структуры полупроводников с узкой запрещенной зоной (Черновицкий университет — работы К. Д. Товстюка и др.). Значительная работа выполнена по развитию технологии получения полупроводниковых материалов в Львовском и Черновицком университетах, Киевском, Херсонском педагогических институтах; по разработке новых методов получения и исследования тонких полупроводниковых слоев (Днепропетровский и Ужгородский университеты, Львовский и Киевский политехнические институты). В проблемной полупроводниковой лаборатории Киевского политехнического института коллектив сотрудников (М. М. Некрасов и др.) на основании всестороннего изучения свойств карбида кремния изготовили чудесные образцы высокотемпературных выпрямителей и т. п.

Радиофизика на Украине начала свое развитие<sup>6</sup> с приходом в 1911 г. в Харьковский университет Д. А. Рожанского, который после окончания Петербургского университета несколько лет работал в Петербургском электротехническом институте под руководством великого изобретателя радио А. С. Попова.

Примененный А. С. Поповым искровой генератор Герца в качестве передатчика радиосигналов поставил перед физикой совершенно новую проблему — изучить процессы в искре, проскакивающей в разрядном промежутке генератора, и влияние параметров этой искры на генерацию электромагнитных волн. Решением этих вопросов и занялся Рожанский. Уже в своих первых работах «Дуга переменного тока и искровой разряд» (ЖРФХО, ч. ф., т. 39, 1907, стр. 161—177) и «Zur Frage des Funkenwiderstandes» (Phys, Zeitsch., 1908, 9, стр. 627—635) он раскрыл природу искрового разряда и доказал, что электрическая искра при разряде конденсатора представляет собой электрическую дугу и ее нельзя отождествлять с проводниками постоянных сопротивлений. При этом Д. А. Рожанский глубоко изучил процессы и происхождение искры при высокочастотном колебательном разряде, определяющие эффективность искровых передатчиков, применив впервые в науке метод для изучения э. д. с. искры и силы тока в цепи в функции от времени, который впоследствии в совокупности с трубкой Брауна явился фактически электронным осциллографом. Результаты этих исследований были Рожанским подытожены в его магистерской диссертации «Влияние искры на колебательный контур конденсатора», успешно защищенной в 1911 г. за эту работу Рожанскому была присуждена премия им. А. С. Попова.

В этом же 1911 г. и началась научно-педагогическая деятельность Рожанского в Харьковском университете, получившая интенсивное развитие после Великой Октябрьской революции. Организованный им в Харькове большой коллектив физиков своими трудами впоследствии осуществил значительный научно-технический прогресс в развитии радиофизики и электроники. Рожанский принял активнейшее участие в научно-исследовательской работе Нижегородской радиолоборатории, созданной по инициативе В. И. Ленина, а затем организовал крупнейшую радиофизическую школу в Ленинграде, куда он переехал в 1923 г. по приглашению акад. А. Ф. Иоффе.

Возникшая в это время тесная творческая связь ленинградских и харьковских радиофизиков в дальнейшем получила всестороннее развитие и всемерно способствовала тому, что советская наука в разработке физических основ радиотехники, вопросов излучения и распространения радиоволн, особенно коротких и ультракоротких, в развитии радиопромышленности заняла достойное место в мире.

Уже в 1924—1925 гг. харьковские физики (ученики Рожанского) А. А. Слуцкий и Д. С. Штейнберг, глубоко исследуя и разрабатывая методы генерирования коротких радиоволн, впервые в мире экспериментально создали магнетронный генератор — наиболее эффективный генератор сверхвысоких радиочастот, который в дальнейшем своем развитии стал одним из основных элементов современной радиолокационной аппаратуры.

К этому открытию Слуцкий пришел в результате почти десятилет-

<sup>6</sup> Следует подчеркнуть, что первыми исследованиями на Украине, связанными с радиофизикой, были работы проф. Н. Н. Шиллера «Опытное исследование электрических колебаний» (1874), «Электромагнитные свойства концов разомкнутых токов и диэлектриков» (1875) и работы проф. А. П. Грузинцева «Электромагнитная теория света» (1893) и «Электромагнитная теория проводников» (1899).

него исследования<sup>7</sup> вопросов, связанных с генерированием электрических колебаний, экспериментально и теоретически изучая процессы, происходящие в электронных лампах. Поскольку к началу 20-х годов единственным способом получения незатухающих электромагнитных волн (короче одного метра) являлся метод триода с тормозящим полем, Слуцкий провел большую серию экспериментов получения электромагнитных колебаний с помощью этого метода, уделяя особое внимание изучению процессов, происходящих в электронных лампах, работающих в схеме тормозящего поля. В результате он пришел к выводу о возможности замены положительной сетки лампы внешним магнитным полем, т. е. создания таких режимов работы, при которых электронная лампа может давать наиболее короткие волны. Эта мысль и привела в 1924 г. Слуцкого к постановке совместно с Штейнбергом экспериментальных исследований по использованию магнитного поля в качестве управляющего элемента для получения электромагнитных волн длиной до 50 см.

В следующем году они получили волны длиной 7,3 см. Эти замечательные экспериментальные результаты поставили на повестку дня вопросы дальнейшего развития представлений о механизме возникновения магнетронных колебаний. Частично эта проблема была решена в статье Слуцкого и Штейнберга «Получение колебаний в катодных лампах при помощи магнитного поля» (ЖРФХО, ч. физ., 58, стр. 595, 1926), посвященной описанию нового способа получения электромагнитных волн.

В 1926 г. Слуцкий был утвержден в должности руководителя созданного сектора электромагнитных колебаний Харьковской научно-исследовательской кафедры физики. Основной целью сектора было расширение исследований возбуждения магнетронных колебаний.

Но особенно широко развились экспериментальные и теоретические исследования физических процессов, связанных с генерированием волн в магнетронах, после создания Украинского физико-технического института, где в 1929 г. был организован отдел электромагнитных колебаний. Основным направлением работ этого отдела было исследование физических процессов и условий получения мощных колебаний дециметрового диапазона с помощью разрезных магнетронов, в частности так называемых «динатронных» колебаний. Следует отметить, что при разработке вопроса о получении динатронных колебаний Слуцкий обратил особое внимание (в противоположность некоторым зарубежным физикам, пытавшимся дать общее решение этой задачи, исходя непосредственно из движения электронов между полуанодами лампы, что давало мало приемлемые практические результаты) на существование в разрезных магнетронах статического отрицательного сопротивления, что дало ему возможность глубоко разработать теорию магнетронного генератора, работающего в динатронном режиме. Выполненная затем коллективом отдела электромагнитных колебаний УФТИ большая серия экспериментальных исследований этих генераторов при непрерывном и импульсном режимах имела большое практическое значение. Именно на основе этих исследований в 1938 г. был разработан первый в Советском Союзе действующий макет радиолокатора на волну 64 см.

Большая школа радиофизиков, сложившаяся в конце тридцатых годов в Харькове, провела в предвоенные годы значительные исследования по получению и применению мощных ионных пучков в вакууме с помощью магнетронов, а также по исследованию движения электро-

---

<sup>7</sup> Первая экспериментальная работа «Влияние искры на период колебательной цепи» была выполнена А. А. Слуцким в 1914 г.



нов в электрическом и магнитных полях с учетом пространственного заряда.

В 1955 г. на базе радиофизических отделов ФТИ АН УССР был организован Институт радиофизики и электроники АН УССР (ИРЭ АН УССР). В этом Институте, кроме магнетронного, начали успешно развиваться другие методы генерирования, усиления и преобразования радиоволн, позволившие проводить радиофизические исследования в широком диапазоне частот и связанные с решением ряда важных научных и практических вопросов.

Одной из первых проблем, которой занялись радиофизики Харькова, было изучение влияния на распространение радиоволн таких свойств и характеристик среды, как кривизна земного шара, изменения плотности и состава воздуха с высотой, холмистость поверхности Земли, колебания листьев, деревьев и особенно морские колебания. Применение радиоэлектроники для исследования морских волнений, в частности разработанная в ИРЭ методика, использующая экспериментальные данные о рассеянии радиоволн взволнованной поверхностью моря, послужило основой нового научного направления радиоокеанографии. Коллектив физиков ИРЭ впервые в мире с помощью построенных радиолокаторов, работающих в узком диапазоне низких частот (от 1,5 до 3,0 *Мгц*), непосредственно измерил ряд элементов морского волнения: высоты волн, их направления и движения, степень стабильности волнения, скорость и направление распространения шторма относительно места наблюдения на площади, превышающей 150—200 тыс. км<sup>2</sup>. При этом изучая статистические закономерности амплитуд и фаз принятых радиосигналов, удалось измерить радиусы корреляции неоднородностей водных масс, образованных морским волнением в различных направлениях, а также обнаружить наличие крупно- и мелкомасштабных рассеивателей, составить радиокарту моря для наблюдения тонкой структуры морских волнений.

Одновременно была решена задача о влиянии на распространение радиоволн таких параметров, как температура, влажность, давление воздуха, особенно заметно проявляющееся в так называемом приземном слое воздуха высотой до трех километров. Именно этими неоднородностями, существенно влияющими на распространение радиоволн в реальных средах, определяются ныне предельные точности современной радиоаппаратуры.

Коллектив сотрудников ИРЭ значительное внимание обратил на разработку статистической теории распространения радиоволн и, в первую очередь, исследованию их распространения в средах со случайными неоднородностями. В Институте разработана методика, позволяющая по измерениям статистических характеристик электронного поля определять средние квадраты флуктуаций диэлектрической проницаемости, радиусы корреляции тропосферных неоднородностей, спектр частот, характерных для флуктуаций в тропосфере и т. д.

В последние годы в ИРЭ продолжались теоретические и экспериментальные исследования, направленные на изыскание и разработку новых методов генерирования и усиления микрорадиоволн на основе изучения волновых процессов в неоднородных проводящих средах, а также высокочастотных свойств твердого тела. Экспериментальные исследования параметров твердых тел наряду с методами радиоспектроскопии и ультразвуковыми широко используют в настоящее время новые высокочастотные радиофизические методы, в частности основанные на затухании высокочастотных звуковых так называемых гиперзвуковых волн.

Впервые гигантские осцилляции коэффициента поглощения ультразвука были теоретически предсказаны в ЛФТИ им. Иоффе. После открытия в середине 50-х годов существенного влияния электронов проводимости на распределение звука в металлах при низких температурах в ИРЭ АН УССР акад. АН УССР А. А. Галкин, А. П. Королюк и др. начали в 1957 г. изучение поглощения ультразвука в металлах в магнитном поле при температуре жидкого гелия.

Они тщательно исследовали зависимости коэффициента поглощения ультразвука от магнитного поля, частоты, температуры и анизотропии свойств металлов и предсказали возникновение магнитоакустического эффекта, связанного с новым типом резонансных осцилляций коэффициента поглощения, возникающих только при наличии открытых периодических траекторий в металле, в частности в олове, что привело к установлению топологии и формы открытых и замкнутых сечений поверхности Ферми электронов.

Их работами было изучено также явление резкой анизотропии поглощения ультразвука при малом нарушении перпендикулярности между напряженностью магнитного поля и направлением распространения звука, а также с помощью ультразвука открыта анизотропия энергетической щели в сверхпроводящем олове и впервые установлена дисперсия скорости звука в металлах и магнитном поле при частотах 220—240 Мгц, далеко превосходящие таковые же в аналогичных зарубежных работах.

В последние годы исключительно важным явились работы коллектива сотрудников ИРЭ под руководством акад. АН УССР А. Я. Усикова по исследованию физических свойств твердых тел значительно более короткими ультразвуковыми волнами (частотой  $10^9$ — $10^{11}$  гц), называемых гиперзвуковыми.

После выхода в свет работы К. Н. Баранского «Возбуждение в кварце колебаний гиперзвуковых частот» (ДАН СССР, 1957, 114, вып. 3, стр. 517), в которой он впервые предложил метод генерации гиперзвука за счет пьезоэффекта кварца, помещенного в сильное электромагнитное СВЧ поле резонатора. Эти исследования были продолжены в ИРЭ А. Н. Чернецом и Е. М. Ганапольским. В своей работе «Возбуждение гиперзвука медленными электромагнитными волнами» (ДАН СССР, 1963, т. 149, вып. 1, стр. 172) они разработали метод возбуждения гиперзвуковых колебаний с помощью замедленной поверхностной электромагнитной волны, разрешающей возбудить в кристалле, находящемся при температуре жидкого гелия, гиперзвуковые волны с частотой  $4 \cdot 10^{10}$  гц. Большой интерес представляют выполненные ими по этой методике измерения поглощения гиперзвуковых колебаний в различных диэлектрических кристаллах в широком диапазоне температур от гелиевой до комнатной, изложенные в работе «Поглощение гиперзвука в кристаллах кварца и рубина» (ЖЭТФ, 1966, 5, вып. 8, стр. 383).

Примечательно, что эксперименты на столь коротких волнах разрешают исследовать свойства твердых тел, недоступных другим методам. Так в ИРЭ АН УССР с помощью гиперзвуковых волн исследуется акустический резонанс парамагнитных кристаллов, предсказанный С. А. Альтшулером, необходимый для выяснения процессов, происходящих в лазерах. Разрабатываются установки для исследования взаимодействия гиперзвуковых волн с носителями заряда в полупроводниках, рассчитанные для работы в диапазоне частот 22000 Мгц и интервале температур от жидкого гелия до комнатной, а также получены предварительные результаты по акусто-электрическому эффекту в сернистом

кадмии и воздействию звукового поля на проводимость полупроводника этого типа. Были получены сведения о механизме рассеяния в полупроводниках электронов, нагретых электрическим полем, а также изучены неустойчивости, связанные с отрицательной проводимостью, и восстановлены энергетические спектры электронов в висмуте, сурьме и других полуметаллах по данным ультразвуковых измерений и изучения новых эффектов, например акустический резонанс в наклонном магнитном поле, доплеровское расщепление резонансной линии и др.

Значительное место в работах сотрудников ИРЭ АН УССР занимает изучение физических свойств веществ методами электронного парамагнитного резонанса (ЭПР). В частности, этот метод дает возможность по знанию формы спектральных линий углей различного геологического возраста и сорта решить задачу об их микроструктуре. Работами А. А. Галкина, Д. А. Кичигина и др., исследовавшими свойства антрацитов и молодых углей, была установлена интересная закономерность — изменение интенсивности линии ЭПР с их геологическим возрастом. Экспериментально был также изучен вопрос о влиянии кислорода на ЭПР в антраците и впервые показано, что измерение ширины линии вызвано физической адсорбцией кислорода, а «отравляющее» влияние кислорода на линию ЭПР связано с химической адсорбцией.

Работы по адсорбции кислорода антрацитом послужили основой для создания весьма чувствительного и широкодиапазонного газоанализатора нового типа, основанного на принципе зависимости интенсивности линии ЭПР в порошке антрацита от парциального давления парамагнитных газов, в частности кислорода на его поверхности. Важным достоинством этого прибора является также возможность работы как при непрерывном, автоматическом анализе газов, так и при анализе газовых проб.

Изучение ЭПР в металлах привело впервые к открытию влияния деформации на ширину линии ЭПР в металлическом литии, а в совокупности ЭПР с ядерным резонансом дало возможность ученым Харьковского университета изучить характер структурных нарушений, возникающих под действием ионизирующих излучений в молекулах аминокислот и белков.

Исследования ЭПР в различных веществах позволили разработать новый прибор — волномер, основанный на использовании одновременного наблюдения электронного и ядерного резонансов, позволяющий с высокой точностью измерить частоту генераторов микроволнового диапазона.

За последние годы украинскими радиофизиками проведены важные исследования по измерению радионезлучения дискретных космических источников — Солнца и галактического фона на декаметровых и более коротких волнах. С этой целью в ИРЭ группой ученых во главе с чл.-корр. АН УССР С. Я. Брауде создана специальная радиоастрономическая аппаратура (антенны больших размеров и радиотелескоп УТР-1), дающая возможность судить о частичных спектрах дискретных космических источников в декаметровом диапазоне, необходимых для создания каталогов радиозвезд, составления карт космического радионезлучения путем измерения его радиояркости и т. д.

Особенно большое внимание было уделено одному из первых объектов радиоастрономии — Солнцу наиболее интенсивному источнику радионезлучения, принимаемого на Земле.

Проведенные в 1947 г. советскими учеными наблюдения впервые экспериментально доказали, что источником радионезлучения Солнца на метровых волнах есть его корона. Эти наблюдения дали возмож-

ность получить широкие сведения о его короне на расстояниях до 3,5 видимого солнечного радиуса. Для более удаленных областей Солнца с помощью исследования длинноволнового радиоизлучения Солнца это оказалось невозможным, поскольку радиоизлучение экранируется ионосферой Земли. Поэтому для изучения удаленных областей Солнца нашими учеными был предложен совершенно новый метод, суть которого заключалась в просвечивании солнечной короны радиоизлучением какого-либо космического источника, проходящего за Солнцем. Таким источником явилась так называемая Крабовидная туманность. Проведенное в 1966 г. в ИРЭ АН УССР С. Я. Брауде с сотрудниками детальное исследование покрытия крабовидной туманности короной Солнца в широком диапазоне частот (12—40 *Мгц*) по своей полноте явилось наиболее завершенным и показало, что корона Солнца не является однородной, а простирается на очень большие расстояния — до 30—40 солнечных радиусов. Изучение внешних областей (сверхкороны, состоящих из облаков ионизированного газа), дало возможность получить новые данные о свойствах межпланетной плазмы.

Большим вкладом в развитие радиоастрономических исследований явилось окончание строительства на радиоастрономической обсерватории ИРЭ АН УССР высокой разрешающей способности радиотелескопа УТР-2, предназначенного для исследования космических источников и космического фона в декаметровом диапазоне радиоволн. На этом радиотелескопе будет продолжено составление каталога дискретных космических источников и космического фона в декаметровом диапазоне радиоволн, а также значительное внимание будет уделено изучению процессов в солнечной короне и радиоизлучения таких планет, как Юпитер, Сатурн и т. п.

Разработанные в ИРЭ радиоастрономические антенны, специализированные антенны для пространственной селекции лучей, имеют большое практическое значение. Они позволяют осуществлять разделение сигналов, отраженных от ионосферы, резко повышать быстродействие линий связи, их надежность и почти полностью устранять интерференционные замирания радиосигналов.

Значительных успехов добились советские физики в создании усиливающих устройств нового типа — квантовых парамагнитных усилителей (КПУ) — на основе принципов, разработанных академиками Н. Г. Басовым и А. М. Прохоровым, особенно КПУ, максимально отвечающих требованиям эксплуатации на антеннах радиоастрономических устройств. Эта задача впервые была решена в ИРЭ АН СССР М. Е. Жаботинским и А. В. Францессоном, создавшими мазерный усилитель, сердцем которого служит кристалл искусственного рубина.

В ИРЭ АН УССР эти исследования коллективом сотрудников (А. Н. Чернец, И. И. Еру, С. А. Песковацкий и др.) под общим руководством акад. АН УССР А. Я. Усикова успешно продолжены. В частности, здесь уже закончены измерения по выяснению возможности использования кристаллов андалузита с примесью железа в качестве активного вещества квантовых парамагнитных усилителей. Изучена перспективность использования андалузита и созданы лабораторные макеты квантовых парамагнитных усилителей на волны 3 см и 3 мм с улучшенными параметрами.

Современная электроника — физика электронных и ионных процессов — играет весьма существенную роль в развитии науки и техники.

Значительный вклад в развитие электроники, интенсивно начавшееся в 30-х годах нашего века, внесли ученые Киева и Харькова, в частности коллективы ИФАН УССР, ФТИ АН УССР, ИРЭ АН УССР.

сотрудники Киевского, Харьковского, Черновицкого университетов и др.

На Украине были выполнены важные работы в области современной физической и технической электроники, электронной оптики, вакуумной физики и техники, и особенно в области физической катодной электроники. Большое значение для развития физики электронных и ионных процессов, в частности для развития катодной электроники, имели неоднократные всесоюзные совещания (1940, 1951 гг. и др.), созываемые в Киеве, являющиеся одним из союзных научных центров в этой области. Чл.-корр. АН УССР П. Г. Борзяк, Н. Д. Моргулис, П. М. Марчук исследовали электронноэмиссионные явления, вскрыли факторы, определяющие их эффективность. Экспериментально и теоретически исследована термоионизация атомов на поверхности горячего металла.

В сочетании с результатами, полученными при изучении цезиевой плазмы, это привело к открытию Н. Д. Моргулисом и П. М. Марчуком в 1949 г. принципа прямого преобразования тепловой энергии в электрическую с помощью термоэлектронной эмиссии, имеющего сейчас широкое техническое применение.

В связи с тем, что большое влияние на свойства катода оказывает состояние его поверхности, в ИФАН и Киевском университете получили широкое развитие исследования адсорбционных процессов на поверхности твердого тела, направленные на выяснение адсорбционной связи, и механика воздействия адсорбции на электронные свойства поверхности твердого тела. В результате этих работ были получены новые данные, характеризующие кинетику и энергетику адсорбции целого ряда атомов и молекул на металлах, электронный обмен при адсорбции, поведение адсорбированных пленок в сильных электрических полях, сделаны выводы о механизме изменения работы выхода.

Важнейшие результаты получили П. Г. Борзяк, Н. Д. Моргулис и их сотрудники при исследовании явлений фотоэлектронной эмиссии. Они доказали аддитивность фотоэлектронной и вторичноэлектронной эмиссии у эффективных фотокатодов и дали физическое объяснение существенного различия в значениях термоэлектронной и фотоэлектронной работ выхода у кислородно-цезиевого катода, а также создали новое представление о природе серебряно-кислородно-цезиевого фотокатода. Впервые были получены количественные оптические характеристики сурьмяно-цезиевых и серебряно-кислородно-цезиевых фотокатодов и выяснена роль оптического фактора в их спектральной чувствительности. На основании этих исследований был открыт метод оптического интерференционного усиления чувствительных сурьмяноцезиевых катодов и дано современное представление об их энергетической структуре. Изучение экситонного поглощения света и связанной с этим фотоэлектронной эмиссией у полупроводников привело к получению нового типа электронно-эмиссионных индикаторов света — германиевых и кремниевых автофотокатодов, чувствительных и в инфракрасной области спектра.

Наряду с экспериментальными работами были проведены также глубокие теоретические исследования вторичной и фотоэлектронной эмиссии полупроводников (работы проф. И. Дикмана и его сотрудников), термоэлектронной эмиссии полупроводников (исследования чл.-корр. АН УССР К. Б. Толыго и др.), очень важные для решения проблем эффективных электронных эмитеров.

Были также разработаны новые принципы формирования мощных ионных пучков из плазменных источников и исследованы важные для

проблемы нагрева плазмы и для радиоэлектроники процессы взаимодействия с плазмой электронных и ионных пучков и СВЧ-поле.

Изучение свойств вещества в жидком состоянии всегда представляло собой важную область физических исследований. Эта проблема относится к числу наиболее актуальных и в то же время наиболее сложных проблем современной физики. От состояния ее развития зависит успешное решение многих теоретических и прикладных задач физики и смежных с ней наук. Проблема жидкого состояния охватывает вопросы молекулярной структуры и межмолекулярных взаимодействий, фазовые переходы: жидкость — пар, жидкость — кристалл и т. п.

Современный уровень учения о физических и физико-химических свойствах разных типов жидкостей, о физической теории жидкого состояния вещества, включая и статистическую, во многом обязан трудам советских ученых.

Исследование молекулярной структуры жидкостей при помощи рентгеновских лучей было впервые в нашей стране в 1932 г. начато В. И. Даниловым в Днепропетровском физико-техническом институте. Явившись инициатором рентгеноструктурного анализа жидкостей, В. И. Данилов создал замечательную школу исследователей по рентгенографии и многим другим проблемам физики жидкого состояния. Его монография «Рассеяние рентгеновских лучей в жидкостях», вышедшая в 1935 г., была одной из первых по вопросам строения жидкостей в мировой литературе. Исключительно важное значение для физики, и особенно для металлургии, имели исследования В. И. Данилова и его сотрудников строения металлических жидкостей и т. п.

В последующие годы работы по рентгенографии жидкостей получили на Украине значительное развитие. В настоящее время они ведутся в Киевском, Львовском, Днепропетровском университетах, в Институте металлофизики АН УССР и многих других научно-исследовательских и высших учебных заведениях.

Вклад принципиальной значимости в развитие теории жидкого состояния был осуществлен в 1946 г. Н. Н. Боголюбовым (в то время профессором Киевского университета). В своей монографии «Проблемы динамической теории в статистической физике» (М., 1946) он разработал математический аппарат коррелятивных функций, позволяющий заменить очень сложную задачу о прямом вычислении статистического интеграла для жидкости более простой задачей о нахождении небольшого числа функций от малого количества аргументов и создал статистическую теорию жидкостей. Эта теория с помощью функций распределения описала вероятности конфигураций молекул, структуру жидкости и позволила вычислить многие равновесные свойства простых жидкостей. В частности, в Львовском университете эти работы были успешно применены для дальнейшего развития статистической теории растворов электролитов, а в Одесском и Киевском университетах, Физико-техническом институте низких температур АН УССР и других научно-исследовательских учреждениях при исследовании связей равновесных и кинетических свойств жидкостей с их молекулярной структурой.

Существенных результатов при экспериментальном изучении связей наблюдаемых свойств жидкости с их молекулярной структурой, способом межмолекулярного взаимодействия и закономерностями теплового движения было достигнуто в Киевском университете (работы проф. А. З. Голика и его сотрудников). Введенное Голиком в работе «Вязкость и молекулярная структура жидких металлов» (1954) понятие

структурно-чувствительных свойств жидкости — макроскопических свойств, которые наиболее сильно реагируют на детали молекулярной структуры и их изменения, имело большое значение при изучении ими вязкости, плотности, теплоты испарения, критических параметров и др. физических свойств жидкостей и жидких растворов.

Значительные работы были выполнены в Одесском университете (Г. Л. Михневич и др.) при исследовании кинетики испарения и конденсационного роста капель воды и водных растворов в широком интервале температур, давлений и влажности.

Всестороннее и глубокое исследование физических свойств жидкостей с одновременным изучением их молекулярного строения, проводимые физиками Украины вместе с коллективами ученых нашей страны, являются важными факторами на пути к окончательному построению количественной теории жидкого состояния.

По изучению ряда вопросов технической теплофизики в УССР сложилось несколько научных школ (в Институте технической теплофизики АН УССР, в ряде других научных учреждений, созданных и руководимых академиками АН УССР В. И. Толубинским, И. Т. Швецом, А. Н. Щербанем, чл.-корр. О. А. Кремневым, В. М. Бузником, профессорами М. Ф. Казанским, В. С. Мартыновским, Я. З. Казавчинским и др.). В этих школах ведутся глубокие исследования по проблемам теплообмена при изменении агрегатного состояния вещества, по изучению закономерностей форсированного и нестационарного теплообмена и регулирования температуры глубоких шахт и рудников, эффективным методам охлаждения роторов и лопаток газовых турбин, сушки и тепловой обработки различных материалов, разработке новых термодинамических циклов энергетических и холодильных установок и новых методов теоретического определения ряда свойств газов.

В заключение отметим, что, видимо, дать в пределах одной статьи сколько-нибудь всесторонний и исчерпывающий анализ развития физики на Украине за годы Советской власти невозможно. Усилия физиков нашей республики, ведущих свои исследования в тесном сотрудничестве с учеными АН СССР, с научными коллективами Москвы, Ленинграда и других городов, направлены на разработку перспективных, ведущих отраслей физики, на повышение результативности и практической эффективности научных исследований, на всемерное содействие научно-техническому прогрессу нашей страны.

## ЛИТЕРАТУРА

### 1. К ИСТОРИИ РАЗВИТИЯ ФИЗИКИ НА УКРАИНЕ ЗА ГОДЫ СОВЕТСКОЙ ВЛАСТИ. ФИЛОСОФСКИЕ И МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ ФИЗИКИ

1. Ахизер А. И. Эволюция понятий частицы и поля. (Доклад на расп. совещании по философским вопросам физики элементарных частиц и полей). Киев, Изд-во АН УССР, 1962.
2. Вавилов С. И. Ленин и физика. М., Изд-во АН СССР, 1960.
3. Дивильковский М. Харьковская сессия физической группы АН СССР (Харьков, 23—24 января 1937 г.). «Журнал техн. физики», 7, вып. 8, 1937.
4. Жмудский А. З. В. И. Ленин о временных кризисах в естествознании. Изд-во Киевск. ун-та, 1960.
5. Кудрявцев П. С. История развития физики на Украине. «Физика в школе», № 2, 1954.
6. Моргулис Н. Д., Гаврилюк В. М. Сорок лет катодной электроники. Радиотехника и электроника, № 2, вып. 2, 1957. Библиогр. 147 назв.
7. Кириллов Е. А., Сера Т. Я., Голуб С. И. и Демидов К. К. О творческом содружестве ученых Украины и России в области физики. «Тр. Одесск. ун-та», 5, 1954.

8. Прихотько А. Ф. Спектральные и оптические исследования молекулярных кристаллов. «Тр. Ин-та физики АН УССР», вып. 6, 1955, Библиогр. 60 назв.
9. Пятигорский Л. М. Совецание по методологическим вопросам современной квантовой теории (Харьков, 30 мая — 1 июня 1952 г.). «Уч. зап. Харьк. ун-та», 49, 1953; «Тр. физ. отделения физ.-матем. ф-та», 4, 1953.
10. Радченко И. В. 45 лет рентгенографии жидкости. «Укр. физ. журн.», 7, № 8, 1962. Библиогр. 63 назв.
11. Синельников К. Д. О философских вопросах современной физики. В кн.: «Философские вопросы современной физики». Киев, Изд-во АН УССР, 1956.
12. Съезд физиков в Киеве. (О проведении 2-го съезда Российской ассоциации физиков в сентябре 1921 г. Постановления съезда). «Наука на Украине», 1922, № 1.
13. Философские вопросы современной физики. (Мат-лы совещ. 17—19 марта 1954 г. Киев, Изд-во АН УССР, 1956).
14. Шпольский Э. В. Пятьдесят лет советской физики. УФН, 93, вып. 2, 1967.

## II. КВАНТОВАЯ ТЕОРИЯ. АТОМНАЯ И ЯДЕРНАЯ ФИЗИКА. ФИЗИКА ПЛАЗМЫ

15. Ахизер А. И., Берестецкий В. Б. Квантовая электродинамика, изд. 2. М., Физматгиз, 1959.
16. Ахизер А. И., Померанчук И. Я. Некоторые вопросы теории ядра, изд. 2. М., Гостехиздат, 1950. Библиогр. 119, назв.
17. Ахизер А. И. Квантовая электродинамика. В кн.: «Развитие физики в СССР», ч. I. М., «Наука», 1967.
18. Блохинцев Д. И. Барашенков В. С., Барашов Б. М. Структура нуклонов. УФН, 68, вып. 3, 1959. Библиогр. 60 назв.
19. Блохинцев Д. И. Элементарные частицы и поле. УФН, 42, вып. 1, 1950.
20. Блохинцев Д. И. Физические и технические основы атомной энергетики. (Доклад на сессии АН УССР). «Укр. физ. журн.», 1, № 3, 1956.
21. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Введение в теорию квантовых полей. М., Гостехиздат, 1957. Библиогр. 105 назв.
22. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Вопросы квантовой теории поля. 1. Матрицы рассеяния. УФН, 55, вып. 2, 1955.
23. Боголюбов Н. Н., Ширков Д. В. Вопросы квантовой теории поля. 2. Устранение расходимостей из матрицы рассеяния. УФН, 57, вып. 1, 1957. Библиогр. 22 назв.
24. Бронштейн М. П. Конференция по теоретической физике (Харьков, 19—23 мая 1934 г.). УФН, 14, вып. 4, 1934.
25. Вальтер А. К., Синельников К. Д. Новый тип высоковольтной установки постоянного напряжения. ЖТФ, 4, вып. 5, 1934.
26. Вальтер А. К., Синельников К. Д. Электростатические генераторы постоянного тока высокого напряжения. ЖТФ, 6, вып. 1, 1936.
27. Вальтер Н. К. Физика атомного ядра. Л.—М., ОНТИ, 1935.
28. Вальтер А. К., Залюбовский И. И. Ядерная физика. Изд-во Харьков. ун-та, 1963.
29. Вальтер А. К., Ключарев А. П. Изотопный эффект в упругом рассеянии протонов ядрами. «Атомная энергия», 14, вып. 1, 1963. Библиогр. 28 назв.
30. Сб. «Взаимодействие пучков заряженных частиц с плазмой». Отв. ред. К. Д. Синельников. Киев, «Наукова думка», 1965.
31. Таранов А. Я., Петухов В. А., Гуменюк В. С., Синельников К. Д., Вальтер А. К. Высоковольтная разрядка трубка на 3 000 000 вольт. ЖТФ, 8, № 11, 1938.
32. Сб. «Высокочастотные свойства плазмы». Отв. ред. К. Д. Синельников. Киев, «Наукова думка», 1965.
33. Сб. «Высокочастотные свойства плазмы». Отв. ред. В. Т. Толок. Киев, «Наукова думка», 1968, вып. 3.
34. Гапон Е. Н. К теории изотопов. ЖРФХО, ч. физ., 61, вып. 6, 1929.
35. Голобородько Т. А. Упругое рассеяние нейтронов атомными ядрами. УФН, 37, вып. 4, 1949. Библиогр. 106 назв.
36. Давыдов А. С. Форма ядра, ее деформируемость и возбужденные состояния атомных ядер. УФН, 87, вып. 4, 1965. Библиогр. 42 назв.
37. Давыдов А. С. Теория атомного ядра. М., Физматгиз, 1958.
38. Дементий В. С., Лейпунский А. И., Тимощук Д. В. Замедление нейтронов в воде. ЖЭТФ, 9, вып. 7, 1939. Библиогр. 15 назв.
39. Иваненко Д. Д. Скорость электрона. ЖЭТФ, 1, вып. 1, 1932.
40. Сб. «Исследование плазменных сгустков». Отв. ред. К. Д. Синельников. Киев, «Наукова думка», 1965.
41. Синельников К. Д., Федорченко В. Д., Руткевич П. Н., Чер-



ный П. М., Сафронов Б. Г. Исследование магнитной ловушки. ЖТФ, 30, вып. 3, 1960.

42. Корсунский М. И. Нейтрон. Л.—М., ОНТИ, 1935. «Проблемы новейшей физики», вып. 30.

43. Корсунский М. И. Экспериментальные основания модели ядерных оболочек. УФН, вып. 1, 1954. Библиогр. 82 назв.

44. Корж И. А., Пасечник М. В., Тощкий И. А. Рассеяние нейтронов средних энергий. «Атомная энергия», 20, вып. 1, 1966. Библиогр. 27 назв.

45. Курдюков Г. В., Нейман М. Б., Франк Г. М. Применение радиоактивных изотопов в СССР. «Атомная энергия», 3, вып. 11, 1957. Библиогр. 98 назв.

46. Курчатов П. В., Латышев Г. Д. Некоторые наблюдения в камере Вильсона над эффектом Ферми. ЖЭТФ, 5, вып. 5, 1935.

47. Лазарев Б. Г., Шубников Л. В. Магнитный момент протона. «Изв. АН СССР», сер. физ., № 3, 1937.

48. Ландау Л. Д. Кинетическое управление в случае кулоновского взаимодействия. ЖЭТФ, 7, вып. 2, 1937.

49. Левашев А. Е. Элементарные частицы. Изд-во Киевск. ун-та, 1960. Библиогр. 257 назв.

50. Лейпунский А. И. Деление ядер. «Изв. АН СССР», сер. физ., 4, № 2, 1940. Библиогр. 13 назв.

51. Лейпунский А. И., Маслов В. А. К вопросу о делении ядер урана при захватке медленных нейтронов. ДАН СССР, нов. сер., 27, № 8, 1940.

52. Лейпунский А. И., Русинов Л. И. О поглощении нейтронов в серебре, кадмии и боре при различных температурах. «Изв. АН СССР», сер. физ., № 1—2, 1938.

53. Лейпунский А. И., Розенкевич Л., Тимошук Д. В. Рассеяние фотонейтронов протонами. ЖЭТФ, 6, вып. 10, 1936.

54. Вальтер А. К., Гришаев И. А., Еременко Е. В., Кондратенко В. В. Линейный ускоритель электронов на бегущей волне с энергией на выходе 2 ГэВ. В кн.: «Тр. международной конференции по ускорителям» (Дубна, 21—27 августа 1963 г.). М., Атомиздат, 1964.

55. Магнитные ловушки. (Движение заряженных частиц в магнитном поле). Отв. ред. К. Д. Синельников. Киев, «Наукова думка», 1968.

56. Материалы Совещания по физике атомного ядра (Харьков, 15—20 ноября 1939 г.). «Изв. АН СССР», сер. физ., 4, № 2, 1940.

57. Немец О. Ф., Пасечник М. В. Нейтронный спектрометр в диапазоне энергий 0,7—3 МэВ. В кн.: «Тр. АН УССР по мирному использованию атомной энергии». Киев, 1958.

58. Немец О. Ф., Пасечник М. В., Пучеров Н. Н. Изучение ядерных реакций на циклотроне Ин-та физики АН УССР. «Атомная энергия», 14, № 2, 1963. Библиогр. 50 назв.

59. Парасюк О. С. К теории причинных сингулярных функций. ДАН СССР, 100, № 4, 1955.

60. Парасюк О. С. Об одном обобщении теоремы Т. Родже. ДАН СССР, 147, № 3, 1962.

61. Пекар С. И. Теория сильной связи частицы (нуклона) с мезонным полем. ЖЭТФ, 27, вып. 4, 1954. Библиогр. 10 назв.

62. Пятигорский Л. М. Теория плазменного волновода. «Уч. зап. Харьк. ун-та», 49, 1953; «Тр. физ. отд. физ.-матем. факт.», т. 4.

63. Синельников К. Д., Иванов В. Е., Зеленский В. Ф. Применение магниево-бериллиевого сплава в качестве материала для ядерных реакторов. В кн.: «Ядерное горючее и реакторные металлы». М., 1959.

64. Синельников К. Д., Вальтер А. К. Взаимодействие медленных нейтронов с материей. «Научн. зап. Харьк. мех.-машиностроит. ин-та», 26, кн. 1, 1936.

65. Ситенко А. Г. О прохождении заряженной частицы через магнетик. ДАН СССР, 98, № 3, 1954.

66. Ситенко А. Г. Взаимодействие дейтронов с ядрами. УФН, 67, вып. 3, 1959. Библиогр. 125 назв.

67. Ситенко А. Г. Электромагнитные флуктуации в плазме. Изд-во Харьк. ун-та, 1965.

68. Ситенко А. Г., Кирочкин Ю. А. Рассеяние и трансформация волн в магнитоактивной плазме. УФН, 9, вып. 2, 1966. Библиогр. 41 назв.

69. Сб.: «Теория и расчет линейных ускорителей». М., Госатомиздат, 1962.

70. Файнберг Я. Б. Взаимодействие пучков заряженных частиц с плазмой. «Атомная энергия», 11, № 4, 1961. Библиогр. 75 назв.

71. Файнберг Я. Б. Ускорение частиц в плазме. «Атомная энергия», 6, вып. 4, 1959. Библиогр. 23 назв.

72. Сб. «Физика плазмы и проблемы управляемого термоядерного синтеза». Отв. ред. К. Д. Синельников. Вып. 1—4. Киев, Изд-во АН УССР.

73. Ломсадзе Ю. М. VI-ая Всесоюзная конференция по теории элементарных частиц. Ужгород, 14—23 октября 1965 г. УФН, 90, вып. 3, 1966.

74. Штрум Л. Я. К вопросу об устойчивости атомного ядра ЖРФХО, ч. физ., 58, вып. 4, 1926.

75. Сб. «Электростатические генераторы», под ред. А. К. Вальтера. М., Атомиздат, 1959.

### III. ФИЗИКА ТВЕРДЫХ ТЕЛ. ФИЗИКА МЕТАЛЛОВ, СПЛАВОВ И КРИСТАЛЛОВ

76. Азбель М. Я., Канер Э. А. К вопросу об экспериментальном изучении циклотронного резонанса в металлах. ЖЭТФ, 39, вып. 1, 1960.

77. Александров Б. Н., Веркин Б. И., Лазарев Б. Г. Получение чистых металлов методом многократной зонной перекристаллизации и применение радиоактивных изотопов для исследования механизма очистки металлов от примесей этим способом. В кн.: «Тр. сессии Академии наук УССР по мирному использованию атомной энергии». Киев, Изд-во АН УССР, 1958.

78. Боголюбов Н. Н., Зубарев Д. Н., Церковников Ю. А. К теории фазовых переходов. ДАН СССР, 117, № 5, 1957.

79. Боровик Е. С. Изменение сопротивления металлов в магнитном поле при низких температурах. ЖЭТФ, 23, вып. 1, 1952.

80. Броуде В. Л., Прихотько А. Ф., Рашба Э. И. Некоторые вопросы люминесценции кристаллов. УФН, 67, вып. 1, 1959.

81. Галкин А. А., Канер Э. А., Корольюк А. П. Исследование поглощения ультразвука металлами в магнитном поле. ЖЭТФ, 39, 6, 1960.

82. Гарбер Р. И., Гиндин И. А. Физика прочности кристаллических тел. УФН, 70, вып. 1, 1960.

83. Гарбер Р. И. Остаточные напряжения в пластически деформированных кристаллах каменной соли. ЖЭТФ, 8, вып. 6, 1938.

84. Гарбер Р. И., Гиндин И. А. Физические свойства металлов повышенной частоты. УФН, 74, вып. 1, 1961.

85. Гриднев В. Н. Основные вопросы металлофизики и металловедения. «Сб. научн. тр. Ин-та металлофизики АН УССР», № 8. Киев, Изд-во АН УССР, 1957.

86. Давыдов А. С. Теория спектров поглощения молекулярных кристаллов. ЖЭТФ, 18, вып. 2, 1948; ЖЭТФ, 20, вып. 8, 1950.

87. Давыдов А. С. Теория молекулярных экситонов. УФН, 82, вып. 3, 1964.

88. Данилов В. И. О роли нерастворимых примесей при кристаллизации жидкостей. «Сб. научн. работ Лаборатории металлофизики АН УССР», вып. 1, 1948.

89. Даниленко В. М., Смирнов А. А. Теория упорядочения ферромагнитных сплавов. «Сб. научн. работ Ин-та металлофизики АН УССР», № 17. Киев, Изд-во АН УССР, 1963.

90. Жмудский А. З. Высокодисперсионное рентгенографирование большой светосилы и структурность спектральных линий. Изд-во Киевск. ун-та, 1958.

91. Жмудский А. З. Природа рентгеновских спутников и структуры диаграммных линий. Изд-во Киевск. ун-та, 1966. Библиогр. 100 назв.

92. Сб. «Исследование электронных свойств металлов и сплавов». Отв. ред. В. Н. Свечников. Киев, «Наукова думка», 1967.

93. Сб. «Исследование несовершенств кристаллического строения». Отв. ред. В. Н. Свечников. Киев, «Наукова думка», 1965.

94. Конозенко И. Д. Физика тонких металлических и полупроводниковых слоев. Структура и электрические свойства металлов и полупроводников в тонких слоях. УФН, 52, вып. 4, 1954. Библиогр. 99 назв.

95. Косоногов И. И. О контактной разнице давлений внутри нормальных тел. ЖРФХО, ч. физ., 56, вып. 1, 1924.

96. Кривоглаз М. А. Теория диффузного рассеяния рентгеновских лучей и тепловых нейтронов твердыми растворами. 1. Микроскопическая теория. ЖЭТФ, 32, вып. 5, 1957; 2. Учет геометрических искажений решетки. ЖЭТФ, 34, вып. 1, 1958.

97. Кривоглаз М. А., Смирнов А. А. Теория упорядочивающихся сплавов. М., Физматгиз, 1958.

98. Лазарев Б. Г., Семененко Е. Е., Судовцев А. И. О критических магнитных полях сверхпроводящих бериллиевых пленок. ЖЭТФ, 45, вып. 2, 1963.

99. Ландау Л. Д., Компанец А. Электропроводность металлов. Харьков, Гос. научн.-техн. изд-во Украины, 1935.

100. Ландау Л. Д. Фазовые превращения. М., Изд-во АН СССР, 1937.

101. Ландау Л. Д., Померанчук И. Я. О свойствах металлов при очень низких температурах. ЖЭТФ, 7, вып. 3, 1937.

102. Лапинский П. Г. Об электропроводности некоторых соединений металлов. ЖРФХО, ч. физ., 62, вып. 2, 1930.

103. Лапинский П. Г. Современные теории металлической электропроводности. УФН, 7, вып. 1, 3—4, 1927. Библиогр. 65 назв.

104. Лифшиц И. М. О структуре энергетического спектра и квантовых состояний неупорядоченных конденсированных систем. УФН, 83, вып. 4, 1964.

105. Лифшиц И. М., Каганов М. И. Теория твердого тела. В кн.: «Развитие физики в СССР», ч. I. М., «Наука», 1967.

106. Лубченко А. Ф. Об оптических характеристиках молекулярных кристаллов в области экситонного поглощения. «Оптика и спектроскопия», 5, вып. 4, 1958.

107. Шубников Л. В., Хоткевич В. И., Шепелев Ю. Д., Рябинин Ю. Н. Магнитные свойства сверхпроводящих металлов и сплавов. ЖЭТФ, 7, вып. 2, 1937.

108. Малиновский А. Д. К вопросу о количестве движения электронов проводимости. Введение. Критический обзор работ, посвященных вопросу об инертности электрического тока. «Зап. Днепропетровск. ин-та нар. образ.», 2, 1928.

109. Моргулис Н. Д. Вторично-электронная эмиссия металлов при их бомбардировке электронами (обзор). УФН, 16, вып. 6, 1936. Библиогр. 28 назв.

110. Обреимов И. В., Прихотько А. Ф. Свечение и цвет кристаллов полициклических углеродов. В кн.: «Памяти Сергея Ивановича Вавилова». М., Изд-во АН СССР, 1952.

111. Пекар С. И. Исследования по электронной теории кристаллов. М.—Л., Гостехиздат, 1951. Библиогр. 73 назв.

112. Пинес Б. Я. Острофокусные рентгеновские трубки и прикладной рентгеноструктурный анализ. М., Гостехиздат, 1955.

113. Пинес Б. Я. Дифракция и механические свойства твердых тел. УФН, 66, вып. 3, 1958.

114. Рашба Э. И. Теория электронно-колебательных спектров молекулярных кристаллов. ЖЭТФ, 50, вып. 4, 1966.

115. Республиканское совещание по упорядочению атомов и его влиянию на свойства сплавов. 17—21 апреля 1962 г. (Киев). Материалы совещания. «Укр. физ. журн.», 8, № 2, 3, 1963.

116. Семинар по тугоплавким металлам, их соединениям и сплавам. (Киев, апрель 1963 г.). «Атомная энергия», 15, вып. 3, 1963.

117. Смирнов А. А. Молекулярно-кинетическая теория металлов. М., «Наука», 1966.

118. Смирнов А. А. Теория электросопротивления сплавов. Киев, Изд-во АН УССР, 1960. Библиогр. 98 назв.

119. Толпыго К. Б. Исследования по микротории кристаллов. «Изв. АН СССР», сер. физ., 21, № 1, 1957.

120. Сб. «Электронные свойства металлов и сплавов». Отв. ред. В. Н. Свечников. Киев, «Наукова думка», 1966.

#### IV. ФИЗИКА ПОЛУПРОВОДНИКОВ И ДИЭЛЕКТРИКОВ

121. Алексеева В. И., Гуляев Ю. В. II Всесоюзное совещание по фотоэлектрическим и оптическим явлениям в полупроводниках (Львов, 28 октября — 3 ноября 1961 г.) «Радиотехника и электроника», 7, вып. 4, 1962.

122. Борзяк П. Г. К оптическим и фотоэлектрическим свойствам пленок сурьмяно-цезиевых соединений. В кн.: «Сборник трудов по технической физике». М., Изд-во АН СССР, 1948.

123. Борзяк П. Г. Седьмое совещание по свойствам полупроводников (Киев, 14—21 октября 1950 г.). «Тр. Ин-та физики АН УССР», вып. 2. Киев, Изд-во АН УССР, 1952.

124. Брауде С. Я. К вопросу о действии магнитного поля на пространственный заряд в плоском и цилиндрическом диодах. ЖЭТФ, вып. 3, 1940.

125. Вальтер А. К., Курчатов И. В., Синельников К. Д. Исследование диэлектрической постоянной сегнетовой соли при коротких электрических импульсах. ЖТФ, 1, вып. 2—3, 1931.

126. Галкин А. А., Лазарев Б. Г. О детекторных свойствах полупроводников. ДАН СССР, 49, № 4, 1948.

127. Глауберман А. Е., Стасюк И. В. III совещание по теории полупроводников (Львов, 2—9 апреля 1959 г.). УФН, 71, вып. 1, 1960.

128. Дейген М. Ф., Дыкман И. М., Толпыго К. Б. Всесоюзное совещание по теории полупроводников (Киев, 9—13 октября 1956 г.). ЖТФ, 27, вып. 7, 1957.

129. Карханина Н. Я. Технология полупроводниковых материалов. Киев, Гостехиздат, УССР, 1961.

130. Конференция по электрическим свойствам твердых диэлектриков в Харькове (15—19 марта 1931 г.). ЖТФ, 1, вып. 2—3, 1931.

131. Корсуновский Г. А. Поверхностные явления на полупроводниках (II Всесоюзное совещание. Львов, 28 октября—3 ноября 1961 г.). «Кинетика и катализ», 3, № 2, 1962.

132. Кравченко А. Ф. Структура и термоэлектрические свойства закисы меди. Отв. ред. А. Е. Глауберман. Львов, 1957.

133. Курчатov И. В., Синельников К. Д. Твердые или вентильные фотоэлементы. ЖТФ, 1, вып. 7, 1931.

134. Лашкарев В. Е. Фотоэлектродвижущие силы в полупроводниках. «Изв. АН СССР», сер. физ., 16, № 1, 1952.

135. Лашкарев В. Е., Экспресс-метод измерения термоэлектрических характеристик полупроводников. «Приборы и техника эксперимента», № 4, 1963.

136. Лашкарев В. Е., Косоногова К. М. Фотоэлектродвижущие силы и закисы меди. ЖЭТФ, 18, вып. 10, 1948.

137. Литовченко В. Г., Ляшенко В. И. Исследование свойств поверхности германия при различных температурах. 1. Амплитудная характеристика. 2. Кинетика процессов. ФТТ, 3, вып. 1, 1961.

138. Материалы Всесоюзной конференции по физике диэлектриков (Днепропетровск, 18—28 августа 1956 г.). «Изв. АН УССР», сер. физ., № 3, 4, 1958.

139. Мищенко М. Т. Строение, механизм образования закисы меди и ее электрические свойства. Львов, 1959.

139а. Пекар С. И. Некоторые вопросы теории полупроводников и диэлектриков и пути дальнейшего развития теории. УФН, 60, вып. 2, 1956.

140. Сб. «Полупроводниковая техника и микроэлектроника». Отв. ред. В. Е. Лашкарев. Киев, «Наукова думка», 1966.

141. Рашба Э. И. Комбинированный резонанс в полупроводниках. УФН, 84, вып. 4, 1964.

142. Рашба Э. И., Спитко О. В., Толпыго К. Б. I Всесоюзное совещание по фотоэлектрическим и оптическим явлениям в полупроводниках (Киев, 20—26 ноября 1957 г.). ЖТФ, 28, вып. 12, 1958.

143. Самойлович А. Г., Коренблит Л. Л. Современное состояние теории термоэлектрических и термомагнитных явлений в полупроводниках, ч. 1. Термодинамическая теория. УФН, 49, вып. 2, 1953; ч. 2. Кинетическая теория. УФН, 49, вып. 3, 1953.

144. Синельников К. Д., Шкляревский И. Н., Скоробогатов Б. С. Определение оптических постоянных германия. «Уч. зап. Харьк. ун-та», 64; 1955; «Тр. физ. отд.», 6.

145. Синельников К. Д. Фотоэлектрические свойства селена. ЖТФ, 1, вып. 7, 1931.

146. Толпыго К. Б. Об уравнениях переноса в теории полупроводников. «Тр. Ин-та физики АН УССР», вып. 3, 1952.

147. Федорус Г. А., Трофименко А. П., Александров В. Г. Сернисто-кадмиевые фотоспротивления типа ФСК-М-1 и ФСК-М-2. Ин-т физики АН УССР, Киев, 1955.

148. Фотоэлектрические и оптические явления в полупроводниках. «Тр. первого всесоюзного совещания». Киев, 20—26 ноября 1957 г. Отв. ред. В. Е. Лашкарев. Киев, Изд-во АН УССР, 1959.

149. Электронные явления на поверхности полупроводников. Под ред. В. И. Ляшенко. Киев, «Наукова думка», 1968.

150. Сб. «Электрические и оптические свойства диэлектриков». Под ред. М. М. Некрасова. Киев, 1966.

## V. РАДИОФИЗИКА, ЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРИЧЕСТВО И МАГНЕТИЗМ

151. Ахизер А. И. и Файнберг Я. Б. Медленные электромагнитные волны. УФН, 44, вып. 3, 1951. Библиогр. 31 назв.

152. Борзяк П. Г. О природе фотоэффекта серебряно-кислородно-цезиевого фотокатода. «Тр. Ин-та физики АН УССР», вып. 4, 1953.

153. Борисов М. Б., Браиловский В. П., Лейпунский А. И. Первичная ионизация быстрыми электронами. (Доклад на Ученом совете Украинского физико-технического института 9 января 1937 г.). ДАН СССР, 21, № 3, 1938.

154. Брауде С. Я., Комаров Н. Н., Островский И. Е. О статистическом характере рассеяния сантиметровых радиоволн взволнованной поверхности моря. «Радиотехника и электроника», 3, вып. 1, 1958.

155. Брауде С. Я. О распределении рассеивающих элементов при распространении радиоволн над взволнованной поверхностью моря. «Изв. высш. учебн. заведений», радиофизика, 1, № 1, 1953.

156. Брауде С. Я., Канер Э. А. Флюктуации радиоволн различной частоты в тропосфере. «Изв. высш. учебн. заведений», радиофизика, 5, № 2, 1962.
157. Брауде С. Я., Слуцкий А. А. К вопросу об изменении мощности магнетронных генераторов, работающих в диапазоне волн порядка одного метра. ЖТФ, 7, № 5, 1937.
158. Габович М. Д. Плазменные источники ионов. Киев, «Наукова думка», 1964.
159. Гаврилюк В. М. Совещание по катодной электронике (Киев, 25—29 ноября 1955 г.). УФН, 59, вып. 2, 1956.
160. Галкин А. А., Кичигин Д. А., Мацаков Л. Я. Использование ядерного и электронного резонансов для измерения длин микроволнового диапазона. В кн.: «Тр. сессии АН УССР по мирному использованию атомной энергии». Киев, Изд-во АН УССР, 1958.
161. Ганапольский Е. М., Чернец А. Н. О возбуждении гиперзвука в кварце. ЖЭТФ, 42, вып. 1, 1962.
162. Ганапольский Е. М., Чернец А. Н. Поглощение гиперзвука в кристаллах кварца и рубина. ЖЭТФ, 51, вып. 2, 1966.
163. Глушко М. Т., Страшкевич А. М. Поля электронно-оптических систем, состоящих из сферических или цилиндрических поверхностей с отверстиями. ЖТФ, 11, вып. 3, 1941.
164. Дыкман И. М. Совещание по катодной электронике. (Киев, 4—9 июня 1952 г.). ЖТФ, 22, вып. 1, 1952.
165. Зинченко Н. С., Усиков А. Я. Отражение радиоволн миллиметрового диапазона от слоя снега. «Изв. высш. учебн. заведений», радиофизика, 3, № 4, 1960.
166. Квантовая электроника. «Тр. Республиканского семинара по квантовой электронике». Отв. ред. М. П. Лисица. Киев, «Наукова думка», 1966.
167. Латышев Г. Д., Лейпунский А. И. Удары второго рода между электронами и возбужденными атомами ртути. ЖРФХО, ч. физ., 62, № 2, 1930.
168. Малиновский А. Е. Ионизация во взрывной волне. «Изв. Екатеринбург. горн. ин-та», 14, ч. 2, 1924.
169. Материалы XI Всесоюзного совещания по катодной электронике (Киев, 11—18 ноября 1963 г.). «Изв. АН СССР», сер. физ., 28, № 8, 1964.
170. Материалы Всесоюзных совещаний по электронной микроскопии в г. Сумы (IV, 12—14 марта 1963 г.). «Изв. АН СССР», сер. физ., 27, № 9, 1963; (V, 6—8 июля 1965 г.). «Изв. АН СССР», сер. физ., 30, № 5, 1966.
171. Моргулис Н. Д. Некоторые итоги и задачи исследований в области катодной электроники. «Изв. АН СССР», сер. физ., 20, № 9, 1956.
172. Моргулис Н. Д. Современные термоэлектронные катоды. УФН, 53, вып. 4, 1954.
173. Моргулис Н. Д., Марчук П. М. Термоэлектронный разряд в парах цезия и его выпрямительное действие. ЖТФ, 19, вып. 1, 1949.
174. Калмыков А. И., Островский М. Е., Розенберг А. Д., Фукс И. М. Обратное рассеяние сантиметровых радиоволн взволнованной поверхностью моря при малых углах скольжения. «Изв. высш. учебн. завед.», радиофизика, 9, № 6, 1966.
175. Вышинский Н. А., Копилович Е. А., Леляков П. П., Слуцкий А. А., Усиков А. А. Получение электромагнитных колебаний с длиной волны менее 50 см при помощи магнетронов с разрезанным анодом. ЖТФ, 5, № 5, 1935.
176. Рожанский Д. А. Физические основания современной радиотехники. «Наука на Украине», № 3, 1922.
177. Слуцкий А. А., Штейнберг Д. С. Получение колебаний в катодных лампах при помощи магнитного поля. ЖРФХО, ч. физ., 58, вып. 2, 1926.
178. Слуцкий А. А. Теория магнетронного генератора с разрезанным анодом. ЖТФ, 5, вып. 4, 1935.
179. Страшкевич А. М. Электронная оптика электростатических систем. М.—Л., «Энергия», 1966. Библиогр. 143 назв.
180. Толок В. Г., Волков Я. Ф. и Синельников К. Д. Исследование безэлектронного разряда в магнитной ловушке с дополнительным азимутальным магнитным полем. ЖТФ, 31, вып. 2, 1961.
181. Усиков О. Я. Импульсный генератор управляемой частоты. ЖТФ, 7, вып. 9, 1937.
182. Фукс И. М. К теории рассеяния радиоволн над взволнованной поверхностью моря. «Изв. высш. учебн. заведений», радиофизика, 9, № 5, 1966.

## VI. МОЛЕКУЛЯРНАЯ ФИЗИКА. ФИЗИКА НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

183. Боголюбов Н. Н. О некоторых статистических методах в математической физике. Киев, Изд-во АН УССР, 1945.

184. Боголюбов Н. Н. Кинетические уравнения. ЖЭТФ, 16, вып. 6, 1946.
185. Боголюбов Н. Н. К теории сверхпроводящего состояния. «Научн. доклады высш. школы», физ.-мат. науки, № 1, 1958.
186. Боголюбов Н. Н., Толмачев В. В., Ширков Д. В. Новый метод в теории сверхпроводимости. М., Изд-во АН СССР, 1958.
187. Боровик Е. С., Лазарев Б. Г., Михайлов И. Ф. Водородный конденсационный насос с автономным ожигителем. «Атомная энергия», 7, вып. 2, 1959.
188. Боровик Е. С., Гришин С. Ф., Лазарев Б. Г. О предельном вакууме конденсационных насосов. «Приборы и техника эксперимента», № 1, 1960.
189. Галкин А. А. О критических частотах сверхпроводников. «Уч. зап. Харьк. ун-та», 64, 1955; «Тр. физ. отд.», 6.
190. Глауберман А. Е. Современное состояние и некоторые проблемы молекулярной теории растворов электролитов. В кн.: «Термодинамика и строение растворов». М., Изд-во АН СССР, 1959.
191. Голик А. З. Строение и свойства вещества в жидком состоянии. «Тр. Ин-та физики АН УССР», вып. 6, 1955.
192. Голик А. З. Критическая точка. УФН, 23, вып. 1, 1940.
193. Данилов В. И.; Скрышевский А. Ф. О применении интегрального анализа кривых интенсивности к исследованию строения жидкостей. «Сб. научн. работ. Лаборатории металлофизики АН УССР», № 3, 1952.
194. Данилов В. И. Строение и кристаллизация жидкостей. Избранные статьи Под ред. Г. В. Курдюмова. Киев, 1956.
195. Казавчинский Я. З. Использование пластических представлений в новой системе обоснования второго закона термодинамики, ИФЖ, 7, № 3, 1964.
196. Кикоин И. К., Лазарев Б. Г. О явлениях сверхпроводимости (обзор). ЖТФ, 3, вып. 2—3, 1933.
197. Ключарев А. П., Есельсон Б. Н. и Вальтер А. К. Изучение реакции  $\text{He}^3$  с дейтронами. ДАН СССР, 109, № 4, 1956.
198. Лазарев Б. Г., Федорова М. Ф. Вакуумный адсорбционный насос большой производительности. ЖТФ, 30, вып. 7, 1960.
199. Лазарев Б. Г. Развитие исследований по физике низких температур на Украине. «Укр. физ. журн.», 12, № 11, 1967.
200. Лазарев Б. Г., Есельсон Б. Н. Прибор для получения температур ниже  $0,8^\circ\text{K}$ . ЖЭТФ, 12, вып. 11—12, 1942.
201. Лазарев Б. Г., Галкин А. А., Хоткевич В. И. Некоторые исследования сверхпроводимости при радиочастотах. ДАН СССР, 55, 1947.
202. Ландау Л. Д. К теории сверхпроводимости. ЖЭТФ, 7, вып. 3, 1937.
203. Ландау Л. Д. Теоретические представления о сверхпроводимости. «Изв. АН СССР», сер. физ., № 3, 1937.
204. Материалы сессии физич. группы Академии наук СССР, посвященной вопросам низких температур 23—24 января 1937 г. Изв. АН СССР, сер. физ., № 3, 1937.
205. Синельников К. Д., Вальтер А. К., Гуменюк В. С., Тарасов А. Я. Некоторые приемы вакуумной техники. ЖТФ, 8, № 21, 1938.
206. Обреимов И. В., Прихотько А. Ф. Интерферометр для работы при низких температурах. «Изв. АН СССР», сер. физ. 14, № 4, 1950.
207. Прихотько А. Ф. Спектр поглощения твердого кислорода в далекой красной области. ЖЭТФ, 7, вып. 8, 1937.
208. Пятое совещание по физике жидкого состояния вещества (Киев, сентябрь, 1961 г.). «Укр. физ. журн.», 7, № 7, 8, 1962.
209. Радченко И. В., Шестаковский Ф. К. Модельное изучение жидкого состояния. В кн.: «Строение и физическое свойство вещества в жидком состоянии». Изд-во Киевск. ун-та, 1954.
210. Рощина Г. П., Равикович С. Д., Скрышевский А. Ф. Совещание по жидкому состоянию вещества (Киев, 28—30 мая 1953 г.). УФН, 51, вып. 3, 1953.
211. Рощина Г. П., Рындич Н. А., Шиманский Ю. И. Совещание по жидкому состоянию вещества (Киев, 30 мая—3 июня 1955 г.). УФН, 58, вып. 4, 1956.
212. Безуглый П. А., Еременко В. В., Кукушкин Л. С., Кулик И. О., Манжелей В. Г., Пересада В. И., Песчанский В. Г., Попов В. А., Шишкин Л. А. Совещание по физике конденсированного состояния. (Харьков, 11—15 мая 1965 г.). УФН, 88, вып. 2, 1966.
213. Федосеев В. А. Кинетика испарения капель жидкости. (К 75-летию открытия фундаментального закона кинетики испарения русским акад. Срезневским). «Тр. Одесск. ун-та», сер. физ.-матем. наук, вып. 7, 150, 1960.
214. Синельников К. Д., Вальтер А. К. и др. Функционирующие вакуумные насосы. ЖТФ, 11, вып. 10, 1941.
215. Швец А. Д. Использование жидкого  $\text{He}^3$  для получения температур до  $0,3^\circ\text{K}$  (обзор). «Приборы и техника эксперимента», № 6, 1965.
216. Шестое Всесоюзное совещание по физике жидкого состояния вещества (Киев, 1963). Материалы конференции. «Укр. физ. журн.», 9, № 5, 1964.

## VII. ОПТИКА. СПЕКТРОСКОПИЯ

217. Бронштейн М. Об одном следствии гипотезы световых квантов. ЖРФХО, ч. физ., 57, вып. 3—4, 1925.
218. Давыдов А. С. К вопросу о миграции энергии в молекулярных кристаллах. В кн.: «Памяти Сергея Ивановича Вавилова». М., Изд-во АН СССР, 1962.
219. Данилов В. И. Рассеяние рентгеновых лучей в жидкостях и строение жидкости. В кн.: «Строение и физические свойства вещества в жидком состоянии». Изд-во Киевск. ун-та, 1954.
220. Кириллов Е. А. Адсорбция света цветами окраски в галоидном серебре. «Успехи научн. фотографии», 1, 1951.
221. Кириллов Е. А. К вопросу о центрах адсорбции в фотохимическом окрашенно-галоидном серебре. «Изв. АН СССР», сер. физ., 14, № 4, 1950.
222. Кириллов Е. А. О спектрах поглощения галоидного серебра и тонких серебряных слоев. ЖТФ, 25, вып. 12, 1955.
223. Кириллов Е. А. О фотоэлектропроводности бромистого серебра в слоях зернистой структуры. ЖРФХО, 58, ч. физ. № 1, 1926.
224. Конозенко И. Д. Полупроводниковые болометры. УФН, 56, вып. 2, 1955.
225. Конозенко И. Д. Современные болометры (обзор). ЖТФ, 20, вып. 6, 1950.
226. Кондиленко И. И., Коротков П. А., Стрижевский В. Л. Об интенсивностях линий комбинационного рассеяния света. «Оптика и спектроскопия», 9, вып. 1, 1960.
227. Мальнев А. Ф., Есельсон М. П., Кременчугский Л. С. Основные принципы регистрации спектров в инфракрасных спектрофотометрах (обзор). «Приборы и техника эксперимента», № 1, 1958. Библиогр. 195 назв.
228. Материалы совещания по светосильным источникам монохроматического излучения (Харьков, 24—26 января 1952 г.). «Изв. АН СССР», сер. физ. 16, № 3, 1952.
229. Материалы V совещания по рентгеновской спектроскопии. (Харьков, 30 января — 4 февраля 1961 г.). «Изв. АН СССР», сер. физ., 25, № 8, 1967.
230. Материалы VI совещания по рентгеноспектроскопии (Одесса, 2—10 июля 1962 г.). «Изв. АН СССР», сер. физ., 27, № 3, 6, 1963.
231. Материалы X Всесоюзного совещания по спектроскопии (Львов, 4—14 июля 1956 г.). В кн. «Физ. сборник». Отв. ред. Г. С. Ландсберг. Изд-во Львовск. ун-та, т. 1. Молекулярная спектроскопия, 1957; т. 2. Атомная спектроскопия, 1959.
232. Наследов Д. Н., Шаравский П. В. К вопросу о зависимости интенсивности рентгеновских спектральных линий от напряжения. ЖРФХО, ч. физ., 59, вып. 3—4, 1927.
233. Россихин В. С., Цикора И. Л. Запорожское совещание по спектроскопии и ее применениям (10—14 июля 1962 г.). «Оптика и спектроскопия», 13, вып. 5, 1962.
234. Рощина Г. П. Молекулярное рассеяние света в газах. Изд-во Киевск. ун-та, 1962.
235. Скрышевский А. Ф. Дифракция рентгеновских лучей, электронов и нейтронов в газах и строение молекул. Изд-во Киевск. ун-та, 1961.

# ПЕРСОНАЛИИ

*М. Н. СВИРИДОНОВ*

## РАЗВИТИЕ ПОНЯТИЯ ЭНТРОПИИ В РАБОТАХ Т. А. АФАНАСЬЕВОЙ-ЭРЕНФЕСТ

Как известно, середина XIX столетия знаменуется фундаментальными исследованиями в области термодинамики. Именно в этот период было установлено первое начало термодинамики, а второе начало приобрело современную формулировку и наряду с первым получило математическое выражение.

В 1854 г. Клаузиус ввел понятие энтропии и писал о нем в дальнейшем следующим образом: «Если в некотором обратимом круговом процессе мы разделим каждый поглощаемый изменяющимся телом (положительный или отрицательный) элемент количества теплоты на абсолютную температуру поглощения и полученное таким образом дифференциальное выражение проинтегрируем для всего кругового процесса, то значение интеграла равняется нулю» [1]. Для необратимых круговых процессов  $\oint \frac{dQ}{T} < 0$  [2, 3]. Распространение второго закона термодинамики на необратимые процессы было завершающим шагом в установлении основ термодинамики.

Отношение к этой только что возникшей области физических наук было противоречивым. Если первое начало термодинамики после того как был признан закон сохранения энергии не встречало возражений и вполне гармонировало с принятыми общими взглядами на природу, то иначе отнеслись физики ко второму началу, особенно в связи с распространением его на необратимые процессы — новый закон утверждал неизвестную до сих пор односторонность протекания всех реальных процессов.

Естественно, что вследствие этого второе начало термодинамики, распространенное на необратимые процессы, не могло не встретить возражений ряда физиков. Это видно, например, из слов Хвольсона: «Для обратимых круговых процессов интеграл несомненно равен нулю, но не существует общего строгого доказательства того, что для необратимых круговых процессов интеграл всегда должен быть отрицательным. По этому вопросу существует обширная литература, из которой укажем только интересную статью Carvallo (1899). Совершенно строго доказано, что интеграл  $\oint \frac{dQ}{T}$  не может быть больше



нуля. Во многих сочинениях можно найти доказательства того, что при необратимых процессах этот интеграл должен быть меньше нуля, но эти доказательства не представляются убедительными» [4].

В докладе на съезде естествоиспытателей в 1901 г. В. А. Михельсон говорил: «Живо вспоминается мне первое после смерти Клаузиуса заседание Берлинского физического общества в 1889 г., на котором мне пришлось присутствовать в качестве гостя. В речи, посвященной научным заслугам Клаузиуса, Гельмгольц особенно подчеркнул, что почти исключительно Клаузиусу мы обязаны тем, что знаем о втором законе термодинамики, но тут же добавил, что все же мы должны сознаться, что, несмотря на исследования Клаузиуса, мы еще очень далеки от полного понимания этого закона» [5].

Таким образом, ряд важных вопросов, касающихся самых основных положений термодинамики, все еще оставался нерешенным до конца. Это относилось прежде всего к фундаментальной проблеме обоснования принципа возрастания энтропии. Действительно, классическое обоснование понятия энтропии, сформулированное в работах Клаузиуса [6] и Томсона [7], не могло считаться достаточно совершенным и исчерпывающим. Принципиальным недостатком этих работ было то, что понятие энтропии формулировалось лишь как непосредственное обобщение опыта. При этом не была достаточно исследована связь общей математической формулировки понятия энтропии с основными свойствами таких термодинамических величин, как количество теплоты, температура и т. п.

Как впервые показал выдающийся австрийский физик Больцман [8] и несколько позже русский физик Пирогов [9, 10, 11], наиболее глубокий и всесторонний анализ, а также точные границы применимости понятия энтропии могут быть получены лишь на основании статистического метода. Статистическая трактовка понятия энтропии подорвала представление о незыблемости принципа возрастания энтропии. Если учесть, что понятие необратимости во многих формулировках определения энтропии рассматривали как сущность второго начала, то статистическая трактовка понятия необратимости должна была вызвать известную настороженность к содержанию принципа возрастания энтропии.

Исторически в процессе обоснования второго начала Клаузиус не различал принцип существования энтропии и принцип возрастания энтропии (понятие необратимости). Развитие специальных применений второго начала значительно опередило ту работу, которую необходимо было провести над теоретическими и логическими основами понятия энтропии. Клаузиус сформулировал понятие энтропии для квазистатических и нестатических процессов в виде одного принципа. Дальнейшие исследования показали, что утверждение о существовании интегрирующего множителя для  $dQ$  и утверждение о неуклонном возрастании энтропии при реальных адиабатических процессах не являются тождественными и для полного понимания второго начала их необходимо расчленить.

Возражения против классического обоснования понятия энтропии, данного Клаузиусом, а затем и статистического толкования энтропии, проведенного Больцманом, можно разбить на три группы.

Во-первых, это возражения, связанные с негативным отношением к физическому содержанию принципа, вызванные главным образом ошибочным его пониманием (Рэнкин, Гирн, Тэт, Эттинген, Пикте и др.). Исторически эти возражения не сыграли никакой роли в развитии понятия энтропии и были сравнительно легко преодолены.

Во-вторых, это возражения, связанные с критическим анализом исходных посылок и методов доказательства (Пирогов, Шиллер, Каратеодори, Афанасьева-Эренфест и др.). Исторически эти возражения сыграли важную роль в установлении аксиоматического обоснования понятия энтропии.

В-третьих, это возражения, связанные со скептическим отношением к теории Больцмана и даже ее отрицанием (Цермело, Пуанкаре, Оствальд, Мах, Лешмидт, Барбэри, Бриллюен, Липпманн и др.). Критический анализ  $H$ -теоремы Больцмана способствовал развитию исторического процесса раскрытия статистического смысла понятия энтропии, уяснению наиболее глубоких идей Больцмана, составивших фундамент его статистической теории.

Наличие большого числа формулировок, многочисленные попытки по-новому изложить второе начало, дискуссии о самом его содержании указывали на внутреннюю неудовлетворенность его логическим построением, а возможно, и самим его содержанием.

Важная роль в решении этих вопросов принадлежит Афанасьевой-Эренфест. Развитие статистических и аксиоматических представлений и применение их для объяснения понятия энтропии составляют центральную проблему всего научного творчества Афанасьевой-Эренфест, поставившей перед собой задачу найти логическое обоснование второго начала, понятия энтропии, принципа ее возрастания.

С 1906 г. начали публиковаться работы Афанасьевой-Эренфест [12, 13, 14, 15, 16], написанные совместно с П. Эренфестом, в которых развивались идеи Больцмана о статистическом характере понятия энтропии. В работе «К вопросу о кинетическом толковании необратимых процессов» [17] она пишет: «Л. Больцман своей знаменитой  $H$ -теоремой дал математическую формулировку этому кинетическому толкованию (принципу возрастания энтропии — М. С.) и притом такую, которая, по крайней мере в принципе, охватывает все необходимые процессы материальных тел. Однако, когда, благодаря математической формулировке, точно были выяснены принципы кинетического толкования необратимых процессов, обнаружились непреодолимые, по-видимому, трудности. Это в самом же начале вызвало полемику, которую до сих пор нельзя считать законченной, так как до последнего времени одни из критиков<sup>1</sup> продолжали относиться к теории Больцмана скептически или даже вполне отрицательно, другие же вполне с нею соглашались, но при этом, в сущности, только обходили упомянутые трудности, не разрешая их вполне отчетливо. Между тем вся постановка вопроса является чрезвычайно интересной и притом не только с физической, но и с чисто логической точки зрения... Таким образом, мы совершенно оставим в стороне физическую сторону вопроса и займемся исключительно логической его разработкой».

Напомнив вывод функции  $H$  на весьма простом примере, Афанасьева-Эренфест отмечает, что истинные данные, определяющие механическое состояние системы (координаты и скорости каждой молекулы), заменяются наивероятнейшими. В результате для  $\delta H$  получается существенное отрицательное выражение, свидетельствующее о неуклонном стремлении величины  $H$  к некоторому минимальному значению. Это последнее достигается при некотором определенном, так называемом максвелловском распределении скоростей, при котором  $\delta H$  становится равным нулю. Это составляет сущность  $H$ -теоремы Больцмана.

<sup>1</sup> В их числе Афанасьева-Эренфест называет имена Цермело, Пуанкаре, Оствальда, Маха, Барбэри, Бриллюена, Липпмана и др.

Затем Афанасьева-Эренфест формулирует несколько понятий, таких, как фаза системы, фаза скоростей, фаза, сопряженная данной, механическая обратимая система и др. Функция  $H$  вполне определяется фазой системы. Однако одно и то же значение  $H$  отвечает, вообще говоря, многим различным фазам. Так, например,  $H$  не изменится, если две молекулы обменяются ролями. Величина  $H$  не изменится, если данная фаза перейдет в сопряженную. Из этих замечаний вытекают два важных следствия:

а) если функция  $H$  при некотором движении системы убывает, то при обратном движении она возрастает;

б) если некоторое движение приводит систему к первоначальной фазе или, по крайней мере, к фазе, близкой к первоначальной, и если при этом  $H$  не остается все время постоянной, то, несомненно, часть движения протекает с возрастанием  $H$ .

Теперь нетрудно сформулировать те два возражения против  $H$ -теоремы, которые с логической точки зрения играют наиболее существенную роль. Первое принадлежит Лошмидту [18] и заключается в том, что всякая система, силы которой зависят только от конфигурации (и не зависят, например, от скоростей), есть механически обратимая система. Кинетическая теория газов в самых общих случаях оперирует с силами, зависящими только от конфигурации. Поэтому всякая модель Больцмана представляет обратимую систему.

$H$ -теорема претендует доказать односторонность всякого движения механической системы, состоящей из достаточно большого числа молекул, и поэтому всякое ограничение начальных условий лишает ее той общности, при которой она только и может иметь значение для физики. Поэтому она обнимает как прямые, так и обратные движения. А этому противоречит замечание а).

Второе возражение принадлежит Цермело [19]. Цермело ссылается на теорему Пуанкаре, по которой система, удовлетворяющая некоторым условиям (силы ее должны иметь потенциал, состоящие ее вполне определяются конечным числом координат и скоростей, а координаты и скорости каждого ее элемента — заключены между конечными пределами), может совершать только или периодическое или квазипериодическое движение, т. е. или она через конечные промежутки времени возвращается к тем самым фазам, которые она прошла, или через достаточно долгий, но конечный промежуток времени она подойдет к ним сколь угодно близко. Так как всякая модель Больцмана удовлетворяет названным условиям, то к ней теорема Пуанкаре вполне применима. А этому противоречит замечание б).

Таким образом, Лошмидт указал, что всегда можно вообразить такие движения любой данной системы, которые противоречат  $H$ -теореме, а Цермело — что всякое движение системы в некоторой значительной части противоречит ей.

Больцману [20] удалось показать на одном простом примере, взятом из области чистой теории вероятностей, что логически последовательное применение теории вероятностей нисколько не противоречит результату Цермело: функция, в своих изменениях следующая законам теории вероятностей, необходимо должна от времени до времени возвращаться к каждому, принятому уже один раз, значению, потому что вероятность таких значений отлична от нуля. Вместе с тем, Больцман разъяснил, что  $H$ -теорема дает формулу для изменения  $H$ , которая, очевидно, не может быть верна во всякий момент времени, так как она не принимает в расчет всех возможных значений для числа ударов молекул, но которая, однако, является наивероятнейшей, т. е. оправды-

вается «подавляюще часто», так как эта формула получается при подстановке наиболее вероятного числа ударов. Таким образом, новая формулировка  $H$ -теоремы одновременно приписывает функции  $H$  два свойства: квазипериодичности и преимущественного убывания.

С первого взгляда эти два свойства кажутся несовместимыми. В самом деле, представим себе кривую, графически представляющую  $H$ , как функцию времени. Если ордината  $H$  от времени до времени возвращается к прежним значениям, то она должна попеременно убывать и возрастать и у кривой будет столько же восходящих, сколько нисходящих склонов, и неясно, каким образом может на ней обнаружиться преимущественное убывание. Если начать с того, что кривая преимущественно опускается, то невозможным кажется, чтобы редкие и незначительные уклонения от наиболее вероятного закона изменения функции могли снова привести ее к тому значению, от которого она так много и часто отклонялась в сторону убывания.

Рассматривая пример из чистой теории вероятностей, Афанасьева-Эренфест показывает, что оба названных свойства представляют логические следствия из одних и тех же оснований теории вероятностей и находит функцию, которая явно совмещает оба эти свойства — квазипериодичности и преимущественного убывания.

Здесь Афанасьева-Эренфест использует и обобщает идею Больцмана, высказанную им против критиков  $H$ -теоремы<sup>2</sup>. Она рассматривает опыт с  $N$  шарами, пронумерованными от 1 до  $N$ :  $n$  из этих шаров лежат в урне  $A$ , а остальные  $N - n$  в урне  $B$ . Кроме того, таким же числом пронумерованных билетов наполняется ящик. Далее из этого ящика вынимается билет и сейчас же кладется обратно. При этом шар с номером, равным номеру вынутого билета, перекалывается из одной урны в другую.

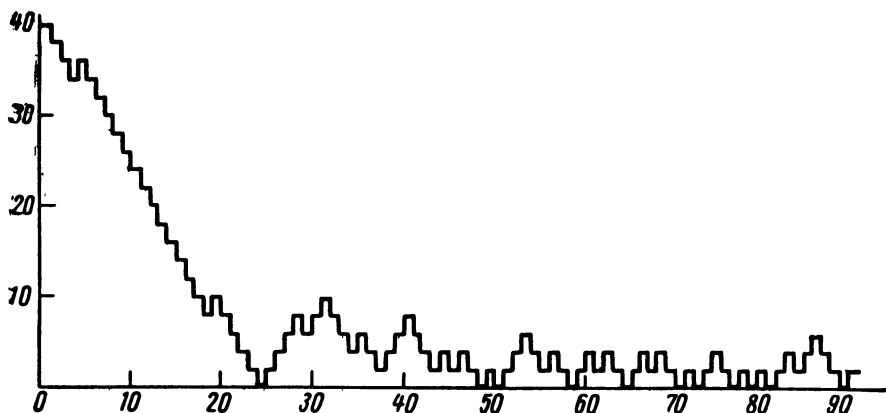


Рис. 1.

Если мы построим график, такой, что по оси абсцисс будем откладывать число испытаний, а по оси ординат разность

$$\Delta = |n - (N - n)| = |2n - N|,$$

то получим кривую, аналогичную  $H$ -кривой Больцмана. Кривая будет иметь ступенчатый характер, причем на достаточно большом удалении от начала кривой, чем выше будет ступенька, тем реже она будет

<sup>2</sup> См. L. Boltzmann, Wissenschaftliche Abhandlungen. В. III, S. 533, а также Б. И. Спасский. История физики, ч. II. Изд-во МГУ, 1964, стр. 72.

встречаться (рис. 1). В результате указанных обстоятельств более вероятным будет попасть на максимум кривой, нежели пересечь ее восходящую либо нисходящую часть, т. е. на точку данной кривой, после которой она идет в направлении уравнивания числа шаров в обеих урнах.

Следовательно, будет выполняться два условия. Во-первых, односторонность течения процессов наиболее вероятна, а во-вторых, квазипериодичность данного процесса, т. е. повторяемость во-времени любого из расположения шаров в урнах, в том числе и начального.

Таким образом, Афанасьева-Эренфест, развивая идеи Больцмана, показывает, что изменение функции  $H$ , зависящей от процесса, подчинено исключительно законам теории вероятностей, и доказала, что если и есть в теории Больцмана какие-либо внутренние логические противоречия, то они не обнаружены ни Лошмидтом, ни Цермело.

В основе кинетической теории газов лежат два принципа, которые нередко считаются противоречащими друг другу. С одной стороны, допущение детерминизма явлений внутри газа (газ рассматривается как система очень большого числа абсолютно упругих молекул, движущихся по законам классической механики). Согласно этому предположению, состояние газа, предоставленного самому себе, вполне определено для любого момента времени его начальным состоянием, т. е. положением и скоростями всех его частиц в какой-нибудь один определенный момент. С другой стороны, применение формул, заимствованных из теории вероятностей.

Часто высказывалось убеждение, что о теории вероятностей имеет смысл говорить только при наличии элемента случайности. Такое убеждение поддерживалось и самими авторами работ по кинетической теории газов, которые, введя какую-нибудь формулу из теории вероятностей, полагали сходство явлений внутри газа с так называемыми случайными явлениями, с которыми оперирует теория вероятностей. В своей крайней форме это положение выражалось так: теория вероятностей может оправдываться только там, где нет полного знания. При этом такую субъективную неспособность точно предсказать, как будет проходить явление, смешивали с отсутствием детерминизма.

Принципиальный шаг в разработке этого вопроса был сделан Афанасьевой-Эренфест в работах «On a misconception in the probability theory of irreversible processes», «On the use of the notion probability in the physics», «К вопросу о применении теории вероятностей к закономерным явлениям» [21, 22, 23], а также в работах Пуанкаре [24] и Смолуховского [25]. В последней из указанных работ она пишет: «Нелогичностью комбинации детерминизма с теорией вероятностей многие склонны объяснить противоречия, возникающие при развитии кинетической теории газов... Представляется поэтому желательным выяснить принципиально роль и права теории вероятностей в применении к закономерным явлениям, а также значение, которое при этом имеет элемент «случайности» [23].

Афанасьева-Эренфест рассматривает пример из кинетической теории газов, придуманный П. С. Эренфестом [15]. Изложим его вкратце.

Представим себе бесконечную плоскость и на ней бесчисленное множество равных между собой квадратов, на которые мы налагаем следующие условия: они укреплены в плоскости неподвижно; они все совершенно одинаково ориентированы, а именно у всех диагонали направлены горизонтально и вертикально; они распределены по всей плоскости беспорядочно, однако так, что на каждую достаточно большую единицу плоскости приходится их более или менее поровну.

В той же плоскости представим себе очень большое, но конечное число материальных точек — «молекул», которые могут свободно двигаться по всей плоскости, за исключением тех пространств, которые лежат внутри названных квадратов, при встрече с одной из сторон квадрата они претерпевают абсолютно упругий удар и, кроме этого, никакие другие силы на них не действуют и друг для друга они непроницаемы. Положим, что в некоторый момент молекулы занимают совершенно произвольные места в плоскости и имеют все одну и ту же скорость  $c$ , а направление как раз параллельно одной из диагоналей квадратов. Для большей определенности скажем, что все молекулы двигаются слева направо.

Если определенная таким образом механическая система при указанных начальных условиях будет предоставлена самой себе, то через некоторый промежуток времени  $\delta t$  некоторые из молекул успеют удариться о квадраты, вследствие чего изменят свое направление и начнут двигаться благодаря выбранной ориентировке квадратов или снизу вверх, или сверху вниз. Через некоторое время часть из этих молекул снова ударится о квадраты и при этом начнет двигаться или справа налево, или слева направо. Следовательно, в нашей системе появятся четыре различных направления движения. Будем называть молекулами 1 типа, которые двигаются слева направо; 2 типа — те, которые двигаются снизу вверх; 3 типа — сверху вниз; 4 типа — справа налево. Других типов ни при каком продолжении движения (благодаря выбранным начальным условиям) в этой системе появиться не может. Обозначим число молекул 1, 2, 3, 4 типов в некоторый момент соответственно  $f_1, f_2, f_3, f_4$ . Эти числа будут с течением времени изменяться.

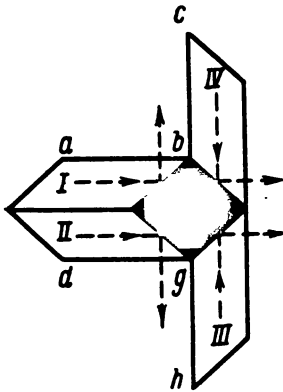


Рис. 2.  
 $ab = bc = dg = gh = cd$

Число  $f_1$  изменяется вследствие четырех различных категорий ударов: к первой категории отнесем удары, переводящие молекулы 1 типа в молекулы 2 типа; ко второй категории — удары, переводящие молекулы 1 типа в молекулы 3 типа; к третьей категории — удары, переводящие молекулы 2 типа в молекулы 1 типа; к четвертой категории — удары, переводящие молекулы 3 типа в молекулы 1 типа.

Первые две категории ударов уменьшают число  $f_1$  (и увеличивают числа  $f_2$  и  $f_3$ ); вторые две категории увеличивают число  $f_1$  (и уменьшают числа  $f_2$  и  $f_3$ ).

Рассмотрим теперь, сколько ударов названных категорий произойдет в течение  $\delta t$  о квадрат  $A$ . Удары первой категории дадут все те молекулы 1 типа, которые в начале промежутка времени  $\delta t$  лежат внутри параллелограмма I, основание которого  $ab$  равняется произведению скорости молекул  $c$  на величину  $\delta t$  (рис. 2).

Удары второй категории дадут молекулы 1 типа, лежащие в первый момент внутри параллелограмма II, у которого основание  $dg = c \cdot \delta t$ . Удары третьей категории дадут молекулы 2 типа, лежащие внутри параллелограмма III, у которого основание  $gh = c \cdot \delta t$ , наконец, удары четвертой категории дадут все молекулы 3 типа, лежащие внутри параллелограмма IV, основание которого  $bc = c \cdot \delta t$ .

Для дальнейших выводов, очевидно, необходимо знать числа всех

таких молекул и притом для всех квадратов. Поэтому предполагается, что результат будет достаточно точным, если вместо истинного распределения молекул в плоскости брать наимвероятнейшее, а именно такое, что  $N_{Ii}$ , число молекул  $i$  типа, приходящееся на все параллелограммы вида I, относится к общему числу  $f_i$  молекул этого типа, как полная площадь этих параллелограммов ко всей свободной для молекул площади, т. е.  $N_{Ii} = k \cdot \delta t \cdot f_i$  ( $i = 1, 2, 3, 4$ ).

Точно так же

$$N_{III} = k' \delta t \cdot f_i,$$

$$N_{III} = k'' \delta t \cdot f_i,$$

$$N_{IVi} = k''' \delta t \cdot f_i,$$

где  $k \delta t$ ,  $k' \delta t$ ,  $k'' \delta t$ ,  $k''' \delta t$  — отношения площадей параллелограммов вида I, II, III, IV ко всей свободной для молекул площади. Так как площади всех параллелограммов равны между собой, то и числа  $k$ ,  $k'$ ,  $k''$ ,  $k'''$  равны. Поэтому числа ударов первой и третьей категории относятся, как  $f_1 : f_2$ .

Применяя подобные рассуждения и к остальным категориям ударов, можно написать

$$\delta f_1 = -k \delta t f_1 - k \delta t f_1 + k \delta t f_2 + k \delta t f_3,$$

где  $\delta f_1$  есть изменение числа  $f_1$  за время  $\delta t$ , а во второй части равенства: первый член представляет полное число ударов первой категории, второй член — очевидно, равный первому — число ударов второй категории, третий и четвертый члены — полные числа ударов третьей и четвертой категорий за этот промежуток времени. Итак,

$$\delta f_1 = -k \delta t (f_1 - f_2) - k \delta t (f_1 - f_3),$$

—  $k \delta t (f_1 - f_2)$  есть результат обмена молекул между 1 и 2 типами. Такой же член, только с обратным знаком, войдет в выражение  $\delta f_2$ .

Если  $f_1 > f_2$ , то этот обмен молекул будет содействовать уменьшению числа  $f_1$  и увеличению  $f_2$ ; если было бы  $f_1 < f_2$ , то он оказывал бы обратное действие; если  $f_1 = f_2$ , он вовсе не влияет на числа  $f_1$  и  $f_2$ .

Так как эти рассуждения одинаково применимы к молекулам всех возможных типов, то ясно, что, во-первых, пока какие-нибудь из чисел  $f_i$  неравны между собой, удары молекул о квадраты будут производить изменение этих чисел и притом в одном определенном направлении, в направлении выравнивания этих чисел. Во-вторых, когда все четыре числа  $f_i$  сделаются равными между собой, дальнейший процесс не будет их изменять. Таким образом, описанная механическая схема дает пример необратимого процесса. Афанасьева-Эренфест рассматривает последовательность, в которой происходят удары молекул, движущихся по различным направлениям, независимо от того, через какие промежутки времени следуют они друг за другом. При этом удары любой из молекул считаются событиями равновероятными. Предполагается еще, что никогда в один и тот же момент не ударяется более одной молекулы, но что два последовательных удара могут сколь угодно близко следовать друг за другом. Тогда удары молекул будут не только равновероятными, но и исключаящими друг друга событиями. В этом случае можно говорить о вероятностях удара молекул каждого из четырех типов. Они будут, очевидно, пропорциональны числам  $f_1$ ,  $f_2$ ,  $f_3$ ,  $f_4$ .

Афанасьева-Эренфест рассматривает один удар как событие пер-

вого порядка. Тогда *гипотезой первого порядка* будет предположение, что ударится одна из тех молекул, которые принадлежат к наиболее многочисленному типу; как событие второго порядка с индексом  $n_1$  рассматривается ряд  $n_1$  ударов, причем индекс  $n_1$  считается настолько малым, чтобы все эти  $n_1$  ударов не слишком заметно изменили числа  $f_i$ . *Гипотезой второго порядка* будет предположение, что в этом ряду из  $n_1$  ударов будут встречаться удары всех четырех типов и притом в отношении чисел  $f_1 : f_2 : f_3 : f_4$ .

Таким образом, согласно Афанасьевой-Эренфест, неизменное выполнение гипотезы второго порядка лежит в основе теории газа, находящегося в равновесии (вычисление давления, вывод уравнения газа и т. п.), а также в основе теории стационарных процессов (теплопроводность, внутреннее трение). На нем же основана *H-теорема* Больцмана, толкующая второе начало термодинамики в применении к газу, как выражение автоматического результата движения и столкновений молекул. При этом второе начало термодинамики получает своеобразный вид: возрастание энтропии ограниченного замкнутого и предоставленного самому себе газа приходится признать, с этой точки зрения, не неизменно действующим законом, а только фактом, вероятность которого весьма велика. Это означает, если энтропия газа принимает какое-либо определенное значение, то в огромном большинстве таких случаев она после этого возрастает, но иногда, хотя и очень редко, от того же значения она должна убывать.

При применении гипотезы о выполнении *наивероятнейшего* к такого рода конкретным примерам самое исследуемое явление определяет и порядок гипотезы, и соответствующий индекс, а также и допустимую погрешность. Ограничиваясь неизменным применением гипотезы одного определенного порядка, мы этим самым предполагаем своего рода закономерность со стороны изучаемого явления. Согласно Афанасьевой-Эренфест, из этого следует: «1) фактическое применение теории вероятностей в физике заключается в неизменном принятии гипотезы какого-нибудь порядка; 2) такое применение несколько не противоречит гипотезе о закономерности изучаемого явления; 3) то, что таким образом делают физики, вполне заслуживает названия «применение теории вероятностей», так как «применению теории вероятностей нельзя придать никакого другого содержания».

Таким образом, Афанасьева-Эренфест логически показала, что применение теории вероятностей в статистическом обосновании понятия энтропии несколько не противоречит принципу детерминизма. Правда, это развитие выражается прежде всего в том, что на основе теории вероятностей в физике выработались представления о новом классе закономерностей — о статистических закономерностях. Статистические закономерности охватывают более широкий круг явлений, чем исторически предшествующие им динамические закономерности. Необходимости, которые лежат в основе статистических закономерностей, представлены распределениями вероятностей. В саму формулировку этих необходимостей впервые включена объективная случайность.

Признание атомистической гипотезы и вместе с ней применимости статистических методов для построения молекулярно-кинетических теорий, объясняющих термодинамические закономерности, привело к необходимости подвести итог развитию новой области физических наук — статистической физики. Эту задачу в известной степени выполнили П. и Т. Эренфесты в обзоре «Об основных статистических представлениях в механике» [15], написанном в 1911 г. Они провели анализ основных понятий и методов статистической физики и определили круг проблем,



стоящих перед ней. Одной из основных принципиальных проблем этой области физических наук было строгое обоснование самой возможности применения метода статистических ансамблей, разработанного Максвеллом и Больцманом, а также и Гиббсом, к реальным механическим системам, состоящим из огромного числа частиц. Выдающийся советский физик А. Ф. Иоффе, близко связанный в свое время с П. С. Эренфестом, пишет: «Мы обязаны (Эренфесту.—М. С.) ему физическим пониманием *H*-теоремы Больцмана... и многих других принципиальных основ современной физики. До сих пор лучшим изложением статистической физики является статья в Энциклопедии математических наук, написанная П. С. Эренфестом вместе с его женой Т. А. Афанасьевой-Эренфест» [26]. Эта оценка крупнейшего физика относится и к Афанасьевой-Эренфест, которой в равной мере мы обязаны физическим пониманием *H*-теоремы Больцмана и многих других принципиальных вопросов статистической физики.

Одним из самых замечательных результатов, полученных в исследованиях Афанасьевой-Эренфест, следует считать вывод, что второе начало можно обосновать, прибегая только к аксиомам, проверяемым экспериментально. Мы уже отмечали, что исторически в процессе обоснования второго начала Клаузиус не различал принцип существования энтропии и принцип возрастания энтропии. Однако исследования показали логическую независимость двух утверждений, составляющих второе начало: утверждения о существовании энтропии и утверждения о ее возрастании. В 1925 г. Афанасьева-Эренфест сделала крупный шаг в аксиоматизации понятия энтропии, исходя именно из такого разграничения утверждения о существовании интегрирующего множителя для выражения  $dQ$  и утверждения о неуклонном возрастании энтропии в реальных адиабатических процессах.

В статье «Необратимость, односторонность и второе начало термодинамики», отмечая повторяющиеся попытки как-то по-новому изложить понятие энтропии, она пишет: «С одной стороны, причина неудовлетворенности та, что кинетическое толкование термодинамических явлений заставляет сомневаться в неуклонной справедливости закона возрастания энтропии — закона, который многими выставляется, как самая сущность второго начала. Но, с другой стороны, неясность ощущается и внутри самой классической термодинамики. Одно и то же начало представляется в двух совершенно различных обликах: 1) как утверждение существования интегрирующего множителя для известного выражения  $dQ$  и 2) как утверждение о неуклонном возрастании энтропии при реальных адиабатических процессах. Представляется трудным уместить в одно отчетливое обозримое поле зрения эти оба положения и схватить логическое тождество второго начала и принципа возрастания энтропии» [29].

Афанасьева-Эренфест показывает, «что такое тождество совершенно напрасно пытаются устанавливать: его нет и не может быть по самому существу дела, а слияние вышеуказанных положений в сознании физиков в одно «второе начало» произошло исторически в процессе искания» [29].

Таким образом, Афанасьева-Эренфест полагает, что не существует логического тождества второго начала и принципа возрастания энтропии. Доказательства второго начала в ряде ее работ [27, 28, 29] основаны на аксиоматическом методе.

Сначала Афанасьева-Эренфест вводит строгие определения обратимого и необратимого процессов, количества тепла, адиабатического процесса, адиабатически изолированной системы и других понятий.

Она заменяет термин обратимый процесс термином квазистатический (термин Каратеодори) или квазипроцесс (термин Афанасьевой), а процесс, обычно называемый «необратимым», называет нестатическим, так как его необратимость является проблемой, подлежащей исследованию. Необратимость такого рода процессов есть предмет обсуждения, поэтому определение нестатических процессов как «необратимых» привело бы к неясности изложения. Если система переходит из одного состояния в другое так, что мы можем оба состояния считать состояниями равновесия, то такой переход и будет квазистатическим. Равновесие определяется значениями некоторых «параметров состояния»  $x_1, x_2, \dots, x_n$ . Квазистатический процесс состоит из бесконечно малых переходов от состояния, определяемого параметрами  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , к состоянию, определяемому параметрами  $x_1 + dx_1, x_2 + dx_2, \dots, x_n + dx_n$ . Реальные процессы нестатические — это последовательности неравновесных состояний.

Количество тепла  $dQ$ , получаемое системой и равной сумме бесконечно малого изменения  $dU$  внутренней энергии системы и работы  $dA$ , совершаемой системой над какими-нибудь внешними системами, определяется начальными значениями параметров  $x_1, x_2, \dots, x_n$  и их изменениями  $dx_1, dx_2, \dots, dx_n$ . Если обозначить через  $Y_1, Y_2, \dots, Y_n$  функции параметров  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , определяемые структурой системы, то можно написать

$$dQ = Y_1 dx_1 + Y_2 dx_2 + \dots + Y_n dx_n. \quad (1)$$

Афанасьева-Эренфест не строит аксиоматику теплового обмена, отмечая, что ценные шаги в направлении обоснования понятия «количества тепла» и «температуры» сделаны Каратеодори. Но Каратеодори подходит к ним со стороны нестатических процессов. Афанасьева-Эренфест утверждает о возможности обоснования всей термодинамики квазистатических процессов и всех понятий, входящих в нее, не прибегая к нестатическим процессам. Это обстоятельство, по мнению Афанасьева-Эренфест, представляется ценным ввиду того, что и содержание второго начала становится понятным только после отделения термодинамики квазистатических процессов от термодинамики нестатических процессов. В ее работах обобщено понятие адиабатического процесса на такие случаи, когда отдельные части данной системы вступают в тепловой обмен с внешними системами, но так, что при этом

$$dQ = dQ_1 + dQ_2 + \dots + dQ_k = 0, \quad (2)$$

где

$$dQ_j (j = 1, 2, 3, \dots, k) \neq 0.$$

Изложив вопрос о голономности и неголономности уравнения

$$Z_1 dx_1 + Z_2 dx_2 + \dots + Z_n dx_n = 0 \quad (3)$$

и отметив, что при голономности уравнения для всякой данной системы значений параметров  $x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1$  существует бесконечное множество систем недостижимых из нее, Афанасьева-Эренфест пишет: «Каратеодори показал, что и обратное заключение справедливо: если вблизи данной системы значений  $(x_1^1, x_2^1, \dots, x_n^1)$  существуют такие системы  $(x_1^{(2)}, x_2^{(2)}, \dots, x_n^{(2)})$ , которые недостижимы из нее при помощи уравнения (3), то это уравнение голономно... это предложение является существенной основой второго начала, так как при его помощи легко свести к одной единственной аксиоме тот замечательный факт, что уравнение  $dQ = C$

голономно для всякой физической системы» [29]. Из одного факта голономности Каратеодори [30, 31] выводит затем и то, что интегрирующим делителем выражения  $dQ$  является именно абсолютная температура  $T$ . Планк же, наоборот, не останавливается на проблеме существования интегрирующего делителя  $T$ . Он вычисляет выражение  $\frac{dQ}{T}$  для идеального газа, показывает, что оно является полным дифференциалом, и затем переходит от идеального газа к другим системам.

Планка интересует возрастание энтропии; в этом для него основное содержание второго начала термодинамики [32]. Афанасьева-Эренфест же доказывает, что существование интегрирующего делителя предстает собой особую проблему, независимую от необратимости изменений энтропии. В свою очередь возрастание энтропии не может быть выведено из ее существования, т. е. из существования интегрирующего делителя для выражения  $dQ$  через  $dx_1, dx_2, \dots, dx_n$ .

Разграничивая две стороны проблемы и чтобы окончательно распутать нити, сплетающие существование энтропии с необратимостью, Афанасьева-Эренфест вводит четыре аксиомы.

**Аксиома I (энтропия).** Если на бесконечно малом пути, соединяющем два бесконечно близкие состояния термически однородной системы,  $dQ \neq 0$ , то между этими состояниями невозможен никакой обходный чисто адиабатический квазистатический путь.

В этой аксиоме словами «термически однородной системы» Афанасьева-Эренфест подчеркивает голономность уравнения

$$dQ = Y_1 dx_1 + Y_2 dx_2 + \dots + Y_n dx_n.$$

Этими словами подчеркивается, что структура системы такова, что все части системы в каждый момент процесса имеют одну и ту же температуру. Из этой аксиомы вытекает и существование интегрирующего делителя, и неравенство его абсолютной температуре, и существование энтропии.

**Аксиома II (тепловой связи).** Существует только одна форма равновесной тепловой связи — это связь при равных температурах.

Эта аксиома отражает ту особенность тепловой энергии, о которую, между прочим, и разбиваются механические аналогии, что равновесный тепловой обмен, т. е. обмен на квазистатическом пути, возможен только при равных температурах системы и резервуара тепла.

**Аксиома III (однозначности энтропии).** Интеграл  $\oint \frac{dQ}{T}$ , взятый по замкнутому пути, всегда равен нулю.

Без этой аксиомы можно было бы при помощи периодически действующей машины получать работу из тепловой энергии, пользуясь одним только резервуаром тепла.

**Аксиома IV (температуры).** Интегрирующий делитель  $f(\tau)$  выражения  $dQ$  при всех значениях  $\tau$  имеет один и тот же знак.

Из этих четырех аксиом вытекает постулат Клаузиуса, которому можно дать следующие четыре эквивалентных формулировки:

а) невозможно во всяком квазистатическом круговом процессе превращения тепла в работу без того, чтобы некоторое количество тепла не перешло от тела более нагретого к телу менее нагретому;

б) невозможен перенос тепла от тела менее нагретого к телу более нагретому без того, чтобы соответствующее количество работы не было превращено в тепловую энергию;

в) невозможно превращение работы в тепло без того, чтобы соответствующее количество тепла не было перенесено от тела менее нагретого к телу более нагретому;

г) невозможен перенос тепла от тела более нагретого к телу менее нагретому, чтобы соответствующее количество тепла не было превращено в работу.

Четыре формулировки составляют содержание второго начала для квазистатических процессов. Совокупность всех четырех формулировок Афанасьева-Эренфест называет «вторым началом для квазистатических процессов».

Из определения второго начала, примененного к квазистатическим процессам, вытекает, что:

1) нельзя довести КПД до единицы, если только абсолютную температуру одного резервуара не доводить до нуля;

2) с наибольшим КПД из всех машин, работающих при одних и тех же условиях, работает та, которая совершает цикл Карно;

3) при определенных крайних температурах этого процесса нельзя повысить КПД, варьируя выбор системы, и для всех систем КПД будет иметь одно и то же значение.

Таким образом, вся совокупность аксиом имеет значение и в тех областях, где играет роль максимальность КПД. Но достижение максимального КПД встречает препятствие в том обстоятельстве, что реальные процессы дают иные результаты, нежели процессы квазистатические. Поэтому получаем, что невозможно довести максимум КПД до единицы даже при квазистатическом процессе и невозможно достигнуть при реальном процессе того максимума КПД, который допускается процессами квазистатическими.

Затем Афанасьева-Эренфест рассматривает неголономные системы. Два состояния идеального газа,  $A$  и  $B$ , соответствующие одной и той же температуре  $T$  и двум различным объемам  $V_1$  и  $V_2$ ,  $V_2 > V_1$ , как известно, не могут адиабатически квазистатическим путем быть переведены друг в друга. Существует, однако, другого рода способ адиабатически перевести газ из  $A$  в  $B$ : это путь нестатический — расширение газа в пустоту.

Будем называть «элементарной необратимостью» то обстоятельство, что этот нестатический путь не может быть пройден в обратном порядке. И будем называть «необратимостью второго рода» то обстоятельство, что не существует никакого обходного адиабатического пути для перехода газа из  $B$  в  $A$ . Элементарная необратимость и необратимость второго рода — два условия, существенно различные между собой и приводящие к существенно различным результатам. Вследствие того, что во всех обычных рассуждениях о втором начале они объединяются в одно общее условие, результаты, из них вытекающие, сливаются в сознание физиков в один общий результат и кажутся логически связанными друг с другом. Между тем, та «необратимость», вместе с которой, по словам Планка, «стоит и падает вся термодинамика» [32], есть только необратимость второго рода, да и ее следует сузить до квазистатической адиабатической недостижимости, игнорируя вопрос о том, возможен ли нестатический адиабатический переход системы из состояния  $B$  в  $A$ .

Действительно, все уравнения термодинамики, которые и составляют главное ее содержание, основаны помимо уравнения (1) еще на том, что это уравнение голономно. Это же обстоятельство, как видно из хода доказательства Каратеодори [30, 31], основано на одной только квазистатической адиабатической недостижимости между  $A$  и  $B$ .

Функции  $Y_i$  зависят только от параметров системы, определяющих ее состояние равновесия, и сами представляют физические величины, характеризующие данную систему в состоянии равновесия. Если бы и был найден нестатический переход системы из  $B$  в  $A$ , если бы элементарная необратимость каких-либо нестатических процессов была обнаружена, это не изменило бы структуры коэффициентов  $Y_i$  и, следовательно, не нарушило бы голономности уравнения (1). С другой стороны, знание того, что прямой процесс — нестатический переход от  $A$  в  $B$  — возможен, тоже ничего не прибавляет к нашей уверенности в существовании интегрирующего делителя.

Если система построена так, что при сохранении равновесия различные ее части могут иметь неравные температуры, то для такой системы  $dQ$  может и не иметь интегрирующего множителя. Например, два идеальных газа различной теплоемкости  $C_1$  и  $C_2$ , взятые каждый в количестве одной грамм-молекулы, отделены друг от друга не пропускающим тепла поршнем. Для такой системы

$$\begin{aligned} dQ &= dQ_1 + dQ_2 = C_1 dT_1 + C_2 dT_2 + p dv_1 + p dv_2 = \\ &= (C_1 + R) dT_1 + (C_2 + R) dT_2 - \frac{R}{p} (T_1 + T_2) dp. \end{aligned}$$

Для голономности уравнения

$$Z_1 dx_1 + Z_2 dx_2 + \dots + Z_n dx_n = 0$$

необходимо, чтобы выполнялось равенство

$$Z_\alpha \left( \frac{\partial Z_\beta}{\partial x_\gamma} - \frac{\partial Z_\gamma}{\partial x_\beta} \right) + Z_\beta \left( \frac{\partial Z_\gamma}{\partial x_\alpha} - \frac{\partial Z_\alpha}{\partial x_\gamma} \right) + Z_\gamma \left( \frac{\partial Z_\alpha}{\partial x_\beta} - \frac{\partial Z_\beta}{\partial x_\alpha} \right) = 0.$$

Следовательно,

$$(C_1 + R) \frac{R}{p} - (C_2 + R) \frac{R}{p} = \frac{R}{p} (C_1 - C_2),$$

при  $C_1 \neq C_2$

$$\frac{R}{p} (C_1 - C_2) \neq 0.$$

И, следовательно,  $dQ$  не имеет интегрирующего множителя. Системы такого рода неголономны и для них не существует адиабатической недостижимости. А это означает, что такую систему можно (при постоянном выполнении равенства  $dQ=0$ ) перевести из каждого данного состояния, вообще говоря, в любое другое состояние.

Таким образом, при нестатическом процессе всякая система превращается в неголономную систему, вследствие чего она может из состояния одной энтропии перейти в состояние другой энтропии чисто адиабатическим путем (и притом без обмена теплотами с внешним миром). В этом случае возможны такие нестатические круговые процессы, где происходит превращение отличных от нуля количеств тепловой энергии и работы друг в друга при пользовании одним-единственным резервуаром тепла постоянной температуры. Второе начало, выраженное в постулате Клаузиуса, очевидно, не сохраняет силы. Это замечание бросает совсем иной свет на значение нестатических процессов в теории второго начала, чем тот, в котором принято их представлять: нестатические процессы не только не обуславливают второго начала,

по крайней мере, поскольку оно нашло себе выражение в постулате Клаузиуса, а, напротив, даже угрожает его основам.

Уравнение (1) представляет обратимый процесс, правда, нереальный, но могущий быть приближенно представлен как такими реальными процессами, которые совершаются в одном направлении, так и такими, которые совершаются в обратном направлении. Уравнение (1) сохраняет смысл при одновременном изменении знаков у всех  $dx_n$  и  $dQ$ . Точно так же уравнение

$$dQ = \sum_k dQ_k = \sum_k (Y_1^k dx_1 + Y_2^k dx_2 + \dots + Y_n^k dx_n)$$

не нарушается, если у всех дифференциалов и  $dQ$  изменить знаки, т. е. нестатические процессы вполне мыслимы в обоих направлениях.

Необратимость нестатических процессов есть не что иное, как упомянутая выше «элементарная необратимость» реальных процессов. Она является особым понятием, независимым от тех, к которым удаётся свести второе начало для квазистатических процессов, и отличным от понятия нестатичности процесса. В порядке аксиоматического изложения понятие необратимости должно быть, следовательно, установлено особыми аксиомами, и притом не одной, а двумя: аксиомой  $\alpha$ , запрещающей обратимость какого либо нестатического процесса, и аксиомой  $\beta$ , определяющей его направление. Отчетливое разделение этих двух аксиом позволяет рассматривать разные мыслимые типы элементарной необратимости. Афанасьева-Эренфест рассматривает аксиому  $\beta_1$  и  $\beta_2$ . Последствием аксиомы  $\beta_1$  является нарушение двух последних из четырех формулировок второго начала и сохранение двух первых; последствием аксиомы  $\beta_2$  является нарушение двух первых формулировок и сохранение последних. Что касается аксиомы  $\alpha$ , то она обеспечивает возможность распространить второе начало и на нестатические процессы.

Принято считать, что односторонность всей совокупности реальных процессов, т. е. процесс, совершаемый вселенной, тесно связана со вторым началом или даже является наиболее существенным его выражением. Такое мнение, однако, неправильно, поскольку существование энтропии зависит от одной только «необратимости второго рода», возрастание же энтропии обусловлено «элементарной необратимостью». Условием для заключения Клаузиуса «энтропия вселенной стремится к максимуму», последствием которого действительно является односторонность, служит «элементарная необратимость». Элементарная необратимость (т. е.  $\alpha$  и  $\beta_1$ , или  $\alpha$  и  $\beta_2$  аксиомы) сама по себе уже обеспечивает односторонность всякого процесса в изолированной, сколь угодно сложной системе. Но указанное предположение нельзя объявлять доказанным во всей его общности, тем более, что можно дать пример такого процесса, который должен быть односторонним независимо от существования энтропии: это всякий процесс, который приводит к выравниванию параметров в соприкасающихся соответственным образом частях системы; при наличии аксиом необратимости  $\alpha$  и  $\beta_1$  такой процесс дальше идти не может, а следовательно, и не приведет систему к первоначальному состоянию.

По мнению Афанасьевой-Эренфест, для полного доказательства этого положения следовало бы показать, что всякое начальное состояние системы, представляющее нарушенное равновесие, приводит, в конце концов, к равновесному состоянию.

Согласно Афанасьевой-Эренфест получается такая схема логической зависимости между рассмотренными положениями: «Необрати-

мость второго рода» — существование энтропии. Необратимость элементарная — односторонность реальных процессов. Необратимость второго рода плюс необратимость элементарная — неуклонное возрастание или неуклонное убывание энтропии» [29].

При наличии необратимости второго рода разность энтропий является естественной мерой отклонения данного состояния от определенного «начального состояния». При отсутствии необратимости второго рода мы такой меры, связанной с выражением  $dQ$ , не имеем, но тем не менее при настоящем развитии физики это не может составлять предмета серьезной заботы, так как в существовании энтропии нет основания сомневаться.

В другом положении находится вопрос о возрастании энтропии.

Известно, что больцмановская «функция  $H$ », рассматриваемая для состояний равновесия данной системы как функция макроскопических параметров, обладает как раз теми свойствами, какими обладает энтропия (взятая с обратным знаком): ее дифференциал удовлетворяет уравнению  $TdH = -dQ$ , причем  $dQ$  определяется уравнением  $dQ = dU + dA$ , и при необратимых процессах согласно теореме Больцмана она изменяется в одном только направлении. Однако, как показал анализ понятий, проведенный Афанасьевой-Эренфест в своих работах [14, 15, 16, 17, 23], предпосылки теоремы Больцмана не могут выполняться неуклонно, так что в течение бесконечного времени должны наступать периоды, когда функция  $H$  данной системы будет изменяться и в обратном направлении. Таким образом, второе свойство функции  $H$ , которое должно было обеспечить ей полное сходство с энтропией классической термодинамики, оказывается присущим функции  $H$  не в полной мере.

Это обстоятельство как будто делает функцию  $H$  непригодной для интерпретации энтропии и (что еще хуже) как будто делает всю кинетическую теорию непригодной для интерпретации термодинамических явлений, ибо анализ основ кинетической теории, приведший к критике  $H$ -теоремы, показывает, что, приняв кинетическую теорию, мы должны отказаться от неуклонной необратимости физических явлений вообще. Для тех, кто вместе с Планком считает, что с понятием необратимости «стоит и падает» вся термодинамика, эти результаты являются угрозой классической термодинамике или даже кинетической теории. Однако мы считаем, что анализ, проведенный Афанасьевой-Эренфест, освобождает нас от такого насилия над собственной логикой, потому что все уравнения термодинамики держатся на аксиоме I (энтропия) и не нарушаются, если аксиома  $\alpha$  будет совсем нарушена или же аксиома  $\beta_1$  заменена аксиомой  $\beta_2$ .

Не впадая в противоречие с основами кинетической теории, можно признать, что функция  $H$ , взятая с обратным знаком, всегда представляет энтропию, что всегда параметры равновесия могут быть интерпретированы как известные статистические средние известных микроскопических параметров, рассматриваемых в кинетической теории; наконец, что уравнения термодинамики всегда будут выполняться, когда только будут осуществляться состояния статистического равновесия каких-нибудь частей системы.

Неравенства же, утверждаемые классической термодинамикой, будут оправдываться только в некоторые эпохи.

Таким образом, разграничивая две стороны проблемы, Афанасьева-Эренфест показывает логическую зависимость между различными положениями классической термодинамики и между положениями термодинамики и кинетической теории. Она вводит понятия элементарной

необратимости и необратимости второго рода. Элементарная необратимость — это необратимость реальных, нестатических процессов. Но она не совпадает с самим понятием нестатичности и выводится из двух аксиом: одной, запрещающей обратимость нестатического процесса, и другой, определяющей его направление. Необратимость второго рода выводится из свойств квазистатического процесса и соответствующих аксиом. От нее зависит существование энтропии. Возрастание же последней (содержание понятия необратимости) зависит от элементарной необратимости, определяющей односторонность реальных процессов.

Исторические корни серии физических исследований первой четверти XX в., направленных на аксиоматизацию понятия необратимости, не сводятся к внутренним запросам термодинамики, кинетической теории газов и статистической механики. Разумеется, возросшее разнообразие и вместе с тем общность термодинамических задач требовали упорядочения основ учения о понятии необратимости. Но эти требования далеко не определяли направления и темпа исследований в области обоснования понятия необратимости. Направление и темп во многом зависели от общего развития математических методов и физических идей в начале столетия. Тенденция аксиоматизации понятия необратимости была частью общей тенденции, охватившей физику и математику.

Аксиоматизация понятия необратимости опиралась на развитие абстрактных геометрий. Выше, излагая физические идеи Афанасьевой-Эренфест, мы не касались этой стороны дела. Она была весьма существенной. Понятие необратимости процессов теплообмена может быть представлено вообще в виде определенных геометрических допущений. Если представить понятие необратимости в виде таких геометрических соотношений, то термодинамика может использовать результаты, полученные при разработке абстрактных геометрий. Эта разработка исторически была связана с применением геометрических образов в физике, в частности идеями Гиббса, положившего начало широкой геометризации классической термодинамики.

Афанасьева-Эренфест и другие физики, пользовавшиеся в первые три десятилетия XX в. геометрическими образами для аксиоматизации второго начала термодинамики, значительно обобщили и расширили понятие необратимости. Но еще большее обобщение и расширение этого понятия произошло в середине XX в. под влиянием новых запросов науки и практики. Если в первой четверти нашего столетия сравнительно быстро развивалась аксиоматизация второго начала термодинамики, то для тридцатых и сороковых годов характерно появление физических и математических идей, связанных с дальнейшим обобщением второго начала. Перечисленные выше попытки аксиоматизации были направлены на получение минимального числа наиболее общих непротиворечивых постулатов, объясняющих необратимый переход тепла от более нагретого тела к менее нагретому, необходимость компенсирующего процесса в случае подобного перехода, невозможность вечного двигателя второго рода. Теперь очередные общие проблемы понятия необратимости состояли в применении понятия равновесия ко вселенной [33, 34, 35], как целому, в обобщении понятия необратимости для всех процессов, при которых неопределенность событий, заданных своими вероятностями, переходит в достоверность в результате испытаний, в создании термодинамики необратимых процессов как общей теории реальных (происходящих с конечной скоростью) процессов в природе.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Clausius R. Ann. Phys. **93**, 488, 1854.
2. Clausius R. Ann. Phys., **116**, 74, 1862.
3. Clausius R. Zs. Math. u Phys. **11**, 455, 1866.
4. Хвольсон О. Д. Курс физики, т. 3, 5 изд. М., Госиздат, 1925.
5. Михельсон В. А. Собр. соч., т. I, М., Гостехиздат, 1930.
6. Клаузиус Р. В сб. «Второе начало термодинамики». М.—Л., ГТТИ, 1934.
7. Томсон-Кельвин. В сб. «Второе начало термодинамики». М.—Л., ГТТИ, 1934.
8. Boltzmann L. Wissenschaftliche Abhandlungen. Leipzig, 1909.
9. Пирогов Н. Н. ЖРФХО, **22**, вып. 5, 1890.
10. Пирогов Н. Н. ЖРФХО, **32**, вып. 2, 1900.
11. Спасский Б. И. В сб. «История и методология естественных наук». М., Изд-во МГУ, вып. 1, 1960.
12. Ehrenfest P., und Ehrenfest-Afanassjewa T. Math-Naturw, **3**, No 11—12, 1906.
13. Ehrenfest P. und Ehrenfest-Afanassjewa T. Math-Naturw. Klasse, **115**, 89, 1906.
14. Ehrenfest P. und Ehrenfest-Afanassjewa T. Phys. Zs. **8**, 311, 1907.
15. Ehrenfest P. Collected scientific papers. Amsterdam, 1959.
16. Ehrenfest-Afanassjewa T. Die Grunlagen der Thermodynamik. Leiden, E. I. Brill, 1956.
17. Афанасьева-Эренфест Т. ЖРФХО, **40**, вып. 8, 277, 1908.
18. Loschmidt I. Wein, Ber. (Abth 2) **73**, 139, 1876.
19. Zermelo E. Wied. Ann. d. Phys. **57**, 487, 1896.
20. Boltzmann L. Nature. **51**, 28, 1895.
21. Ehrenfest-Afanassjewa T. Acad. Amsterdam **28**, N 8—9, 1925.
22. Ehrenfest-Afanassjewa T. Amer. J. Phys. **26**, N 6, 1958.
23. Афанасьева-Эренфест Т. ЖРФХО, **43**, вып. 5, 256, 1911.
24. Пуанкаре Г. Наука и метод. Одесса, 1910.
25. Смолуховский М. УФН, **7**, 133, 1927.
26. Иоффе А. Ф. УФН, **57**, 349, 1957.
27. Ehrenfest-Afanassjewa T. Z. Physik. **33**, 933, 1925.
28. Ehrenfest-Afanassjewa T. Z. Physik. **34**, 638, 1925.
29. Афанасьева-Эренфест Т. Журнал прикладной физики, **5**, вып. 3—4, 1928.
30. Caratheodory C. Math. Ann. **67**, 355, 1909.
31. Каратеодори К. В сб. «Развитие современной физики». М., «Наука», 1964.
32. Планк М. Термодинамика. Л.—М., Госиздат, 1925.
33. Станюкович К. П. ДАН СССР, **69**, 793, 1949.
34. Станюкович К. П. Труды 6-го совещания по вопросам космогонии. М., Изд-во АН СССР, 1959.
35. Плоткин И. Р. ЖЭТФ, **20**, 1051, 1950.

Д. Д. ГУЛО

## РАБОТЫ Н. А. УМОВА ПО ЗЕМНОМУ МАГНЕТИЗМУ

В 1899 г. профессор Московского университета Э. Г. Лейст представил на физико-математический факультет в качестве докторской диссертации работу «О математическом распределении нормального и аномального геомагнетизма». Н. А. Умов был приглашен в качестве одного из официальных оппонентов.

Внимательно изучив работу Лейста<sup>1</sup> и вообще состояние геофизической науки того времени, Умов пришел к идеям, разработкой которых он и занимался в течение последующих пяти лет. Результаты этой разработки он изложил в 1902—1904 гг. в трех публикациях.

I. «Ein Versuch die magnetischen Typen des Erdmagnetismus zu ermitteln»<sup>2</sup>.

II. «Построение геометрического образа потенциала Гаусса, как прием изыскания законов земного магнетизма»<sup>3</sup>.

III. «Die Konstruktion des geometrischen Bildes des Saus'schen Potentials Methode zur Erforschung der Gesetze des Erdmagnetismus»<sup>4</sup>.

Наука о земном магнетизме тогда базировалась на теории Гаусса, построенной им еще в 1839 г. Гаусс предполагал, что магнитное поле Земли имеет потенциал, зависящий от широты и долготы пункта. Полагая, что источники магнитного поля расположены внутри Земли, он вывел выражение магнитного потенциала в любой точке поверхности Земли в виде ряда, расположенного по шаровым функциям:

$$U = R \sum_{n=1}^{\infty} A_n, \quad (1)$$

где  $R$  — радиус земли и  $A_n$  — шаровая функция вида:

$$A_n = \sum_m (g_{nm} \cos m\lambda + h_{nm} \sin m\lambda) P_{nm}(\cos \theta), \quad (2)$$

<sup>1</sup> Об этом свидетельствуют многочисленные пометки на авторском экземпляре книги Лейста, сделанные Умовым. См. Архив АН СССР, ф. 320, оп. 1.

<sup>2</sup> Bull. de la Soc. des Nat. de Moscou, 1902, Nr. 1—2, p. 1.

<sup>3</sup> МОЛЕ АЭ отд. физ. наук, 12, вып. 1. М., 1904, стр. 1.

<sup>4</sup> Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity, 9, № 3, p. 106, 1904.

а  $g_{nm}$ ,  $h_{nm}$  — коэффициенты и  $P_{nm}$  — так называемые присоединенные функции Лежандра, имеющие вид:

$$P_{nm}(\cos \theta) = \left[ \cos^{n-m} \theta - \frac{(n-m)(n-m-1)}{2(2n-1)} \cos^{n-m-2} \theta + \frac{(n-m)(n-m-1)(n-m-2)(n-m-3)}{2 \cdot 4 \cdot (2n-1)(2n-2)} \cos^{n-m-4} \theta + \dots \right] \sin^m \theta; \quad (3)$$

$\lambda$  — географическая долгота;

$\theta$  — дополнение до широты пункта  $\varphi$  ( $\theta = 90^\circ - \varphi$ );

$m = 0, 1, 2, \dots, n$ .

Ограничиваясь членами 4-го порядка, Гаусс по геомагнитным картам 1830 г. эмпирически определил 24 первых постоянных коэффициента. Эти вычисления были потом неоднократно повторены по геомагнитным картам различных лет.

Первый член разложения в (1) соответствует потенциалу, создаваемому равномерно намагниченным шаром. Поскольку коэффициенты  $g_{10}$  и  $h_{11}$ , соответствующие гипотезе равномерного намагничения земного шара, по своей величине значительно превосходят все последующие, эта гипотеза может быть принята как первое приближение к действительному распределению магнитного поля Земли. Последующие члены разложения Гаусса учитывают неоднородность намагничения земного шара и дают отклонение от поля однородного намагничения.

С течением времени глубокое теоретическое значение формулы Гаусса и его коэффициентов было забыто и «мало-помалу формула потенциала и Гауссовое разложение потенциала земного магнетизма была даже низвергнута до простой интерполяционной формулы» (Лейст). Многочисленные исследователи не пытались найти физический смысл главных коэффициентов Гаусса и отдельных членов разложения потенциала в ряд, но ограничивались вычислением высших членов этого разложения, стремясь получить более полное согласие формулы Гаусса с действительным распределением магнитного поля земли.

Адамс вычислил 48 коэффициентов, Фритше — даже 63, однако Фритше установил, что прибавление членов с шаровыми функциями 7 порядка не увеличивает точности.

Умов пошел по другому пути. Он считал окончательной задачей теории выяснение физических причин земного магнетизма, физического смысла коэффициентов Гаусса. Но на этом пути ближайшей задачей должно было явиться выяснение геометрического смысла коэффициентов и членов разложения Гаусса.

«Физическому анализу причин земного магнетизма, — пишет Умов, — должен предшествовать аналитический отбор магнитных образов»<sup>5</sup>.

Вот это создание наглядных «магнитных образов», или, другими словами, «построение геометрического образа потенциала Гаусса», и поставил своей задачей Умов. Рассмотрим сначала первую работу Умова. Он исходил из допущения, что не все коэффициенты Гаусса  $g_{nm}$ ,  $h_{nm}$  имеют одинаковое значение: некоторые из них составляют самостоятельные группы и представляют главные типы земного магнетизма, другие же представляют второстепенное и добавочное распределение, отражающее отклонение действительной картины от той, которую дают главные типы.

<sup>5</sup> Н. А. Умов. Избр. соч. Гостехиздат, 1950, стр. 228.

Задачу отыскания главных и второстепенных типов земного магнетизма Умов и решает, введя представление о магнитном образе — геометрическом изображении поля сил, описываемого потенциалом Гаусса, на плоскостях параллельных кругов.

Этот способ изображения заключается в следующем. Пусть для каждой точки поверхности шара задан некоторый вектор. Рассмотрим одну из точек поверхности  $D$  (рис. 1) и соответствующий вектор. Пересечение этого вектора (точка  $B$ ) с произвольно заданной плоскостью  $M$ , пересекающей шар, может быть рассмотрено как изображение точки  $D$  на плоскости  $M$ . Очевидно, расположение этого изображения определяется не только положением точки  $D$ , но и направлением принадлежащего ей вектора.

Таким образом, может быть получено изображение на плоскости  $M$  поверхности шара, зависящее от распределения векторов на этой поверхности.

В частности, отображение какой-либо параллели на данную плоскость будет представлять собой некоторую кривую.

Умов вывел формулу, определяющую расстояние изображения данной точки от оси шара ( $AB$ ), в том случае, когда вектор заключается в плоскости меридиана. Она имеет вид:

$$\rho = \frac{R}{\cos \theta} \left[ \sin \theta \cos \theta_1 + \frac{X (\cos \theta_1 - \cos \theta)}{Z \cos \theta - X \sin \theta} \right], \quad (4)$$

где  $X$  и  $Z$  — меридиональная и радиальная составляющие вектора;  $\theta$  — дополнение широты данной точки шара;  $\theta_1$  — соответствующий угол для плоскости отображения  $M$ . Очевидно, величины  $\rho$ , определенные для всех векторов одной и той же параллели, явятся радиусами — векторами кривой, представляющей собой отображение данной параллели на плоскость  $M$ .

При некоторых условиях для коэффициентов Гаусса  $g_{nm}$  и  $h_{nm}$  эта кривая будет представлять собой окружность. Если в качестве отображаемой параллели выбрать параллель, принадлежащую самой плоскости отображения, то нетрудно видеть, что в этом случае параллель вообще совпадает со своим изображением, независимо от распределения векторов.

О таком совпадении нельзя говорить только в случае, когда векторы во всех точках рассматриваемой окружности лежат в плоскости этой окружности, иначе говоря, когда составляющие этих векторов в направлении, перпендикулярном плоскости окружности, равны нулю. При этом выполняются условия:

$$\operatorname{tg} \varepsilon_1 = \operatorname{ctg} \theta_1 \quad \text{или} \quad Z_1 \cos \theta_1 - X_1 \sin \theta_1 = 0 \quad (5)$$

и

$$\rho = R \sin \theta_1 + \frac{0}{0},$$

т. е. становится неопределенной величиной. Именно такой случай и выделяет Умов среди других.

Если для данного распределения векторов на поверхности шара существует такая плоскость отображения, для которой выполняется указанное выше условие, то такое распределение он называет *образом* или *типом* (силового поля), а соответствующую плоскость — *критиче-*

ской плоскостью образа. Возможно существование образов, обладающих несколькими критическими плоскостями. Задача выделения образа, скрытого в данном распределении векторов на поверхности шара, решается путем отыскания соответствующих критических плоскостей. В качестве примера Умов рассматривает случай равномерного намагниченного шара.

Выражение потенциала такого шара для внешних точек имеет вид:

$$U = -A \frac{R^3}{r^2} \cos \theta, \quad (6)$$

где  $R$  — радиус шара,  $r$  — расстояние точки от центра шара,  $\theta$  — дополнение широты.

Если обозначить через  $\xi$  направление по оси намагничивания (от  $S$  к  $N$ ), то составляющая силы в направлении  $\xi$  в точках поверхности шара будет

$$-\frac{\partial U}{\partial \xi} = AR(1 - 3 \cos^2 \theta) \quad (7)$$

и обращается в нуль при

$$\cos \theta_k = \pm \sqrt{\frac{1}{3}}; \quad \sin \theta_k = \pm \sqrt{\frac{2}{3}}. \quad (8)$$

Соответствующие плоскости — суть критические плоскости типа, и для  $\theta_k$  имеем два значения:  $54^\circ 44'$  и  $125^\circ 16'$  и для широты  $\varphi: \pm 35^\circ 16'$ .

Таким образом, для отображения векторного распределения на поверхности равномерно намагниченного шара необходимы две плоскости, расположенные симметрично по обе стороны от экваториальной плоскости. На одну из них отображается южное полушарие, на другую — северное.

Чтобы получить более детальную картину отображения равномерно намагниченного шара, Умов использует формулу (4), которая для этого случая может быть приведена к виду:

$$\rho = \frac{R \sin \theta}{1 + \sqrt{3} \cos \theta}. \quad (9)$$

Полагая  $\theta = \theta_k$  и учитывая (8), получаем

$$\rho_k = \frac{R \sin \theta_k}{2} = \frac{R}{\sqrt{6}},$$

т. е. отображением критической параллели будет окружность с радиусом, равным половине радиуса исходной параллели. Эта окружность делит критическую плоскость на две части. На внутренней части изображается та часть поверхности полушария, которая лежит над критической параллелью. На внешней части отображается часть поверхности полушария, заключенная между критической параллелью и экватором.

Заметим здесь, что распределение, для которого центр окружностей, представляющих собой отображения параллелей в критической плоскости, совпадает с центром критической параллели (т. е. лежит на оси шара), Умов называет *центрисическим*. При невыполнении этого ус-

ловия распределение будет *эксцентрическим*. Чтобы судить о том, насколько распределение магнитного поля Земли близко к магнитному типу равномерно намагниченного шара, Умов провел вычисление составляющих вектора  $\frac{\partial U}{\partial \xi}$  в районе предполагаемых критических параллелей и определил места, в которых  $\frac{dU}{d\xi} = 0$  (в этих местах составляющие  $\frac{\partial U}{\partial \xi}$  меняют свой знак) <sup>6</sup>.

При этом оказалось, что линии, соединяющие эти пункты, проходят: в северном полушарии между широтами 30 и 40°, а в южном — между 22 и 40°. Таким образом обе линии расположены вблизи параллелей, определяемых широтами  $\varphi = \pm 35^{\circ}16'$ .

«Из этих результатов,— пишет Умов,— можно сделать следующее заключение: основным образом земного магнетизма является тот, для которого критические плоскости совпадают с критическими плоскостями равномерно намагниченного шара, магнитная ось которого совпадает с осью земли». Однако это не означает, что основной образ земного магнетизма совпадает с образом равномерно намагниченного шара.

Проведя вычисления величины  $\rho$  за каждые 10° широты для равномерно намагниченного шара и для действительного распределения земного магнетизма, Умов приходит к выводу: основной образ магнитного распределения Земли обладает теми же критическими плоскостями, что и равномерно намагниченный шар, причем отображение равномерного намагничивания равносильно среднему арифметическому из северного и южного отображений основного образа.

Итак, истинное распределение земного магнетизма может быть рассматриваемо как соответствующее полю равномерно намагниченного шара лишь в первом приближении. Для более полного решения вопроса необходимо придраться к методу разложения в ряд потенциала произвольно намагниченного шара. В связи с этим Умов развивает общую теорию отыскания возможных магнитных образов произвольно намагниченного шара.

Магнитный потенциал такого шара для внешней точки имеет вид:

$$U = R \Sigma A_n \left( \frac{R}{r} \right)^{n+1}, \quad (10)$$

где  $A_n$  — определяется формулами (2) и (3) и  $r$  — расстояние точки от центра шара.

Ограничиваясь членами 4-го порядка, Умов в соответствии с основной идеей работы, заключающейся в том, что каждый член разложения должен иметь определенный физический смысл, стремится сопоставить каждому члену разложения или какой-либо комбинации членов соответствующие им магнитные типы.

Задача решается путем отыскания возможных критических плоскостей. Критические плоскости по своему определению соответствуют определенным аналитическим уравнениям. Эти уравнения содержат коэффициенты Гаусса, откуда появляется возможность получить определенные соотношения для этих коэффициентов. Тем самым устанавливается связь, соответствие между видом критических плоскостей и коэффициентами Гаусса (а значит, членами разложения).

<sup>6</sup> При этом Умов пользовался данными, приведенными в работе Э. Лейста «О географическом распределении нормального геомагнетизма». М., 1899.

Условие, определяющее критическую плоскость, есть согласно уравнению (5):

$$Z \cos \theta_k - X \sin \theta_k = 0, \quad (11)$$

где  $X$  — меридиональная и  $Z$  — радиальная составляющие магнитной силы.

В случае, когда потенциал задан выражением (10), величины  $X$  и  $Z$ :

$$X = -\frac{1}{R} \frac{\partial U}{\partial \theta} = -\sum \frac{\partial A_n}{\partial \theta}; \quad Z = -\frac{\partial U}{\partial r} = \sum (n+1) A_n$$

и условие (11) принимает вид:

$$\cos \theta_k \sum_{\theta=\theta_k} (n+1) A_n + \sin \theta_k \sum_{\theta=\theta_k} \frac{\partial A_n}{\partial \theta} = 0. \quad (12)$$

В соответствии с выражением (2) первые четыре сферические функции могут быть записаны в виде:

$$\begin{aligned} A_1 &= g_{10} P_{10}(\cos \theta) + (g_{11} \cos \lambda + h_{11} \sin \lambda) P_{11}(\cos \theta); \\ A_2 &= g_{20} P_{20}(\cos \theta) + \sum_{m=1,2} (g_2 m \cos m\lambda + h_2 m \sin m\lambda) P_{2m}(\cos \theta); \\ A_3 &= g_{30} P_{30}(\cos \theta) + \sum_{m=1,2,3} (g_3 m \cos m\lambda + h_3 m \sin m\lambda) P_{3m}(\cos \theta); \\ A_4 &= g_{40} P_{40}(\cos \theta) + \sum_{m=1,2,3,4} (g_4 m \cos m\lambda + h_4 m \sin m\lambda) P_{4m}(\cos \theta). \end{aligned} \quad (13)$$

Функции  $P_{nm}(\cos \theta)$  согласно (3) имеют вид:

$$\begin{aligned} P_{10} &= \cos \theta; \quad P_{20} = \cos^2 \theta - \frac{1}{3}; \quad P_{11} = \sin \theta; \quad P_{21} = \cos \theta \cos \theta; \\ P_{22} &= \sin^2 \theta \dots \dots \dots P_{33} = \sin^3 \theta; \quad P_{43} = \cos \theta \sin^3 \theta; \\ P_{44} &= \sin^4 \theta. \end{aligned} \quad (14)$$

Поскольку равенство (12) должно выполняться при любой долготе  $\lambda$ , множители при  $\cos m\lambda$  и  $\sin m\lambda$  должны обращаться в нуль для каждого  $m$ . Это дает определенные условия для коэффициентов  $g$  и  $h$ . Так для  $m=4$  получается наиболее простое уравнение:

$$\cos \theta_k 5g_{44} + \sin \theta_k g_{44} \frac{\partial P_{44}}{\partial \theta} = 0. \quad (15)$$

Так как

$$P_{44} = \sin^4 \theta, \quad \frac{\partial P_{44}}{\partial \theta} = 4 \sin^3 \theta \cos \theta$$

и подстановка этих значений в уравнение (15) дает

$$9g_{44} \sin^4 \theta \cos \theta_k = 0. \quad (16)$$

Аналогичное уравнение имеет место для  $h_{44}$ .  
Отсюда следует

$$\theta_k = 0; \quad \frac{\pi}{2}; \quad \pi$$

т. е. члены с произвольными коэффициентами  $g_{44}$  и  $h_{44}$  принадлежат магнитному типу с тремя критическими плоскостями, из которых одна совпадает с плоскостью экватора, две другие суть параллельные экватору плоскости, проведенные через полюсы (полярные плоскости).

Для  $m=3$  добавляются величины

$$P_{33} = \sin^3 \theta; \quad \frac{dP_{33}}{d\theta} = 3\sin^2 \theta \cos \theta.$$

$$P_{43} = \cos \theta \sin \theta^3; \quad \frac{dP_{43}}{d\theta} = -\sin^4 \theta + 3\sin^2 \theta \cos^2 \theta.$$

Уравнение аналогичное (16) в этом случае имеет вид:

$$[7g_{33} \cos \theta_k + g_{43} = (9g \cos^2 \theta_k - 1)] \sin^3 \theta_k = 0. \quad (17)$$

Ему можно удовлетворить, положив:

$$1) \sin \theta_k = 0;$$

$$2) 7g_{33} \cos \theta_k + g_{43} (9 \cos^2 \theta_k - 1) = 0.$$

Если допустить «условие симметричности», по которому критические плоскости расположены симметрично относительно плоскости экватора, то следует добавить еще одно условие:

$$3) -7g_{33} \cos \theta_k + g_{43} (9 \cos^2 \theta_k - 1) = 0.$$

Из условия 1) следует, что члены, содержащие произвольные коэффициенты  $g_{33}$ ,  $g_{43}$ ,  $h_{33}$ ,  $h_{43}$ , соответствуют типу с двумя критическими плоскостями (полярными):

$$\theta_k = 0, \pi.$$

Условия 2) и 3) дают, что, во-первых, распределение, в котором

$$\left. \begin{array}{l} g_{33} = 0 \\ h_{33} = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} g_{43} \\ h_{43} \end{array} \text{ произвольны,}$$

соответствует типу, имеющему кроме прежних ( $\theta_k=0, \pi$ ) еще две новые критические плоскости, определяемые соотношением

$$\cos \theta_k = \pm \frac{1}{3};$$

и, во-вторых, распределение, в котором

$$\left. \begin{array}{l} g_{43} = 0 \\ h_{43} = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} g_{33} \\ h_{33} \end{array} \text{ произвольны,}$$

принадлежит типу, имеющему кроме двух прежних ( $\theta_k=0, \pi$ ) еще одну критическую плоскость

$$\theta_k = \frac{\pi}{2}.$$

Мы не будем прослеживать результаты, получающиеся для значений  $m=1, 2, 0...$  Всего получается 15 типов с 37 критическими плоскостями. Каждый тип имеет одну или несколько критических плоскостей, в то же время некоторые плоскости принадлежат разным типам.

Широты критических плоскостей:  $\pm 90^\circ$ ;  $\pm 59^\circ 27'$ ;  $\pm 35^\circ 16'$ ;  $\pm 22^\circ 12'$ ;  $\pm 19^\circ 52'$ ;  $\pm 19^\circ 28'$ ;  $0^\circ$ .



Полярные плоскости встречаются в 7 типах, экваториальная — в шести. В ряде случаев (именно при  $m=2, 1, 0$ ) обнаруживаются распределения с произвольными критическими плоскостями.

Так, при  $m=2$  в числе других типов имеется следующий

$$\left. \begin{aligned} g_{32} &= 0 \\ h_{32} &= 0 \end{aligned} \right\} \left. \begin{aligned} g_{42} \\ h_{42} \end{aligned} \right\} \text{ произвольны,}$$

где

$$\left. \begin{aligned} g_{22} \\ h_{22} \end{aligned} \right\} = V_{42} \left\{ \begin{aligned} g_{42} \\ h_{42} \end{aligned} \right. \quad (18)$$

$$V_{42} = -\frac{3}{5} (3 \cos^2 \theta_k - 1)$$

с тремя критическими плоскостями:  $\theta_k, \frac{\pi}{2}, \pi - \theta_k$ , из которых две являются неопределенными.

Здесь всюду  $\theta_k$  остается произвольным в силу произвольности коэффициентов, стоящих в правых частях соотношений (18). Рассмотрение приводит к выводу, что некоторые члены разложения связаны с одинаковыми вполне определенными критическими плоскостями ( $\theta_k=0, \pi, \frac{\pi}{2}$ ). Представляется естественным предположить, что эти члены могут быть объединены в более общий образ.

Кроме того, имеются члены, которым соответствуют по крайней мере две неопределенные критические плоскости. Все эти члены могут быть объединены в один образ, если им приписать одни и те же критические плоскости. Такой образ (тип) Умов называет *специальным*, поскольку он связан со специфическими свойствами распределения, отражая его особую структуру. Естественно, что задача обнаружения специального образа в данном распределении представляет первостепенную важность. Умов решает эту задачу, введя представление об *остаточном* распределении.

Пусть  $\Gamma$  и  $H$  с индексами — коэффициенты данного распределения,  $g$  и  $h$  — коэффициенты, соответствующие специальному типу;  $U$  и  $W_1$  — соответствующие потенциалы.

Тогда величина  $W_2 = U - W_1$

может быть названа потенциалом остаточного распределения. Поскольку это соотношение должно иметь место для любого  $\lambda$ , то коэффициенты остаточного распределения  $\gamma$  и  $\kappa$  будут удовлетворять соотношениям:

$$g = \Gamma - \gamma,$$

$$h = H - \kappa.$$

Выяснив зависимость трех распределений: данного специального образа и остаточного, Умов затем переходит к отысканию коэффициентов специального образа и остаточного распределения.

Он находит для них следующие выражения:

$$\begin{aligned} g_{an} &= \frac{\Gamma_{an} + \Gamma_{bn} V_{an}}{1 + V_{an}^2}, \\ \gamma_{an} &= \frac{V_{an} \Gamma_{an} - \Gamma_{bn}}{1 + V_{an}^2} V_{an}, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\gamma_{bn} = - \frac{V_{an} \Gamma_{an} - \Gamma_{bn}}{1 + V_{an}^2},$$

где  $V_{an}$  — некоторая функция критического угла  $\theta_k$  (всюду вместо  $g$ ,  $\Gamma$ ,  $\gamma$  можно писать  $h$ ,  $H$ ,  $\kappa$ ).

Если бы данное распределение соответствовало специальному типу в его чистом виде, то все коэффициенты  $\gamma$ ,  $\kappa$  были бы равны нулю. При этом на основании формул (19) получаются восемь уравнений вида

$$V_{an} \Gamma_{an} - \Gamma_{bn} = 0, \quad (20)$$

каждое из которых должно давать одно и то же значение неизвестной  $x$ , определяющей положение критических плоскостей ( $x = \cos^2 \theta_k$ ). Но вообще уравнения (20) для разных индексов могут давать неодинаковые значения  $x$ .

Если эти значения мало отличаются друг от друга, то, хотя каждое из них дает особый тип, можно определить некоторое характеристическое значение  $\theta_k$  как арифметическое среднее, или по каким-либо иным соображениям, и полагать, что в данном распределении скрыт специальный тип.

Если же значения  $x$ , определяемые из (20), резко отличаются друг от друга, то тогда ни о каком специальном типе говорить не приходится.

Можно принять, что остаточному распределению, как любому распределению, вообще соответствуют определенные магнитные типы. Последние могут быть найдены согласно общему методу.

Далее Умов применяет развитую им общую теорию к явлениям земного магнетизма. При этом он пользуется значениями гауссовых коэффициентов ( $\Gamma$ ,  $H$ ), вычисленными Неймайером и Петерсоном для 1885 г.

Сначала Умов разыскивает специальный образ, следуя изложенному выше методу, т. е. используя уравнение (20). Первые два уравнения, соответствующие коэффициентам  $\Gamma_{n,0}$ , после подстановки табличных значений этих коэффициентов и известных значений  $V_{an}$ , принимают вид:

$$(3x - 1) \cdot 12,96 - \left( 7x^2 - 6x + \frac{3}{5} \right) = 0,$$

$$(5x - 3) \cdot 0,2299 - \left( 9x^2 - 10x + \frac{29}{14} \right) = 0,$$

или после упрощений:

$$x^2 - 6,4114x + 1,937 = 0,$$

$$x^2 - 1,2588x + 0,3068 = 0.$$

Первое уравнение имеет корень

$$\cos^2 \theta_k = \frac{1}{3} - 0,0154,$$

$$\theta_{1k} = \pm 55^\circ 40',$$

$$\varphi_{1k} = \pm 34^\circ 13'.$$

Второе

$$\cos^2 \theta_k = \frac{1}{3} + 0,0086,$$

$$\theta_{2k} = \pm 54^{\circ}13',$$

$$\varphi_{2k} = \pm 35^{\circ}47'.$$

Широты  $\varphi_{1k}$  и  $\varphi_{2k}$  близки между собой и незначительно отличаются от  $\varphi_k = 35^{\circ}16'$  (критической широты равномерно намагниченного шара).

Таким образом, существует несколько измененный основной тип, определяемый коэффициентами  $\Gamma_{10}, \Gamma_{20}, \Gamma_{30}, \Gamma_{40}$ , близкий к типу равномерно намагниченного шара. Недеформированные коэффициенты  $g_{n0}$  могут быть найдены при помощи формул (19), т. е. коэффициенты  $g_{10}, g_{20}, g_{30}, g_{40}$  определяют тип равномерно намагниченного шара (нормальный геомагнетизм по терминологии Лейста).

Рассматривая следующие пары уравнений, Умов приходит к выводу: земной магнетизм содержит специальный образ, при этом:

а) центрическая форма этого образа определяется коэффициентами  $\Gamma_{10}, g_{20}, g_{40}$ ;

б) эксцентрическая форма образа «деформированный специальный образ» связана с коэффициентами  $\Gamma_{10}, \Gamma_{20}, \Gamma_{30}, \Gamma_{40}, g_{11}, h_{11}, g_{21}, h_{21}, \Gamma_{42}, H_{42}$ .

Рассмотрение отображения центрического специального образа (путем определения величин  $\rho$ ) по сравнению с отображением истинного распределения приводит к выводу, уже приведенному нами на стр. 179.

Помимо специальных образов могут быть выделены остаточные образы.

Таких образов получится два: среди них особое значение имеет образ, у которого критическая плоскость совпадает с плоскостью экватора  $\theta_k = 90^{\circ}$ . Этот образ соответствует симметричному распределению, для которого значение потенциала на одном и том же меридиане при одинаковых северной и южной широтах одно и то же и слагающие магнитной силы  $Z$  и  $Y$  обладают тем же свойством, а слагающая  $X$  имеет равные значения обратных знаков. На полюсах вертикальная слагающая  $Z$  равна нулю, а на экваторе горизонтальная слагающая  $X$  равна нулю: ось распределения лежит в плоскости экватора, поэтому Умов называет его *восточно-западным* магнитным распределением.

Второй остаточный тип обладает критическими плоскостями, проходящими через северный и южный географические полюсы. Потенциал этого распределения и вертикальная слагающая силы имеют на одинаковых широтах для одинаковой долготы равные величины обратных знаков. На экваторе и в полюсах эти величины равны нулю. Составляющая  $X$  имеет различные значения в точках, симметричных плоскости экватора; на полюсах и в плоскости экватора ее значение отлично от нуля.

Таким образом, анализ, проведенный Умовым, приводит к фундаментальному результату: вся сложная картина действительного распределения земного магнетизма может быть сведена к четырем главным типам:

1) тип равномерно-намагниченного шара, связанный с коэффициентами Гаусса  $g_{10}, g_{20}, g_{30}, g_{40}$  (тип отвечает нормальному геомагнетизму по Лейсту, критическая плоскость в широтах  $\pm 35^{\circ}16'$ );

2) измененный специальный тип, определяемый коэффициентами  $g_{1,0}, g_{2,0}, g_{3,0}, g_{4,0}, g_{1,1}, g_{2,1}, g_{3,1}, g_{4,1}, g_{4,2}, h_{1,1}, h_{2,1}, h_{3,1}, h_{4,1}, h_{4,2}$  (критические плоскости близки к предыдущим);

3) восточно-западный тип, зависящий от коэффициентов  $g_{1,1}, g_{3,1}, g_{2,2}, g_{3,3}, g_{4,4}, h_{1,1}, h_{3,1}, h_{2,2}, h_{3,3}, h_{4,4}$ , с экваториальной критической плоскостью.

4) остаточный тип, имеющий критические плоскости, проходящие

через географические полюсы, и зависящий от коэффициентов  $g_{2,1}, g_{4,1}, g_{3,2}, g_{4,3}, h_{2,1}, h_{4,1}, h_{3,2}, h_{4,3}$ .

«В работе Умова коэффициенты Гаусса ожили, им придан был нужный физический и геометрический смысл... Все 24 гауссовых коэффициента Умов свел к четырем главным типам и тем самым в запутанную картину эмпирических соотношений, касающихся распределения земного магнетизма, внес необходимую ясность и научную обоснованность»<sup>7</sup>, — пишет о рассматриваемой работе Умова проф. А. С. Предводителев.

«Полагая, что центр тяжести потенциала Гаусса лежит именно в функциях первых порядков, Умов остановился на 24 коэффициентах и искал связь и физический смысл этих 24 интегралов  $g_{nm}$  и  $h_{nm}$ . В его опытных руках коэффициенты Гаусса оживились, и из сочетаний отдельных коэффициентов выросли новые типы земного магнетизма. Для решения этой задачи требовался огромный и разнообразный труд, соединенный со свойственным ему умением легко справляться с запутанными вопросами математической физики (в работе о магнитных типах приведены результаты 2099 серий вычислений и 559 геометрических конструкций)<sup>8</sup>.

Перейдем теперь к рассмотрению второй и третьей работ Умова.

Известно, что если функция  $U$  удовлетворяет уравнению Лапласа, то ему удовлетворяют и производные ее и их сумма:

$$\frac{\partial U}{\partial x}; \quad \frac{\partial U}{\partial y}; \quad \frac{\partial U}{\partial z}; \quad l_1 \frac{\partial U}{\partial x} + m_1 \frac{\partial U}{\partial y} + n_1 \frac{\partial U}{\partial z} = \frac{\partial U}{\partial h_1},$$

где  $h_1$  — направление, определяемое косинусами  $l_1, m_1, n_1$ .

Например, функция  $\frac{\partial}{\partial h_1} \frac{1}{r}$  удовлетворяет уравнению Лапласа.

Функция  $\frac{\partial}{\partial h_2} \left( \frac{\partial}{\partial h_1} \cdot \frac{1}{r} \right)$ , где  $h_2$  — некоторое другое направление, составляющее с осями координат углы, косинусы которых  $l_2, m_2, n_2$  в свою очередь есть интеграл уравнения Лапласа. Аналогичные функции можно построить, привлекая еще третье направление  $h_3$ :  $\frac{\partial}{\partial h_3} \frac{\partial}{\partial h_2} \frac{\partial}{\partial h_1} \frac{1}{r}$

и т. д.

Вообще функция вида

$$\delta_n \frac{\partial}{\partial h_1} \cdot \frac{\partial}{\partial h_2} \dots \frac{\partial}{\partial h_n} \frac{1}{r} \quad (21)$$

где  $\delta_n$  — произвольная постоянная, представляет собой интеграл уравнения Лапласа. Функции (21), если проделать дифференцирование, можно придать вид:

$$\frac{1}{r^{n+1}} \delta_n A_n,$$

где  $A_n$  есть поверхностная шаровая функция  $n$ -ного порядка.

Максвелл предложил для шаровой функции  $n$ -ного порядка формулу:

$$A_n = (-1)^n \frac{r^{n+1}}{1 \cdot 2 \dots n} \delta_n \frac{\partial}{\partial h_1} \frac{\partial}{\partial h_2} \dots \frac{\partial}{\partial h_n} \frac{1}{r}. \quad (22)$$

<sup>7</sup> Н. А. Умов. Избр. соч., М.—Л., Гостехиздат, 1950, стр. 228.

<sup>8</sup> Э. Лейст. Труды Н. А. Умова по земному магнетизму. «Бюл. МОИП», 1915—1916, т. 29, стр. 12.

Направления  $h_1, h_2, \dots, h_n$  называются *осями функции*, множитель  $\delta_n$  — *моментом*. Функция (22) не содержит радиус-вектора  $r$  и зависит только от углов, образуемых этим радиусом-вектором с осями, и углов между осями.

Если описать из начала координат сферу радиуса  $R$  (радиус Земли), то точки пересечения осей со сферической поверхностью будут полюсами шаровой функции. Шаровая функция  $n$ -ного порядка содержит  $2n+1$  постоянных ( $2n$  — определяет положение осей плюс  $\delta_n$  — момент функции).

Основная идея Умова замечательна по своей простоте и заключается в следующем. Поскольку потенциал, по Гауссу, представляет собой сумму шаровых функций до 4-го порядка включительно, а каждая из этих функций имеет определенный геометрический смысл, следует сделать еще шаг и рассматривать каждый из членов разложения как имеющий самостоятельный физический смысл, а именно считать, что «каждая из шаровых функций, входящих в потенциал Гаусса, представляет магнитный потенциал особого распределения», имеет свои оси и свой магнитный момент.

До работы Умова магнитный момент Земли определялся как момент равномерно намагниченного шара, т. е. по существу как момент шаровой функции 1-го порядка. «Между тем,— указывает Умов,— в общем случае для познания магнитных свойств намагниченной сферы необходимо знать магнитные моменты всех тех шаровых функций, по которым разворачивается ее потенциал»<sup>9</sup>, т. е., по терминологии Умова, магнитные моменты 1-го, 2-го, 3-го и т. д. порядков, в соответствии с порядками функций.

«Изыскание соответственных линий равного потенциала на земной поверхности дает возможность распутать сложную картину, представляемую картами линий равного потенциала всего магнитного состояния земли»<sup>10</sup>, — пишет Н. А. Умов.

Эту задачу можно было бы решить и исходя из того вида шаровых функций, какой они имеют в разложении Гаусса, но весьма сложным путем. Преобразуя же шаровые функции к их осям, можно получить весьма простые уравнения линий равного потенциала.

«Основная мысль предлагаемой работы,— пишет Умов,— заключается в том, что обширный материал, собранный в области земного магнетизма (и представляющий собой сумму наблюдений, относящихся к различным пунктам земли), может быть резюмирован положением и взаимным отношением немногих элементов, представляемых осями и моментами четырех потенциалов различных порядков, из которых складывается потенциал Гаусса»<sup>11</sup>.

В интерпретации Умова 24 коэффициента Гаусса приобретают геометрический смысл — они являются постоянными, входящими в шаровые функции и определяющими направление осей (или что то же — положение полюсов) и моменты этих функций. Четыре функции 1-го, 2-го, 3-го и 4-го порядков, входящие в формулу Гаусса, имеют в сумме 10 осей, положение которых определяется двадцатью постоянными плюс 4 момента — всего, следовательно, имеется 24 постоянных. От геометрической интерпретации, как мы уже подчеркивали, остается один шаг к физической. Оказывается, что между постоянными, фигурирующими в формуле Гаусса, при их истолковании, по Умову, обнаруживаются соотношения, которые представляют небольшие отклонения

<sup>9</sup> Н. А. У м о в. Изб. соч., стр. 315.

<sup>10</sup> Там же, стр. 312.

<sup>11</sup> Там же, стр. 317.

от некоторых весьма простых, которые могут считаться типичными или нормальными и которые совершенно не следуют из известных эмпирических коэффициентов.

Это позволяет рассматривать каждую шаровую функцию, входящую в потенциал Гаусса, как видоизменение некоторого нормального типа.

Если принять гипотезу, что одной из причин, обуславливающих земной магнетизм, является вращение Земли, удобно представить каждую шаровую функцию Гаусса в виде суммы по меньшей мере двух функций того же порядка, из которых для одной географическая ось Земли будет многократной осью того же порядка, что и сама функция. Эта последняя функция учитывала бы влияние вращения земли, и ее момент служил бы мерой этого влияния.

Умов ставит и решает следующую задачу: пользуясь известными значениями коэффициентов в Гауссовом разложении магнитного потенциала Земли (по данным Неймайера и Петерсона), найти для шаровых функций, входящих в разложение, моменты по оси. При этом он ограничивается тремя порядками.

Формуле Максвелла (22) Умов придает иной вид, более удобный для целей исследования.

Пусть  $\mu_j$  — косинус угла, образуемого осью  $j$  функции с радиусом некоторой точки  $M$  на сфере,  $\lambda_{ij}$  — косинус угла, между осями  $i$  и  $j$ . Тогда для первых трех порядков выражения шаровых функций могут быть записаны в виде

$$A_1 = \delta_1 \mu_1; \quad A_2 = \delta_2 \left( \frac{3}{2} \mu_1 \mu_2 - \frac{1}{2} \lambda_{12} \right), \quad (23)$$

$$A_3 = \delta_3 \left[ \frac{\delta}{2} \mu_1 \mu_2 \mu_3 - \frac{1}{2} (\mu_1 \lambda_{23} + \mu_2 \lambda_{31} + \mu_3 \lambda_{12}) \right].$$

Усатривая определенную закономерность в определении функций, приходим к общему выражению шаровой функции  $n$ -ного порядка:

$$A_n = S \left[ (-1)^s \frac{(2n-2S)!}{2^{n-S} n! (n-S)!} \sum (\mu^{n-S} \lambda^S) \right],$$

где  $S$  — знак суммы,  $\lambda^S$  — число косинусов  $\lambda_{ij}$ , т. е. с двумя индексами, содержащихся в каком-либо члене,  $\mu^{n-2S}$  — число косинусов  $\mu$  с одним индексом в том же члене,  $\sum (\mu^{n-S} \lambda^S)$  — сумма всех членов, содержащих каждый одинаковое число  $\mu$  и  $\lambda$ .

Далее необходимо, указывает Умов, «привести шаровые функции, которыми выражается потенциал земного магнетизма, к виду выражений (23) с целью разыскания их осей».

Задача обратима: фактически удобнее (Умов так и поступает) привести выражения (23) к виду шаровых функций в формуле Гаусса. Существенно, что преобразованные таким образом функции будут содержать в качестве постоянных величины моментов и координат, определяющих положение осей (полюсов). Равное число постоянных (коэффициентов Гаусса) содержит для каждого порядка соответствующая функция Гаусса. Сравнение двух соответствующих функций — Гаусса и полученной из (23) — позволяет получить соотношения между коэффициентами Гаусса, численные значения которых известны, и величинами, определяющими момент и полюса функции. Так для случая функций 1-го порядка можно получить  $\mu_1$ , выразить в виде

$$\mu_1 = \cos \theta \cdot \cos \theta_1 + \sin \theta \cdot \sin \theta_1 \cdot \cos (\lambda - \lambda_1),$$

где  $\theta_1, \lambda_1$  — полярные координаты оси функции (координаты ее северного полюса),  $\theta, \lambda$  — полярные координаты и дополнение к широте и долготы какой-либо точки на поверхности земли.

После подстановки этого выражения в (23) и учитывая (14), получаем

$$A_1 = \delta_1 \cos \theta_1 P_{10}(\cos \theta) + \delta_1 \sin \theta_1 (\cos \lambda_1 \cos \lambda + \sin \lambda_1 \sin \lambda) P_{11}(\cos \theta). \quad (24)$$

Функция  $A_1$  содержит три постоянных: магнитный момент  $\delta$ ,  $\lambda_1$  и  $\theta_1$ . Соответствующая шаровая функция 1-го порядка в потенциале Гаусса  $A_1$  имеет, согласно (13), вид:

$$A_1 = g_{10} P_{10}(\cos \theta) + (g_{11} \cos \lambda + h_{11} \sin \lambda) P_{11}(\cos \theta). \quad (25)$$

Она содержит также три постоянных  $g_{10}, g_{11}, h_{11}$ .

Сравнение выражений (24) и (25) приводит к соотношениям:

$$g_{10} = \delta_1 \cos \theta_1 \quad g_{11} = \delta_1 \sin \theta_1 \cos \lambda_1, \quad h_{11} = \delta_1 \sin \theta_1 \sin \lambda_1, \\ \delta_1^2 = g_{10}^2 + g_{11}^2 + h_{11}^2; \quad \operatorname{tg} \lambda_1 = \frac{h_{11}}{g_{11}}.$$

Переходя к численным значениям, получаем:

$$\delta_1 = 0,32237, \quad \lambda_1 = -67^\circ 37' \text{ (западная долгота)}, \\ \theta_1 = 11^\circ 40' \\ \varphi = 78^\circ 20'.$$

Северный магнитный полюс, соответствующий этой функции, лежит у северо-западного берега Гренландии, и положение оси не совпадает с осью вращения Земли.

Аналогичный путь приводит к нахождению магнитного момента и четырех постоянных, определяющих положение двух осей (полюсов) функции  $A_2$ . С этой целью нужно преобразовать  $A_2$  к виду соответствующей функции Гаусса, что достигается уже довольно громоздким и сложным путем, и сравнить оба выражения. Это сравнение дает:

$$\frac{2}{3M} g_{20} = xy - \frac{1}{2} \cos(\lambda_2 - \lambda_1),$$

$$\frac{2}{3M} g_{21} = y \cos \lambda_1 + x \cos \lambda_2,$$

$$\frac{2}{3M} h_{21} = y \sin \lambda_1 + x \sin \lambda_2,$$

$$\frac{4}{3M} g_{22} = \cos(\lambda_2 + \lambda_1),$$

$$\frac{4}{3M} h_{22} = \sin(\lambda_2 + \lambda_1), \quad \text{где}$$

$$M = \delta_2 \sin \theta_1 \sin \theta_2, \quad \operatorname{ctg} \theta_1 = x,$$

$$\operatorname{ctg} \theta_2 = y, \quad \theta_1, \theta_2, \lambda_1, \lambda_2 \text{ — координаты осей (полюсов).}$$

Таким образом, получаются пять уравнений, содержащих пять неизвестных:  $x, y$  (или  $\theta_1, \theta_2$ ),  $\lambda_1, \lambda_2$  и  $\delta_2$  (скрытое в  $M$ ).

Решение системы уравнений, занимающее у Умова пять страниц, дает в конце концов для магнитного момента величину  $\delta_2 = 0,039314$

(составляющую 12% величины момента 1-го порядка  $\delta_1$ ) для координат полюсов  $B$  и  $C$ :

$$B: \varphi_2' = 61^\circ 48', \quad \lambda_2' = 76^\circ 11',$$

$$C: \varphi_2'' = 7^\circ 18', \quad \lambda_2'' = 169^\circ 36'.$$

Угол между осями равен  $85^\circ 11'$ , и ось  $C$  составляет с осью Земли примерно такой же угол как с осью  $B$ . Плоскость, проходящая через центр земли и полюсы  $B$  и  $C$ , пересекает экватор в точках  $P_2$  и  $P_2'$  с долготами  $-6^\circ 24'$  (западная долгота) и  $173^\circ 30'$  (восточная долгота). Высшая точка пересечения этой плоскости с земной сферой имеет координаты  $\theta_M = 23^\circ$ ,  $\lambda_M = 83^\circ 30'$  и весьма близко совпадает с полюсом оси  $B$ .

На карте, представляющей меркаторскую проекцию земного шара, изображен большой круг, содержащий оси  $B$  и  $C$  (рис. 2). Его линия от точки  $P_2'$  пересечения с экватором направляется к северо-западу почти под прямым углом к северо-восточной береговой линии азиатско-

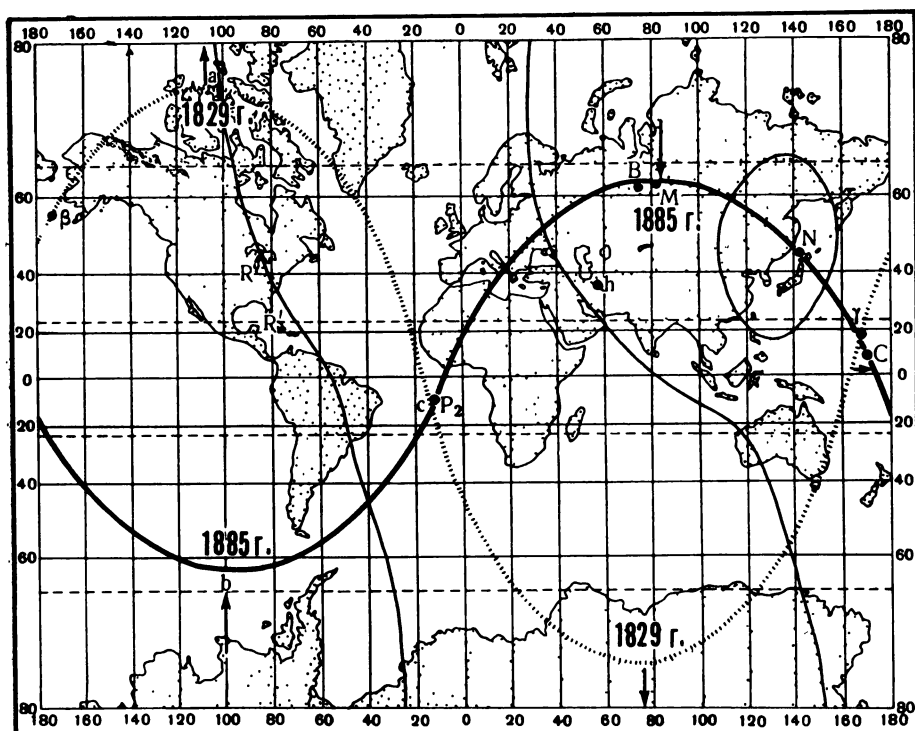


Рис. 2

го материка, далее идет через область восточноазиатской магнитной аномалии, рассекая ее на две почти равные части и затем по материк Старого света, приблизительно следуя параллельно очертанию береговых границ с Ледовитым и Атлантическим океанами. В южном полушарии ее путь проходит по Атлантическому и Тихому океанам примерно параллельно береговым линиям Южной Америки в Атлантическом океане и линии материков Австралии. Биссектриса угла между осями  $B$  и  $C$  имеет полюс  $N$  с координатами  $\varphi = 43^\circ 13'$  и  $\lambda = 144^\circ 29'$  и проходит через середину области восточноазиатской аномалии.



Из формулы (23) для  $A_2$  следует крайне простое полярное уравнение линий равного потенциала:

$$\mu_1 \mu_2 = C = \text{const.} \quad (26)$$

Введя новую систему координат, отнесенную к биссектрисе между  $B$  и  $C$ , Умов получает, что линии равного потенциала дают две системы линий, одинаково расположенных вокруг полюсов биссектрисы в северном и южном полушариях, как вокруг центров. Полюсы представляют собой пределы эквипотенциальных линий. Другими словами, линии равного потенциала расположены симметрично большого круга, плоскость которого перпендикулярна к биссектрисе угла между осями  $B$  и  $C$  рассматриваемой функции 2-го порядка. Этот большой круг и соответственно его плоскость может быть назван магнитным экватором 2-го порядка, а введенная выше биссектриса — магнитной осью 2-го порядка.

Замечательно, что границы области восточноазиатской аномалии оказываются близко совпадающими с формой некоторой линии равного потенциала функции  $A_2$ . В этом факте, а также в том обстоятельстве, что биссектриса угла между осями  $B$  и  $C$  проходит примерно через середину восточноазиатской аномалии, можно усмотреть некоторую связь между геометрическими признаками функции (положение осей) и известными особенностями в географическом распределении земного магнетизма. «Восточноазиатская аномалия находится в связи с положением осей шаровой функции 2-го порядка», — отмечает Умов.

Если рассматривать, как об этом говорилось выше, магнитное поле, отвечающее шаровой функции Гаусса  $A_2$ , как несколько уклонившееся от некоторого нормального типа (причем причиной этого отклонения можно признать вращение Земли), то функцию  $A_2$  можно разложить на две шаровых функции — одну нормальную  $A_2^1$  и другую  $A_2^0$  для которой земная ось будет двукратной осью.

Проделав такое разложение, Умов получает для моментов нормальной функции  $\delta_2^1$  и добавочной функции  $\delta_2^0$  две системы решений:

$$\delta_2' = 0,03894, \quad \delta_2^{\circ} = 0,00527;$$

$$\delta_2' = 0,02565, \quad \delta_2^{\circ} = 0,9894.$$

Эта неоднозначность объясняется тем, что в ходе вычислений появляется уравнение 4-й степени, которое дает два корня (два других корня оказываются недействительными). Каждому корню соответствует своя система решений для  $\delta_2^1$  и  $\delta_2^0$ .

В первом случае величина  $\delta_2^0$  значительно меньше  $\delta_2^1$ . В последнем случае дело обстоит наоборот:  $\delta_2^0$  значительно превосходит  $\delta_2^1$ . Отсюда следует, что в качестве главной составляющей шаровой функции 2-го порядка нужно рассматривать функцию  $A_2^0$ , а функцию  $A_2^1$  — как часть, вносящую возмущение в распределение магнетизма, обусловленного вращением Земли.

Окончательное решение вопроса, указывает Умов, возможно только в результате изучения вековых изменений земного магнетизма.

Исследование шаровой функции 3-го порядка, к которому далее переходит Умов, оказывается очень сложным и трудоемким, потребовало от автора большой математической изобретательности. Обширные преобразования и всевозможные подстановки, следующие друг за дру-

гом, занимают около 40 страниц, несмотря на то, что в ряде случаев автор сам опускает многочисленные выкладки, говоря «после довольно длинных преобразований, которых я не буду здесь приводить...».

В итоге получаются следующие величины, определяющие положения осей и момент функции:

$$\begin{aligned} \varphi'_3 &= 13^\circ 33', & \varphi'_3 &= -3^\circ 42', & \varphi''_3 &= -36^\circ 29', \\ \lambda'_3 &= 199^\circ 45', & \lambda''_3 &= 163^\circ 18', & \lambda'''_3 &= 236^\circ 10'; \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} \varphi''_3 &= 36^\circ 29', & \varphi'''_3 &= 3^\circ 42', \\ \lambda'''_3 &= 56^\circ 11', & \lambda''_3 &= 343^\circ 18', \\ \delta_3 &= 0,01311. \end{aligned}$$

Однако эти решения являются приближенными, определяемая ими функция не идентична с функцией 3-го порядка Гаусса.

Чтобы выразить полностью эту последнюю, необходимо дополнить первую шаровой функцией третьего же порядка с трехкратной осью, совпадающей с осью вращения Земли. Момент такой функции оказывается равным

$$\delta_3^0 = 0,01280.$$

Нетрудно видеть, что оба полученные решения определяют одну и ту же систему трех линий; единственное отличие заключается в том, какие концы одной пары из этой группы считать положительными и какие отрицательными. Меридиональная плоскость одной из них делит пополам угол между меридиональными плоскостями двух остальных.

«Окончательное определение положения осей может быть получено только путем последовательных испытаний, требующих значительного времени, и это дело я представляю специалистам-магнитологам»<sup>12</sup>, — пишет Умов.

В заключение Умов переходит к рассмотрению временных изменений магнитных свойств земного шара.

Пользуясь коэффициентами Гаусса, вычисленными для 1829 г. и 1885 г., он выводит изменение положения осей функций различных порядков. Вековые изменения оказались следующими: для функции 1-го порядка

$$\begin{aligned} 1829 \text{ г.} & \quad \lambda_1 = -64^\circ 35', & \varphi_1 &= 78^\circ 16', & \delta_1 &= 0,32690, \\ 1885 \text{ г.} & \quad \lambda_1 = -67^\circ 37', & \varphi_1 &= 78^\circ 20', & \delta_1 &= 0,32237. \end{aligned}$$

Магнитный момент и положение магнитной оси изменились весьма мало. Поэтому, пишет Умов, «мы можем рассматривать ее как выражающую некоторое нормальное состояние земного магнетизма».

Для функции 2-го порядка.

	Ось B	Ось C
1829 г.	$\lambda'_2 = 186^\circ 4',$ $\varphi'_2 = 55^\circ 39'.$	$\lambda''_2 = 167^\circ 56',$ $\varphi''_2 = 16^\circ 15',$
1885 г.	$\lambda'_2 = 76^\circ 11',$ $\varphi'_2 = 61^\circ 48'.$	$\lambda''_2 = 169^\circ 36',$ $\varphi''_2 = 7^\circ 18'$
		$\delta = 0,005014.$ $\delta = 0,039314.$

<sup>12</sup> Н. А. У м о в. Избр. соч., стр. 316.

Ось  $C$ , определяемая величинами  $\varphi''$ ,  $\lambda''$ , почти не изменила своего положения, в то же время ось  $B$  значительно, на  $110^\circ$ , переместилась от востока к западу, мало изменив свой наклон к оси Земли (полюсы осей  $B$  и  $C$  для 1829 г. обозначены на рис. 2 буквами  $\beta$  и  $\gamma$ ).

Можно представить, что изменение происходит следующим образом. Большой круг, содержащий в своей плоскости оси  $B$  и  $C$  для 1829 г., наклонен к экватору под углом около  $75^\circ$  и составляет угол около  $43^\circ$  с плоскостью тех же осей  $B$  и  $C$  для 1885 г. Этот круг поворачивается вокруг своего экваториального диаметра, приближаясь к северному полюсу, переходит его и, описав угол в  $43^\circ$ , принимает положение 1885 г. В то же время ось  $B$  двигается к востоку, следуя по своему кругу широты, лишь слегка приподнимаясь к северу, приблизительно на  $5^\circ$  за 56 лет.

Таким образом, вековые изменения получают замечательно наглядную и отчетливую интерпретацию. Согласно Умову, вековые изменения, которые выражаются незначительным изменением элементов земного магнетизма, являются лишь внешним проявлением глубоких изменений магнитных свойств Земли. Эти изменения состоят в быстром перемещении некоторых осей при очень медленном перемещении других осей одной и той же шаровой функции. «Вековые изменения в положении осей и величин моментов,— полагает Умов,— могут повести к открытию причин, вызывающих эти изменения».

Коэффициенты шаровой функции 3-го порядка также претерпели изменения с 1829 по 1885 г., но не столь значительные как коэффициенты функции 2-го порядка. Сумма долгот  $\sigma = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3$  осей этой функции возросла за это время с 550 до 599, т. е. на 49. Величина  $M_3 = \delta_3 \sin \theta_1 \sin \theta_2 \sin \theta_3$  изменилась с 0,00206 для 1829 г. до 0,010227 для 1885 г.

Итак, потенциалы, соответствующие шаровым функциям различного порядка, испытывают различные изменения со временем. Умов приходит к выводу, что «нормальный магнетизм земного шара представляется теми из этих потенциалов, которые претерпевают наименьшее изменение с временем». Из предыдущего видно, что «таким потенциалом является потенциал равномерно намагниченной сферы, ось которой совпадает с осью шаровой функции 1-го порядка и представляется так называемую магнитную ось Земли».

Выше мы видели, что Умов в ходе исследований пользуется гипотезой, согласно которой часть земного магнетизма может иметь своей причиной вращение Земли около ее оси. Эта доля магнетизма определяет отклонение истинного распределения магнетизма от некоторого нормального. В то же время при рассмотрении шаровой функции 2-го порядка одно из решений указывало на то, что нормальным, т. е. основным, преобладающим магнетизмом следует считать магнетизм, обязанный своим происхождением вращению Земли. Там же Умов указывает, что окончательное решение вопроса о роли составляющей, обусловленной вращением Земли, возможно при анализе вековых изменений.

В конце работы Умов вновь коротко останавливается на этом вопросе и высказывает некоторые общие соображения. Он полагает, что если принять гипотезу о вращении Земли как главной причине, устанавливающей характер земного магнетизма, то нормальный потенциал Земли может быть представлен суммой шаровых функций 1-го, 2-го, 3-го и так далее порядков, для которых земная ось является однократной, двукратной, трехкратной и т. д. осью. В этом случае шаровые функции в формуле Гаусса могут быть представлены как суммы

вышеназванных нормальных функций и функций соответствующих порядков, представляющих отклонение, возмущение от нормальных.

«Эта точка зрения,— указывает Умов,— может быть признана верною в том лишь случае, если моменты шаровых функций, имеющих своей кратной осью ось Земли, не подвержены большим вековым изменениям»<sup>13</sup>.

Работы Умова по земному магнетизму, в особенности «Построение геометрического образа потенциала Гаусса», явились фундаментальным вкладом в науку о земном магнетизме. Они вызвали большой интерес не только в России, но и среди зарубежных геофизиков. В архиве Умова сохранились, например, письма известного германского геофизика Билдингмайера (Мюнхенская обсерватория земного магнетизма). В одном из них, датированном 28 июля 1913 г., Билдингмайер пишет: «С большим интересом я прочел Вашу статью «Die Construction des geometrischen Bildes des Gaus'schen Potentials als Methode zur Erforschung der Gesetze des Erdmagnetismus» и очень желал бы получить подробную статью, напечатанную in der Schriften der Gesellschaft für Naturwissenschaft, Moskau. Поскольку получить здесь эти статьи весьма затруднительно, то я позволю себе обратиться к Вам с покорной просьбой: не могли бы Вы любезно представить в мое распоряжение отдельный оттиск Вашей статьи. В случае, если это невозможно, то я был бы Вам очень благодарен за любезное сообщение, нет ли каких-либо опечаток в статье, напечатанной в Terr. Magn., в особенности в уравнениях разделов (4), (5) и (6)»<sup>14</sup>.

В следующем письме от 8 августа 1913 г. читаем: «Своей в высшей степени любезной пересылкой Ваших обеих статей: Typen des Erdmagnetismus, 1903, 2 und 3 Axensystem des Potentiale (nach Maxwell), 1904 г. Вы оказали мне большую услугу и доставили большую радость. Мне кажется, что работы могут послужить очень важной основой (Grundlage) для дальнейших исследований...»<sup>15</sup>.

Наконец, приведем еще одну выдержку из третьего письма Умову от Билдингмайера (18 августа 1913 г.): «Ваша русская статья представляется мне столь важной, что я не остановился перед большими расходами, чтобы ее перевести. Я надеюсь в начале 1914 г. прислать Вам работу, в которой я, между прочим, развиваю дальше Вашу работу. Если бы я ее не обнаружил, кто-нибудь другой на нее непременно натолкнулся бы. Это замечательно возвышающая мысль, что все хорошее, что создается, не погибает»<sup>16</sup>.

О значении трудов Умова в следующих словах говорит неоднократно нами упоминавшийся известный московский геофизик Э. Лейст: «Гаусс исходил из геометрического представления и составил потенциальную формулу с эмпирически определяемыми 24 коэффициентами. Умов, наоборот, составил комментарий к этим коэффициентам и перевел их опять в геометрический образ, но в совершенно новых плоскостях. Так дополняют друг друга два гениальных мыслителя Карл Фридрих Гаусс и Николай Алексеевич Умов»<sup>17</sup>.

Один из крупных советских специалистов по земному магнетизму

<sup>13</sup> Н. А. Умов. Избр. соч., стр. 370.

<sup>14</sup> Архив АН СССР, ф. 320, оп. 2, № 12, л. 1.

<sup>15</sup> Там же, л. 2

<sup>16</sup> Архив АН СССР, ф. 320, оп. 2, № 12, л. 3.

<sup>17</sup> Э. Е. Лейст. Труды Н. А. Умова по земному магнетизму. «Бюл. МОИП», 1915—1916, т. 29 (прилож. к протоку.), стр. 29.

Г. Н. Розе пишет в статье, посвященной трудам Гаусса: «Укажем еще на выдающуюся работу профессора Московского университета Н. А. Умова (1904), который развивает теорию Гаусса и создает представление о «магнитных типах». Умов находит оси и моменты шаровых функций разных порядков — иначе говоря, он создает геометрический образ потенциала Гаусса, что облегчает изучение изменения магнетизма земли с течением времени»<sup>18</sup>. Работы Умова цитируются в иностранных энциклопедиях и монографиях по земному магнетизму.

---

<sup>18</sup> Г. Н. Розе. Гаусс и его работы по земному магнетизму. В кн.: Гаусс. Избранные труды по земному магнетизму, Изд-во АН СССР, 1952, стр. 289.

Г. М. ТЕПЛЯКОВ

## НИКОЛАЙ ПЕТРОВИЧ КАСТЕРИН

17 ноября 1969 г. исполнилось сто лет со дня рождения видного русского советского физика, одного из учеников А. Г. Столетова Николая Петровича Кастерина. Его работы по исследованию распространения звуковых волн в неоднородных средах, открытие закономерностей периодических структур (неоднородных сред), создание теории дисперсии звука и экспериментальное ее исследование, открытие аномальной дисперсии звука сделали имя Кастерина широко известным в научных кругах конца XIX и начала XX в. Их результаты широко освещаются в монографиях, учебниках и признаны классическими.

Не нашли поддержки и были подвергнуты суровой научной критике его работа «Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики» и ряд других работ, в которых автор, развивая идеи Дж. Дж. Томсона, пытался построить непротиворечивую классическую или квазиклассическую теорию световых явлений. Это происходило в момент чрезвычайно острой борьбы по философским вопросам естествознания и за Кастериним с тех пор утвердилась печальная слава реакционера в науке и механиста, а вместе с этим был в значительной степени забыт его действительный вклад в физику и его роль в воспитании русских физиков.

Эта статья и имеет целью обратить внимание на незаслуженно забытые работы Н. П. Кастерина и оценить его вклад в развитие физики в России.

Николай Петрович Кастерин родился 1 декабря (по старому стилю) 1869 г. в Калужской губернии. Его дед по отцу был крепостным в Новгородской губернии, отец — лесничий. Образование Николай Петрович получил в тростянской народной школе, жиздринской прогимназии и, наконец, на математическом отделении физико-математического факультета Московского университета (1888—1892).

По его словам, «своими научными стремлениями во многом обязан — в гимназии преподавателю физики Сергею Васильевичу Щербакову, основателю Нижегородского кружка любителей физики и астрономии, в университете профессорам Александру Григорьевичу Столетову, Николаю Егоровичу Жуковскому и Петру Николаевичу Лебедеву»<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Автобиография Н. П. Кастерина. М., 9 декабря 1936 г. Архив Н. П. Кастерина. Кабинет истории физики МГУ.

Уже со второго курса университета Н. П. Кастерин приступил к занятиям в физической лаборатории и вскоре обратил на себя внимание профессора А. Г. Столетова и А. П. Соколова. На 3 и 4 курсах Н. П. Кастерин выполняет самостоятельные исследования по вопросу о поверхностном натяжении жидкостей при высоких температурах, результатом которых явились две статьи, напечатанные в журнале Русского физико-химического общества (ЖРФХО) за 1893 г. [1, 2]. За эти работы ему была присуждена Обществом любителей естествознания в 1892 г. премия имени Мошнина.

В 1893 г. Кастерин был оставлен на два года при университете проф. А. Г. Столетовым для приготовления к профессорскому званию по кафедре физики и в течение этого времени помимо сданных магистерских экзаменов провел в лаборатории исследование по определению капиллярной постоянной и угла соприкосновения по размерам капли, результаты которого были опубликованы в ЖРФХО в 1893 г. [3]. Эта работа была удостоена физико-математическим факультетом премии имени Разцветова в 1895 г.



Н. П. Кастерин (1869—1947)

Весной 1894 г. Н. П. Кастерину было поручено выполнение обязанностей лаборанта физической лаборатории и ведение семинарских занятий по физике со студентами 1 и 2-го курсов, слушавших лекции профессора Соколова. Эти обязанности он выполнял до осени 1896 г. В это же время он приступил и выполнил в основных чертах работу над магистерской диссертацией о распространении акустических волн в неоднородных средах.

В 1897 г. Н. П. Кастерин был командирован за границу на два года для изучения заграничных физических институтов и дальнейшей проверки своей теории дисперсии акустических волн. В это время он слушал лекции в Берлинском университете у профессоров Варбурга, М. Планка и Вант-Гоффа, работал год в физическом институте у проф. Варбурга, где и закончил экспериментальную часть магистерской диссертации. Два остальных семестра Н. П. Кастерин работал в криогенной лаборатории проф. Камерлинг-Оннеса в Лейдене, где ему был оказан самый радушный прием руководителем лаборатории, весьма заинтересовавшимся работами Кастерина по акустике. Здесь Кастерин главным образом занялся изучением явления отражения звуковых волн в связи с явлениями аномальной дисперсии металлическими телами при низких температурах. По совету Камерлинг-Оннеса Н. П. Кастерин впервые кратко изложил результаты своих теоретических и экспериментальных исследований по дисперсии звуковых волн, которые были доложены Камерлинг-Оннесом в Амстердамской академии наук в 1898 г. и в качестве предварительного сообщения напечатаны в трудах этой академии на немецком языке [5], а в журнале РФХО в 1898 г.— на русском языке [4]. За эту работу Кастерину в 1898 г. была вторично присуждена премия имени Мошнина Обществом любителей естествознания.

По возвращении из-за границы Н. П. Кастерин был назначен с 1 июля 1898 г. сверхштатным лаборантом физической лаборатории и возобновил семинарские занятия по физике со студентами 1-го и 2-го курсов. С 1 января 1899 г. уже в должности приват-доцента он читает лекции по теоретической физике на старших курсах и продолжает вести семинарские занятия со студентами младших курсов.

Это обилие занятий позволило Н. П. Кастерину лишь к концу 1902 г. закончить подробное изложение результатов своей научной работы и в начале 1904 г. напечатать эти результаты в Ученых записках Московского университета [7]. За эту работу, представленную в качестве магистерской диссертации, Н. П. Кастерин 24 мая 1905 г. был удостоен сразу степени доктора физики физико-математическим факультетом Московского университета.

В 1906 г. Н. П. Кастерин был избран Советом новороссийского университета ординарным профессором на кафедру физики. В одном из писем проф. А. В. Клоссовскому в Одессу проф. Н. А. Умов, длительное время проработавший в Новороссийском университете, очень высоко оценивает научные достоинства Кастерина: «У нас есть выдающийся физик Николай Петрович Кастерин. Он силен и в теории и замечательный экспериментатор...». Предлагая предоставить Н. П. Кастерину штатную ординатуру, факультет, пишет далее Н. А. Умов, «приобретает не только достойного, но, смело могу сказать, блестящего представителя кафедры физики»<sup>2</sup>.

В Новороссийском университете Кастерин проработал с 1906 по 1922 г., читая здесь лекции по теоретической физике, заведя физическим институтом и временно Астрономической обсерваторией, а затем Магнито-метеорологической обсерваторией в Одессе. Помимо этого он был профессором Высших женских курсов. С 1919 г. Кастерин состоял профессором в Институте народного образования, в Химико-фармацевтическом институте и в Институте прикладной химии в Одессе. В Одесский период Кастериным опубликовано шесть научных работ. Из них отметим лишь статью «О несостоятельности принципа относительности Эйнштейна» [9], напечатанную в Записках новороссийского университета за 1919 г., которая является первой среди ряда других работ Кастерина, не получивших позже положительной оценки многими виднейшими советскими физиками и признанных ошибочными.

В 1922 г. Н. П. Кастерин переехал в Москву и работал в Институте биофизики у академика П. П. Лазарева, в Научно-исследовательском институте физики и кристаллографии при Московском университете. В эти годы он очень много работал над вопросами применения физики для решения различных технических проблем.

К 1925 г. относится изобретение Кастериным пневматического абсолютного электрометра для измерения потенциалов от 100 до 3000 в и выше, позволяющего, в отличие от Томсоновского абсолютного электрометра, косвенно определять потенциал посредством весьма точного измерения длины и давления. Были предложены две модели прибора — одна для научных работ, позволяющая определять потенциал с точностью до 0,1%, другая — для технических измерений, позволявшая определять потенциалы с точностью до 1%. Изобретение было зарегистрировано Комитетом по делам изобретений ВСНХ СССР и на имя Н. П. Кастерина был выдан патент № 949 от 30 января 1926 г.

В 1925 г. Кастерин успешно применил идеи, высказанные в доктор-

---

<sup>2</sup> А. В. Клоссовский. О научных заслугах доктора физики Московского университета Н. П. Кастерина. Одесса, 1906, стр. 7.



ской диссертации, к объяснению происхождения *донного* льда. В диссертации наиболее подробно было изучено распространение звуковых волн в неоднородных средах, состоящих из спектральных шаров, распределенных в воздухе. Кастерин установил, что при определенных условиях шары должны притягиваться друг другом. 22 октября 1925 г. на заседании Физического общества им. П. Н. Лебедева Кастерин прочитал доклад [16], в котором показал, что если в жидкости движутся твердые шары и скорость их не равна скорости течения жидкости, то между шарами возникают силы притяжения. Наличием таких сил, возникающих между кристалликами льда при наступлении морозов, Кастерин объяснил и происхождение *донного* льда. При спокойном течении реки скорость кристалликов одинакова со скоростью течения реки. При сужениях реки скорость воды меняется, кристаллики же по инерции некоторое время сохраняют свою скорость, между ними возникают силы притяжения, приводящие к образованию больших льдин. Кастерин установил теорию *донного* льда [16] и выработал меры борьбы с ним, которые нашли применение на советских гидроэлектростанциях.

К этим годам относятся работы Кастерина «О тиромангнитном отношении» (1924), «Механика Ньютона и электродинамика Максвелла» (1926), «Пневматический абсолютный электрометр» (1926), «О возникновении вихревого движения» (1929), а также ряд новых работ о возможности классического или квазиклассического объяснения отдельных физических явлений: «Вывод основных законов квантовой теории из уравнений Максвелла» (1926), «Томсоновская модель светового кванта» (1926), «Особенности светового кванта» (1926), «Теория световых квантов и уравнения Максвелла» (1927), «Электронные волны и теория Томсона» (1930).

С 1930 г. Н. П. Кастерин занимался научными консультациями в Центральном аэрогидродинамическом институте, Всесоюзном научно-исследовательском институте строительных материалов и во Всесоюзном научно-исследовательском институте огнеупорных и кислотоупорных материалов.

Работа Кастерина в ЦАГИ определялась договором от 21 июня 1930 г.<sup>3</sup>, по которому: «Кастерин принимает на себя теоретическое освещение вопросов и руководство по ним сотрудников Гидр. отдела ЦАГИ в срок до 20 октября с. г. по следующим гидравлическим и гидродинамическим заданиям: 1) выявление теоретических оснований для обоснованных методов ведения опыта по изучению влияния мгновенно возникающих источников изменения давления в жидкости на сопряженные с потоками гидротехнические конструкции; 2) дача методических указаний по постановке опытов, связанных с пунктом 1), на основании теоретической проработки; 3) участие в комиссии по разработке изобретения Капланского и выявления связанных с этой работой теоретических вопросов; 4) руководство работами сотрудников ГИО по изучению постановки гидродинамических вопросов, связанных с предыдущими пунктами настоящего параграфа». Для работ по гидродинамике и расчетов в помощь Н. П. Кастерину была создана группа из двух сотрудников.

За время работы в ЦАГИ (июнь 1930 г.— март 1931 г.) Н. П. Кастерин принял участие в рассмотрении проекта бесштангового насоса Капланского, предназначенного для эксплуатации нефтяных скважин

<sup>3</sup> Архив Н. П. Кастерина. Кабинет истории физики МГУ.

значительной глубины. Убедившись в непригодности этого насоса, Кастерин приходит к выводу, что осуществление такого насоса в лабораторной обстановке тем не менее имеет смысл и интересно не только в научном отношении, но и в чисто техническом, если в качестве работающей жидкости взять жидкость невязкую, например воду, и если насос будет работать вблизи резонанса, т. е. когда число ходов работающего поршня будет близко к числу гравитационных колебаний насоса. Кастерин разрабатывает теорию такого гидравлического насоса, осуществляет постройку его модели и в апреле 1931 г. представляет в ЦАГИ математическую формулировку задачи о движении воды в этой модели, где приводит общие результаты решения задачи — условия, необходимые и достаточные для функционирования насоса. Одновременно, исполняя желание комиссии ЦАГИ, Кастерин представляет свои соображения по вопросу о рационализации изобретенного поршневого насоса для накачивания нефти из глубоких (до 1 км) скважин.

Помимо этого Кастерин разработал вопрос об упругих колебаниях жидких колонн значительной длины в связи с общей теорией насоса Капланского с длинным трубопроводом, проанализировал новые методы физического исследования течения Рейнольдса. В связи с заданием 2 Кастерин проанализировал имеющиеся методы гидродинамических измерений и разработал новый метод калибрования измерительных приборов всевозможных типов путем создания стандартного потока. Здесь же он указал и на другую возможность использования гидравлического насоса для испытания прочности труб на практике, так как в гидравлическом насосе легко получить при малой мощности двигателя переменные давления, превосходящие 1000 атм. Эти мысли были им изложены в 1931 г. в работе «Вибрационный метод испытания прочности туррил».

Одним из результатов работы в качестве научного консультанта во Всесоюзном научно-исследовательском институте строительных материалов явилась работа «Математическая теория термической устойчивости керамических труб» (1933), в которой обосновывается возможность построения и использования для теплофикации гончарных труб, не трескающихся при неравномерном разогревании.

Результатом непродолжительной работы во Всесоюзном научно-исследовательском институте огнеупорных и кислотоупорных материалов (институт был переведен в Ленинград) было изобретение Кастериным прибора для определения прочности кислотоупорных труб.

В 1934—1938 гг. Кастерин занимался большой теоретической работой по аэродинамике и электродинамике. Свои предварительные результаты он доложил на специальном собрании при Президиуме Академии наук 9 декабря 1936 г. и в качестве предварительного сообщения отпечатал под названием «Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики» [13].

По выводам Кастерина вся физика и аэродинамика основаны на опытных измерениях, точность которых ограничена. Следовательно, и все закономерности как конечные, так и в форме дифференциальных уравнений, как отображение экспериментальных измерений, являются только первыми приближениями.

Уравнения Эйлера, данные 180 лет назад, и уравнения Максвелла, данные 75 лет назад, не в состоянии объять все явления аэродинамики (особенно в области быстрых и вихревых движений воздуха) и электродинамики, известные в настоящее время. «Современная теоретическая физика (по Кастерину [13], стр. 1) пытается достигнуть этой цели путем надстроек в виде релятивистской, квантовой и волновой механи-

ки, изменяя, обобщая и даже извращая основы классической механики и физики...».

«Поэтому,— пишет Кастерин,— сама собой является мысль, не изменяя основ классической механики и физики, искать второе приближение как для уравнений электромагнитного поля, так и для аэродинамики, и посмотреть, не смогу ли эти более общие уравнения охватить всю ту совокупность фактов в области электромагнетизма и аэродинамики, которые твердо установлены опытным путем».

Реакция ученых на идеи Кастерина, непосредственно примыкавшие к работам Максвелла, Лоренца, Дж. Дж. Томсона, акад. В. Ф. Миткевича в этой области была весьма противоречивой. Положительно об этих работах отзывались А. К. Тимирязев, В. И. Романов, сочувственно к ним относились В. Ф. Миткевич, С. А. Чаплыгин, А. Е. Ферсман, а также ряд зарубежных ученых. С резкой критикой Кастерина выступили в 1937 г. Д. И. Блохинцев, М. А. Леонтович, Ю. Б. Румер, И. Е. Тамм, В. А. Фок и Я. И. Френкель [19].

Совместное заседание группы физики и математики АН СССР, посвященное обсуждению работ Кастерина и дискуссионных материалов по ним (имеется в виду и статья А. К. Тимирязева «По поводу критики работы Н. П. Кастерина» от 15 июня 1938 г.), записало в своем решении, что работа Кастерина «Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики»<sup>4</sup> целиком ошибочна и из нее нельзя выделить никакого здорового ядра и что все предшествующие работы проф. Кастерина за весь период существования советской власти по смежным вопросам являются также целиком ошибочными».

Необходимо отметить, что после этого прекратилось не только финансирование из средств Академии наук, но и печатание работ Кастерина по этому вопросу, в частности не была напечатана статья «Ответ моим критикам» и большая (объемом в 10 печатных листов) работа, представляющая более подробное изложение текста предварительного сообщения. Просмотренная С. А. Чаплыгиным и отредактированная А. К. Тимирязевым работа не была напечатана и в более позднее время.

Таким образом, вместо ознакомления с идеями Кастерина широкой научной общественности, на которое ученый безусловно имеет право претендовать, вопрос о его работах был решен беспрецедентным путем.

В то же время основная идея Кастерина о возможности перебраться мосты между различными физическими явлениями (звуковая и оптическая дисперсия, аэродинамика и электродинамика) с точки зрения диалектического материализма и одного из его важнейших положений о взаимосвязи и взаимообусловленности явлений природы оказалась весьма ценной и далеко не бесплодной. В измененной форме она получила дальнейшее развитие в таких разделах современной физики, как магнитная гидродинамика и физика плазмы.

Идеи же Кастерина о вихревом движении в аэродинамике не потеряли своего значения и в наше время движений со сверхзвуковыми скоростями. Для этого достаточно хотя бы обратиться к постановке Кастериним ряда вопросов по аэродинамике, удовлетворительное решение которых было дано лишь в самое последнее время (мы имеем в виду вопрос о движении самолетов с около и сверхзвуковыми скоростями в областях смерчей).

Еще в 1936 г. Кастерин обращал внимание на опасность вихрей, заключающих в небольшом объеме колоссальную энергию в виде вра-

<sup>4</sup> Имеется в виду предварительное сообщение.

шательного движения воздуха. Он отмечал, что существующая в аэродинамике теория вихрей не может дать ответа на ряд вопросов и предлагал по разделу вихрей разработку следующих проблем: «1) теоретическое и лабораторное изучение процессов образования вихревого движения; 2) теоретическое и лабораторное изучение движения вихрей в разных комбинациях; 3) теоретическое и лабораторное изучение способов управления движением вихрей; 4) создание методов точных измерений в области вихрей; 5) измерение скорости звука в завихренном воздухе»<sup>5</sup>.

Отстраненный в марте 1931 г. от работы в ЦАГИ (после ухода С. А. Чаплыгина) Кастерин тем не менее продолжал вплоть до 1941 г. работу в области вихревых движений в лаборатории Физического института Московского университета, руководя здесь научным исследованием по вопросу образования смерча в лабораторных условиях и изучению его аэродинамического поля.

С 25 марта 1941 г. Кастерин состоял штатным профессором на физическом факультете Московского университета по кафедре физики.

В эти годы им написаны работы: «Устранение аэродинамического парадокса Феликса Клейна» [14] и совместно с А. К. Тимирязевым и Т. М. Свиридовым «Вихревой гистерезис» [15], опубликованные уже после его смерти.

Умер Кастерин 10 марта 1947 г. в возрасте 78 лет.

Обзор деятельности Кастерина был бы далеко неполным, если бы мы не отметили его многолетнюю педагогическую деятельность в Новороссийском (г. Одесса) и Московском университетах и ряде других высших учебных заведений страны, где он читал основные курсы по математической физике и вел семинарские занятия. Особенно много сил и труда было вложено Кастериним в оснащение физического кабинета и Физического института Новороссийского (г. Одесса) университета, где он некоторое время руководил и магнитно-метеорологической обсерваторией.

Широкой популярностью в высшей школе пользовались переведенные с немецкого под редакцией Кастерина курсы Е. Варбурга «О кинетической теории газов». М., 1903; Г. А. Лоренца «Видимые и невидимые движения». М., 1905; Курс физики, т. I. Одесса, 1910; т. 2. Одесса, 1910; трехтомник М. Планка — «Введение в теоретическую физику», ч. 1, «Механика»; ч. 2, «Механика деформируемых тел»; ч. 3, «Теория электричества и магнетизма», выдержавший два издания (1929 и 1932 гг.). Он редактировал работу проф. С. А. Богуславского «Пути электронов в электрическом поле» (1929), труды Института физики (1925) и некоторые другие, давал многочисленные заключения о работах отечественных ученых, в частности К. Э. Циолковского, А. А. Эйхенвальда, и т. д.

### РАННИЕ РАБОТЫ Н. П. КАСТЕРИНА

Н. П. Кастерин приобщился к научной деятельности в студенческие годы под руководством А. Г. Столетова. Первая небольшая статья им была опубликована в 1892 г. в ЖРФХО «О поверхностном натяжении этилового эфира при высоких температурах» [1], в которой он значительно расширил температурный интервал (от 16 до 190,5° С) исследований этого вопроса.

<sup>5</sup> Из докл. записки акад. С. А. Чаплыгину и проф. А. К. Тимирязеву, 15/IV 1936 г. Архив Кастерина в кабинете истории физики МГУ.

Поверхностное натяжение эфира, соприкасающегося со своим насыщенным паром, Кастерин определял по формуле

$$S = \frac{1}{2} h \cdot \frac{d-s}{\cos i},$$

где  $h$  — высота поднятия жидкости в капиллярной трубке,  $s$  и  $d$  — удельные веса эфира и его пара.  $i$  — угол соприкосновения эфира.

Для решения этой задачи необходимо было найти значения  $h$  и  $i$  при различных температурах.

Влияние температуры на капиллярные явления в интервале от  $6^\circ \text{C}$  до температуры кипения было исследовано ранее (Квинке Шторф и др.) и установлена линейная зависимость постоянной капиллярности от температуры. Работы Кастерина не подтвердили этот вывод. Не подтвердилось также допущение о том, что угол соприкосновения для смазывающих жидкостей остается равным нулю вплоть до температуры кипения. «Факт изменения высоты мениска с температурой, — отмечал Кастерин, — свидетельствует об изменении вида поверхности мениска, ее кривизны, а следовательно, и  $i$ »<sup>6</sup>.

Принимая поверхность мениска за шаровую для узких капиллярных трубок, Кастерин выводит формулу для определения

$$i = \frac{\pi}{2} - 2 \arctg \frac{h}{r}.$$

Проведя многочисленные измерения  $h$  и определяя угол соприкосновения  $i$ , Кастерин определил величину поверхностного натяжения этилового эфира до температур  $190,5^\circ \text{C}$ .

В работе «Об изменении сцепления жидкостей с температурой» [2] Кастерин поставил целью теоретически обосновать установленный экспериментально факт более быстрого убывания с возрастанием температуры величины подъема жидкости в капиллярных трубках по сравнению с убыванием ее плотности, что противоречило теории Лапласа. Проанализировав многочисленные эксперименты ряда ученых, Кастерин установил, что при возрастании температуры сцепление жидкости уменьшается быстрее, чем квадрат ее плотности.

По теории Лапласа функция взаимодействия между частицами жидкости по мере увеличения расстояния между ними очень быстро убывает. Исходя из иного механизма взаимодействия, Кастерин принимает, что молекулярные силы проявляют свое действие только на очень малых расстояниях. Этим самым вид функции, выражающей зависимость молекулярных сил от расстояния, и свойства этой функции ничем не ограничались. Придерживаясь этой точки зрения, Кастерин получил формулу для давления

$$p = k + \frac{H}{2} \left\{ \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right\},$$

аналогичную формуле Лапласа, с той, однако, разницей, что  $k$  и  $H$  в ней не только пропорциональны квадрату плотности жидкости, но и являются функциями радиуса сферы молекулярного действия.

В дальнейшем Кастерин сделал важный вывод о том, что для каждой жидкости кубы молекулярных давлений при двух различных температурах относятся как квадраты соответствующих поверхностных натяжений, умноженных на квадраты плотности жидкости при тех

<sup>6</sup> Н. П. Кастерин. ЖРФХО, вып. 9, т. XIV, стр. 207.

же температурах. Автор указал и на причину изменчивости величины радиуса сферы молекулярного действия с температурой: диссоциация частиц жидкости.

Кроме того, Кастерин получил еще и следующие результаты: 1) произведение из интенсивности молекулярного действия на молекулярный вес есть величина постоянная; 2) при соответствующей температуре радиус сферы молекулярного действия для различных жидкостей пропорционален корню квадратному из молекулярных весов этих жидкостей.

В работе «Определение постоянной капиллярности и угла соприкосновения по размерам капли» (3) Кастерин показал простой способ определения постоянной капиллярности, не уступающий по точности определению ее из измерения высоты подъема жидкости в капиллярных трубках.

Метод Квинке, как известно, давал тем большую погрешность, чем больше размеры капель. Для средних капель, с которыми еще можно было экспериментировать, эта погрешность была значительна. Помимо этого, поверхности таких капель уже отличались от поверхности вращения, что являлось необходимым в методике Квинке.

Кастерин вывел формулу для определения постоянной капиллярности и угла соприкосновения, годную для капель произвольной величины. Вместе с тем он находит удобный и простой способ получения параметров капли, которые необходимы для вычисления постоянной капиллярности и угла соприкосновения. Это способ фотографирования капли и измерения ее размеров на негативе с помощью координатной сетки, нанесенной на стекло.

Эти ранние работы Кастерина были высоко оценены научной общественностью и за две первые из них ему была присуждена в 1892 г. Обществом любителей естествознания премия им. Мошнина. Известные русские физики и математики А. П. Соколов, П. Н. Лебедев, Н. Е. Жуковский, Д. Ф. Егоров и Н. А. Умов писали, что ранние труды Кастерина по их значению «могли бы легко послужить ему предметом магистерской диссертации» [17].

#### РАБОТЫ Н. П. КАСТЕРИНА ПО АКУСТИКЕ

Мы уже отмечали, что 24 мая 1905 г. Кастерин был удостоен сразу степени доктора физики за работу «О распространении волн в неоднородной среде», которая представляет собой теоретическое и экспериментальное изучение вопроса о распространении звуковых волн в неоднородной среде, который, несмотря на всю его важность для науки, затрагивался автором в наиболее общем виде впервые.

Работа состояла из пяти глав. Первая глава, хотя и представляющая введение к последующим, тем не менее имела и самостоятельный интерес для акустики.

В ней рассмотрена теория распространения волн в средах слоистой структуры, имеющая непосредственное приложение к объяснению известных опытов Тиндаля над звукопроводностью слоев воздуха неоднородного строения и указывающая на те условия, при которых атмосфера является непрозрачной для таких волн. Помимо этого, по мнению оппонентов при защите диссертации профессоров А. П. Соколова, П. Н. Лебедева, Н. Е. Жуковского, Д. Ф. Егорова и Н. А. Умова, принимая во внимание указанную Кастериним «независимость законов прохождения и отражения волн от специального характера колебательного движения в них, мы усматриваем в этой главе основы для раз-

вития строгой теории цветной фотографии по способу Липпмана, какой теории в науке по сие время не имеется» [17], стр. 8).

Предполагая, что среда состоит из  $N$  слоев, из которых все слои нечетного ряда обладают одной толщиной и одними акустическими свойствами, а все четные слои — другими, автор выяснил вопрос о том, какие волны могут распространяться в такой среде перпендикулярно к ее слоям.

Следуя по пути, указанному Релеем, автор находит общие гидродинамические уровни, удовлетворяющие потенциалу скоростей волнового движения внутри каждого слоя четного и нечетного ряда и пограничные условия, налагаемые равенством нормальных скоростей и давлений на границе двух смежных слоев.

Далее он рассматривает законы преломления и отражения волн в плоскопараллельной пластинке известной толщины такого слоистого строения, погруженной в среду с акустическими свойствами ее четных слоев, и приходит к выводу, что эти законы здесь будут приблизительно те же, как если бы пластинка была однородной и имела некоторую плотность  $\rho$  и показатель преломления

$$n = k_1/k_2,$$

величины которых зависят как от структуры среды, так и от периода волны ( $T$ ).

Наиболее интересным теоретическим вопросом этой главы является вопрос о зависимости показателя преломления пластинки  $n$  от периода волны, т. е. вопрос о дисперсии звуковых волн как нормальной, так и аномальной, о наличии которой до него никто не догадывался. Особенно интересным явился вывод о том, что ни ширина и положение полос абсорбции, ни их число и величина показателя преломления вовсе не зависят от числа слоев пластинки, когда их число более двух.

Наконец, автор рассматривает наиболее общий случай, когда падение волны на пластинку происходит под каким-либо углом и приходит к аналогичным, хотя и более сложным, результатам. Для данного случая показатель преломления оказался зависящим не только от структуры среды и периода волн, но и от угла падения, а закон Снелли сохраняет силу при некоторых условиях лишь для больших длин волн. Полосы поглощения, согласно теории, должны были испытывать смещение в сторону коротких волн в зависимости от косинуса угла падения, т. е. наблюдаться в других местах.

Законы акустической дисперсии как нормальной, так и аномальной, открытые Кастериным, оказались весьма сходными с законами оптической дисперсии, из чего был сделан вывод о независимости этих явлений от характера (продольность или поперечность колебаний) волнового движения. Эта независимость позволяла сделать некоторые вероятные заключения относительно невыясненных пунктов оптической аномальной дисперсии.

К таким пунктам относился вопрос о наклоне дисперсионной кривой внутри полос абсорбции. По теории Кастерина следовало, что дисперсионная кривая внутри полосы дисперсии должна иметь вид прямой, наклонной к оси волн и угол этого наклона и ширина полос абсорбции обуславливаются периодом структуры среды, т. е. межмолекулярными расстояниями. Это указывало на возможность определения межмолекулярных расстояний путем наблюдения аномальной дисперсии звуковых и оптических волн. В более позднее время этот метод нашел широкое применение в молекулярной акустике и спектроскопии (при этом какие-либо ссылки на Кастерина обычно отсутствуют).

Основную, наиболее капитальную часть труда, представляют 2-я и 3-я главы, в которых теоретически и экспериментально решался вопрос о распространении звуковых волн в воздушной среде, неоднородность которой создавалась путем большого числа твердых тел сферической формы, имеющих одинаковые размеры и размещенных в безграничной воздушной среде в порядке параллелепипеда в трех взаимно перпендикулярных направлениях на расстояниях  $a$ ,  $b$ ,  $c$  друг от друга, так что шары образовывали пластинку толщиной  $L$ .

Ставилась задача выяснить, какого рода движение установится при этих условиях в любой точке среды внутри и вне пластинки, если на нее (на пластинку) нормально будет падать звуковая волна периода  $T$ . Впервые такая задача для случая одного шара и плоской волны в воздухе была решена Релеем в 1872 г.

Эта чрезвычайно общая и сложная задача была решена Кастериным, хотя и в очень сложной форме. Физическое истолкование задачи было дано им лишь для случая, когда длина падающих волн больше наибольшего из периодов структуры среды ( $\lambda > b, c$ ), а радиус шаров бесконечно мал (зернистое строение среды). Вывод оказался весьма прост. Потенциалы волн отраженной, проходящей и внутри пластинки оказались тождественными с их выражениями для однородной пластинки, если только за толщину последней принять в уравнении величину  $a+a$  ( $a$  — расстояние шаров по направлению волны), а за плотность и показатель преломления — выражения, данные Кастериним. Для случая  $a=b=c$  автор исследует более детально вид дисперсионной кривой и приходит к выводу о том, что при этом дисперсия всегда остается нормальной.

Для  $\lambda$ , соизмеримой с  $a, b, c$ , в пластинке наступает избирательная абсорбция и аномальная дисперсия, как и для пластинки слоистого строения, т. е. при подходе к полосе абсорбции со стороны длинных волн,  $n$  быстро возрастает до некоторого значения на границе полосы, внутри ее падает по линейному закону и, наконец, опускается до минимального значения на другом конце области поглощения.

Исследования Пфлюгера и Вуда, проведенные до 1905 г. для некоторых красящих веществ, более поздние исследования Д. С. Рождественского для световых волн полностью подтвердили вывод Кастерина.

Отмечая аналогичный ход кривых дисперсии для случая звуковых и оптических волн, автор подчеркивает, что при расстояниях  $b$  и  $c$ , соизмеримых с  $\lambda$ , могут возникнуть в проходящей и отраженной волнах дифракционные явления, подчиняющиеся тем же законам в отношении  $\max$  и  $\min$ , что и при дифракции оптической. Известно, что несколько позднее явление дифракции ультразвуковых волн ( $\lambda$  соизмеримо с  $b$  и  $c$ ) и световых волн стали широко применяться для исследования так называемых периодических структур.

Для случая  $\lambda > b > c$  (отсутствие дифракции и стоячих волн, образовавшихся в среде при отражении от неподвижной стенки) автор нашел и проверил экспериментально уравнение, позволявшее вычислить расстояния узлов и пучностей от неподвижной стенки и, следовательно, расстояния между ними.

В конце второй главы Кастерин обобщил полученные им результаты на случай упругих шаров. Решение, найденное им для случая абсолютно твердых шаров, оказалось справедливым и здесь. Явление же дисперсии для этого случая обуславливалось не только взаимным расположением шаров, но и их свойствами.

Наконец, автор указывает, что найденные им формулы при  $\lambda > b, c$  могут иметь непосредственное приложение при решении целого ряда



задач о явлениях в неоднородных средах — задач о намагничивании и диэлектрической поляризации, об электропроводности и теплопроводности этих сред, так как его формулы оказались согласующимися с приближенными формулами, найденными для описания этих явлений Пуассоном, Москотти и Клаузиусом, Максвеллом и Релеем.

Четвертая глава посвящена Н. П. Кастериним исследованию распространения волн в неоднородных средах наиболее сложного строения, средах, составленных из резонаторов. Он показывает, что и такая задача при некоторых изменениях может быть приведена к задаче о неподвижных твердых шарах. При этом он ввел специальный параметр, который наряду с собственным тоном характеризует акустические свойства резонатора. Таким образом, он рассматривает полые сферические и цилиндрические резонаторы Гельмгольца и, наконец, сферический осциллирующий резонатор. При этом автор останавливался в основном на исследовании дисперсионных кривых сред, построенных из таких резонаторов, и выяснил, что явления аномальной дисперсии обуславливаются взаимными расстояниями между резонаторами и их акустическими свойствами (главным образом собственными тонами). Выяснилось, что для  $\lambda$ , заключающих в себе собственный тон резонатора, обнаруживаются явления абсорбции и аномальной дисперсии. Ширина полосы поглощения оказалась пропорциональной степени заполнения пространства и длине волны собственного тона резонатора. Положение полосы определяется размерами и расстоянием. Показатель преломления внутри полосы изменяется по линейному закону

$$n = \lambda/2a.$$

Третья глава исследования была посвящена Кастериним описанию экспериментов по проверке теоретических результатов глав 2 и 4. Им были найдены виды дисперсионных кривых для неоднородных сред различного строения, т. е. определены показатели преломления как функции длины волны.

Остановимся на опытах со средами зернистого строения. Измерение  $n$  для таких сред производилось в трубках с шарами при помощи пыльных (пробковые опилки) фигур Кундта. В трубку, закрытую с одного конца, вводилась стеклянная пластинка с насыпанными на нее пробковыми опилками, и на ней определялось положение узлов и пучностей, сначала в трубке, заполненной только воздухом, а потом, когда в нее вводились ряд неподвижных стеклянных шаров, размещающихся по оси трубки на одинаковых расстояниях. В других опытах ряд состоял из четырех шаров в каждом слое. Возбуждение волн осуществлялось при помощи натираемых стеклянных стержней, вводимых в трубку. Показатель преломления всякий раз получался равным отношению среднего расстояния между узлами в опыте без шаров и в опыте с шарами.

Одна из созданных моделей работала в области отсутствия аномальной дисперсии, и точность измерения  $n$  не выходила за пределы 0,4% от значений, найденных теоретически. В другой модели размеры и расстояния между шарами были подобраны так, что для изучаемых длин волн уже имела место аномальная дисперсия. При этом согласие экспериментально полученного показателя и вычисленного теоретически было меньшим  $\sim 1\%$ , так как значительное затухание колебаний приводило к менее отчетливым пыльным фигурам.

В пятой главе Кастерин изучил вопрос о свободных колебаниях, возможных в безграничной неоднородной среде зернистого строения в

отсутствие внешних источников колебаний, и пришел к выводу, что такие колебания возможны, причем они должны соответствовать периодам, для которых среда обнаруживает явления абсорбции и аномальной дисперсии.

Остановимся на оценке работы Кастерина.

Мы уже указывали на то, что Комиссия из виднейших русских ученых признала его труд выдающимся событием научной жизни не только в России, но и за границей. За этот труд Кастерин был прямо возведен в степень доктора физики. Результаты его работы быстро стали достоянием учебников и непременно цитировались в руководствах по акустике. Они побудили ряд ученых к дальнейшему изучению поставленных им вопросов.

В 1928 г. к нему обратился немецкий физик Шульц, изучивший работу Кастерина (по предварительному сообщению), с просьбой прислать ему один экземпляр диссертации, хотя бы и на русском языке. Далее он пишет, что намерен заняться разработкой проблемы «Рас-seяние звуковых волн в неоднородной среде». Есть другие указания на большой интерес к работе Кастерина.

Однако, как это часто бывает в истории науки, когда возникает непосредственная потребность в использовании тех или иных идей, они часто оказываются забытыми.

В связи с быстрым развитием замедляющих систем повысился интерес к закономерностям периодических структур. К сожалению, мало кому известно, что первый установил ряд закономерностей периодических структур неоднородных сред русский физик Кастерин в 1898—1904 гг.

Нетрудно видеть, насколько прав был Кастерин, исходя из факта существования аналогии между явлениями абсорбции и дисперсии света в оптических средах с этими же явлениями в неоднородных акустических средах. Найдя закономерности абсорбции и дисперсии для акустических сред, он значительно продвинул вопрос об этих закономерностях в оптических средах, и это подтвердилось непосредственно радиотехнической практикой.

Отметим, что замедляющие системы нашли в наше время широкое применение не только в радиотехнике, но и непосредственно в акустике (линии задержки в ультраакустике и др.). Что же касается моделирования различных систем с последующим их изучением ультраакустическими методами для выяснения структуры молекул, межмолекулярных взаимодействий и многих других вопросов, то эти методы находят применение в молекулярной акустике. Однако при этом о работах Кастерина опять же почти не упоминается, особенно в работах молодых исследователей. Из сказанного следует, что изучение работ его, посвященных закономерностям периодических структур, представляет интерес и в настоящее время.

Анализируя работы Кастерина, можно прийти к выводу, что в более позднее время он не продолжил разработку идей докторской диссертации и не дал сколько-нибудь существенных работ, относящихся непосредственно к области акустики, хотя в его архивах и имеются рукописи по вопросам архитектурной акустики, влияния твердой стенки на излучение акустического вибратора.

Однако такой вывод не является правильным, если вспомнить, что в докторской диссертации Кастерин ставил целью уяснить механизм явлений абсорбции и дисперсии света в оптических средах и, лишь опираясь на аналогии со звуковыми волнами в искусственно устроенных неоднородных средах, изучал вопрос о распространении звуковых волн

(рассматривая его как более простой в экспериментальном отношении случай).

Идеи, высказанные в докторской диссертации, позволили Кастерину прийти к выяснению, например, вопроса о происхождении *донного* льда, а удачная попытка установить аналогию между явлениями в акустике и оптике — к мысли о возможности перебросить мост между механикой и электродинамикой путем обобщения уравнений аэродинамики и электродинамики, решение которой создатель квантовой физики Планк считал венцом, завершающим построение теоретической физики.

### ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ РАБОТЫ Н. П. КАСТЕРИНА

1. О поверхностном натяжении этилового эфира при высоких температурах. ЖРФХО, XXIV, 9А, стр. 196—210. 1892 г.
2. Об изменении сцепления жидкостей с температурой. ЖРФХО, XXV, 1А, стр. 51—72. 1803 г.
3. Определение постоянной капиллярности и угла соприкосновения по размерам капли. ЖРФХО, XXV, стр. 203 1893 г.
4. О дисперсии звуковых волн в неоднородной среде. ЖРФХО, XXX, 3А, стр. 61—78. 1898 г.
5. Ueber die Dispersion der akustischen Wellen in einem nicht homogenischen Medium (доклад в Академии наук в Амстердаме от имени автора проф. Камерлинг-Оннесом, напеч. в Известиях Академии наук в Амстердаме). 1898 г.
6. О звуковом давлении. ЖРФХО, XXXIV, 4Б, стр. 30 1902 г.
7. О распределении волн в неоднородной среде, ч. 1, (докторская диссертация) «Звуковые волны». Уч. зап. Моск. ун-та, отд. физики, в. 20 1904 г.
8. Материя и электричество, Изд-во Моск. ун-та 1906 г.
9. О несостоятельности принципа относительности Эйнштейна. Записки Новороссийск. ун-та. Одесса. 1919 г.
10. Вывод основных законов квантовой теории из уравнений Максвелла. ЖРФХО, VIII, 2А, стр. 285—288. 1926 г.
11. On sir J. J. Thomson's Model of Light — Quantum. From the Philosophical Magazine. 1926 г.
12. Обобщение математической формулировки закона абберации света и принципа Допплера и следствия из этого закона для опытов Майкельсона и Дайтона Миллера (доложено в Академии наук в Ленинграде). Изд-во АН СССР, стр. 226—235. 1932 г.
13. Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики. Докл. на особ. совещ. при АН СССР 1937 г.
14. Устранение аэродинамического парадокса Феликса Клейна. Вестн. Моск. ун-та, № 10. 1949 г.
15. Вихревой гистерезис (совм. с А. К. Тимирязевым и Т. М. Свиридовым). «Вестн. Моск. ун-та», № 10. 1949 г.
16. К теории образования донного льда. Доклад, прочитанный 22 окт. 1925 г. на заседании Физ. о-ва им. П. Н. Лебедева. Протоколы о-ва. 1925 г.

### ОСНОВНЫЕ ЛИТЕРАТУРНЫЕ ИСТОЧНИКИ

17. Соколов А. П., Лебедев П. Н., Жуковский Н. Е., Егоров Д. Ф., Умов Н. А. Отзыв о магистерской диссертации Н. П. Кастерина «О распространении волн в неоднородной среде», ч. 1, «Звуковые волны». М., 1903. (Рукопись. Архив Кастерина в каб. истории физики МГУ).
18. Томсон Дж. Дж. Электричество и материя. М.—Л., 1928.
19. Блохинцев Д. И., Леонтович М. А., Румер Ю. Б., Тамм И. Е., Фок В. А., Френель Я. И. О статье Н. П. Кастерина «Обобщение основных уравнений аэродинамики и электродинамики». «Изв. АН СССР», № 3, 1937.
20. Тамм И. Е. О работе Н. П. Кастерина по электродинамике и смежным вопросам. «Изв. АН СССР», № 3, 1937.
21. Тимирязев А. К. По поводу критики работы Кастерина. «Изв. АН СССР», в. 4, 1938.
22. Готт В. С. Философские вопросы современной физики, М., 1937.
23. Кудрявцев П. С. История физики, т. 2. М., 1956.
24. Спасский Б. И. История физики, ч. 2. Изд-во Моск. ун-та, 1964.
25. Кузнецов Б. Г. Развитие философских идей от Галилея до Эйнштейна, изд. 2. М., 1966.

**Р. Г. БАДАЛЬЯН**

## **ПЕРВЫЕ НАУЧНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И. В. КУРЧАТОВА**

В 1920 г., закончив с золотой медалью Симферопольскую мужскую гимназию (ныне средняя школа № 1), Игорь Васильевич Курчатов поступает в Таврический университет (ныне педагогический институт им. М. В. Фрунзе) на математическое отделение физико-математического факультета. Первым наставником И. В. Курчатова стал приехавший из Севастополя проф. С. Н. Усатый, один из видных русских электротехников. Благодаря ему и другим профессорам Таврического университета И. В. Курчатов и его сокурсники знакомились с современным состоянием физико-математических наук и приобщались к научно-исследовательской деятельности.

Весной 1923 г. Игорь Васильевич окончил третий курс университета, за летний период самостоятельно подготовил и сдал программу четвертого. В течение того же года он написал дипломную работу и досрочно закончил университет.

Первым научным исследованием И. В. Курчатова была дипломная работа на тему «Теория гравитационного элемента». Проф. С. Н. Усатый, присутствующий при защите этой работы, увидел в И. В. Курчатове будущего крупного научного работника. В 1924 г. он пригласил Игоря Васильевича в Баку на должность ассистента руководимой им кафедры физики Политехнического института.

Систематическими научными исследованиями И. В. Курчатов начал заниматься сразу же после окончания Таврического университета.

Для правильной оценки важности и направления научных исследований И. В. Курчатова в начальный период его научной деятельности следует кратко остановиться на исторических предпосылках и направлениях научных исследований крымских ученых в двадцатые годы.

Природа Крыма с ее удивительным разнообразием физико-географических условий и интересное историческое прошлое Тавриды издавна привлекали внимание многих исследователей. Не случайно поэтому в Крыму в течение XIX и в начале XX столетий организуется ряд научно-исследовательских учреждений и научных обществ: отделение Пулковской астрономической обсерватории в Симеизе, Феодосийский гидрометеорологический центр (гимецентр), Таврический университет и др.

К 1893 г. относится организация в масштабе всей России гидрологических и метеорологических наблюдений в приморских торговых портах. В соответствии с общим планом в этот период организуется и Фео-

досийский гимецентр. Непосредственными задачами работников гимецентра были, во-первых, получение имеющих непосредственное значение для судоходства сведений о времени, когда порты Черного и Азовского морей бывают доступны для судов, и о глубине воды, на которую суда могут рассчитывать как при входе в порты, так и в портовых бассейнах, и, во-вторых, соби́рание данных, знакомящих с физическим состоянием портов и позволяющих определить те технические мероприятия, которые необходимы для улучшения и расширения портовых устройств соответственно потребностям судоходства. Особенно ускоренными темпами развитие портовой гидрометеорологии началось с 1908 г., когда наряду с разнообразными запросами морского строительства стала на очередь новая задача — оповещение судов о действительном состоянии моря и погоды по пути их рейсов. Решение этих задач впервые в Крыму было поручено Гидрометеостанции Феодосийского порта.

Первая мировая, а затем и гражданская войны приостановили развитие гидрометеорологических наблюдений в Крыму. Быстрое восстановление гимеслужбы на Черном и Азовском морях и ее дальнейший рост начинаются после победы Великой Октябрьской революции. Органами Советской власти в короткий срок были обследованы гидрометеостанции всей Азово-Черноморской сети. Станции были пополнены необходимыми приборами и специальной литературой. С 1922 г. все станции Азово-Черноморского бассейна начали вести систематические научные исследования. К этому сроку относится и возобновление издания декадных «Бюллетеней погоды и состояния моря» Феодосийского гимецентра. В этих изданиях кроме метеорологических декадных сводок о состоянии Черного и Азовского морей и погоды печатались статьи описательного характера и редко — теоретические исследования работников гимеслужбы.

В «Бюллетенях погоды и состояния моря» за 1924 г. напечатано было всего восемь статей. Из них в пяти статьях описываются наблюдения различных метеорологических явлений (штормы, смерчи и др.) и только три статьи носят научно-исследовательский характер, и все они принадлежат И. В. Курчатову.

В «Бюллетенях погоды и состояния моря» Феодосийского гимецентра печатались и метеорологические наблюдения, произведенные метеостанцией Таврического университета.

Таврический университет — первое в Крыму высшее учебное заведение — возник в 1918 г., после победы Великой Октябрьской социалистической революции, в сложной обстановке гражданской войны и иностранной военной интервенции. Основная подготовительная работа для открытия университета была проделана в короткое время существования в Крыму (1918 г.) Советской республики Таврида. Правительство республики Таврида ставило и обсуждало на своих заседаниях практические вопросы по открытию университета. Чтение лекций на факультетах университета началось в мае 1918 г.

Уже в первые недели Советской власти при Военно-революционном комитете Крыма была создана Чрезвычайная Комиссия «в целях открытия для рабочих, крестьян и красноармейцев широкого доступа в Крымские высшие учебные заведения, а также в целях реорганизации высших учебных заведений в научно-учебном отношении в соответствии с существующими законоположениями о высшем образовании в Советской России...»<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Газета «Красный Крым», № 7 (41), 1921, 12 января.

В результате работы Комиссии коренным образом изменился социальный состав студентов, изменилось направление преподавания и научно-исследовательская деятельность. Работа университета была поставлена на службу революции и социалистическому строительству.

С момента открытия Таврического университета в его составе существовал физико-математический факультет. На кафедрах факультета работали профессора и преподаватели, многие из которых в советское время внесли значительный вклад в мировую науку.

В университете читали лекции и вели научно-исследовательскую работу Л. О. Кордыш, И. Е. Тамм, А. Ф. Иоффе, Я. И. Френкель, Н. М. Крылов, И. И. Тихановский, С. Н. Усатый и др.

Кафедрой физики Таврического университета в разное время заведовали А. Ф. Иоффе, Л. О. Кордыш, а с 1924 г. проф. И. И. Тихановский. Осенью 1924 г. на основе физического кабинета при университете создается физический институт.

Научно-исследовательская работа Таврического университета, переименованного с 1921 г. в Крымский университет им. М. В. Фрунзе, носила многогранный характер. Несмотря на крайне неблагоприятное материальное обеспечение, работники кафедры физики вели интенсивную работу, результаты которой докладывались на съездах и заседаниях различных научных учреждений и обществ, печатались на страницах отечественных и зарубежных научных журналов.

Для начала научной деятельности И. В. Курчатова важное значение имели научные исследования по оптике Крыма, по исследованию поляризации неба, прозрачности атмосферы, содержания пыли в атмосфере различных пунктов Крыма, электрической проводимости атмосферного воздуха, проведенные сотрудниками кафедры физики университета. Большинство из перечисленных проблем требовало организации экспедиций по Крыму с участием студентов. В результате работ, организованных кафедрой экспедиций, был выяснен суточный ход содержания пыли и электрической проводимости атмосферы в различных пунктах Крымского полуострова. Из одновременных измерений величин поляризации, числа пылинок и абсолютной влажности был определен коэффициент анизотропии молекул воздуха. Такое определение впервые в истории физики производилось в атмосфере, а не в лабораторных условиях.

Теоретическое значение исследований Крымского университета по оптике заключалось в разрешении некоторых вопросов геофизики. Но это имело, несомненно, и большое практическое значение по той причине, что во второй половине двадцатых годов Крым становится здравницей СССР (необходимость исследования прозрачности атмосферы для целей, например, фототерапии). Для Крыма, являющегося приморской местностью, имели большое значение исследования прозрачности атмосферы, фактор, определяющий крайне важное для морской метеорологии условия видимости отдельных предметов и маячных огней. Для развития этих исследований положительную роль сыграло местонахождение одной из выдающихся в то время по своему оборудованию Симензской астрономической обсерватории (необходимость исследования оптики атмосферы, накладывающей свой отпечаток на наблюдаемые астрономические явления) и др.

Таковы были исторические предпосылки, определившие направление начальной научной деятельности И. В. Курчатова в 1924 г., когда после окончания университета он поступает на работу в Феодосийский гимецентр.

В библиотечных фондах Крымского педагогического института

им. М. В. Фрунзе и Севастопольской бассейновой гидрометеорологической обсерватории Черного и Азовского морей хранятся четыре научные работы И. В. Курчатова.

Первые три работы напечатаны в «Бюллетенях погоды и состояния моря» Феодосийского гимецентра в 1924 г.— в № 27, 28 и 31. Четвертая работа, завершенная в Крыму, опубликована в Баку. Авторский экземпляр этой работы был прислан И. В. Курчатовым в дар родному вузу.

Две статьи И. В. Курчатова посвящены вопросам эрозии. Обе статьи опубликованы под одним названием: «Опыт применения фотоэлектрического эффекта для измерения мутности воды». В первой статье («Бюллетень погоды и состояния моря» № 27/51 за 1924 г.) рассматривается *эрозия ветра*.

В Феодосии в 1924 г. И. В. Курчатова проводил наблюдения над мутностью морской воды по методу, предложенному профессором Н. Н. Калитиным в 1923 г. и основанном на предположении пропорциональности между фотоэлектрическим эффектом и степенью освещения поверхности.

На фотоэлемент, излучающей пластиной которого служит натриевый столбик, помещенный в атмосферу водорода при 4 мм давления, направляется свет от сильного источника (лампочки накаливания в 800 вт) через сосуд с плоскопараллельными стенками. В цепи постоянного тока последовательно с фотоэлементом включен гальванометр, показания которого отсчитываются методом зеркала и шкалы.

Называя мутностью весовое содержание в граммах твердых частиц на литр воды, Игорь Васильевич исследует силу тока в цепи в зависимости от прибавляемых к воде взвешенных порций твердых включений и строит таблицу сил тока и соответствующих мутностей. Исследуемая вода наливается затем в указанный выше сосуд и по полученным силам тока в цепи по таблице находятся соответствующие значения мутностей. Изучив результаты многочисленных измерений, Игорь Васильевич сумел обобщить результаты экспериментов и прийти к теоретическим выводам. Для вычисления общего количества снесенных ветром в море твердых частиц он выводит формулу закона оседания мути. Допуская, что

$$dq = -aq dt,$$

где  $q$  — количество находящихся в морской воде в данный момент твердых частиц в граммах,  $a$  — коэффициент оседания,  $t$  — время в часах, он находит:

$$q = q_0 e^{-0.79t},$$

где  $q_0$  — первоначальное количество взвешенных частиц. Последнее соотношение «было затем экспериментально проверено и дало очень хорошее согласие теории с опытом», — пишет Игорь Васильевич в этой работе.

11 августа 1924 г. в Феодосии скорость ветра составила 14 м/сек. И. В. Курчатова установил, что за 7 ч ветром было снесено в море 3,5 т мути при незначительных размерах Феодосийской бухты.

Во второй статье «Опыт применения фотоэлектрического эффекта для измерения прозрачности воды» («Бюллетень погоды и состояния моря», № 31 за 1924 г.) рассматривается *эрозия дождей*. В статье доказывается, что закон, установленный для эрозии ветра, имеет место и для случая эрозии дождей. Применяя свои теоретические выводы в топографических условиях Феодосии, Игорь Васильевич опре-

делил, что 30 августа 1924 г. сильным дождем (общее количество выпавших за 5 ч осадков было равно 28 мм) с гор был снят верхний слой и снесено в море 208 т твердых частиц.

Знаменательно, что свои исследования он предназначал для практического использования. В данной работе он пишет: «Несмотря на приблизительное решение вопроса, оно в этой форме может иметь значение для геологов и строителей портов».

В «Бюллетенях погоды и состояния моря» (№ 28) напечатана третья статья И. В. Курчатова под названием «Опыт применения гармонического анализа к исследованию приливов и отливов Черного моря».

Исследования колебаний уровня морской воды по мареографическим записям установили существование приливов в Черном море. Было установлено, что кроме лунно-солнечного притяжения в Черном море играют роль и приливы метеорологического характера. И. В. Курчатов производит обработку имеющегося в распоряжении гимецентра Черного моря и Азовского морей материала для Феодосии и Поти. В связи с общим планом работ он определяет лунную полусуточную, солнечную суточную и солнечную полусуточную волны. При определении элементов лунной полусуточной волны он пользуется методом проф. Орлова, предложенным в 1914 г. (Известия АН № 7). Для определения постоянных солнечной полусуточной волны Игорь Васильевич обрабатывает полученные данные для каждого месяца с января по сентябрь 1920 г. Результаты обработки позволили ему прийти к заключению, что для Феодосии солнечную полусуточную волну можно считать постоянной. Гармоническое выделение солнечной суточной волны для Потийского материала обнаружило известное постоянство амплитуды и изменение фазы.

Летом и осенью 1924 г. И. В. Курчатов на гидрометеорологической станции в Феодосии успешно завершает предварительное изучение сейшей Азовского и Черного морей. Его четвертая работа «Сейши в Черном и Азовском морях» вышла из печати в 1925 г. в т. Баку.

До исследований, проведенных И. В. Курчатовым, вопрос о «местных» сейшах для Севастополя был рассмотрен Л. Ф. Рудовцем<sup>2</sup>, для Поти — Н. В. Малиновским<sup>3</sup>, Е. Ф. Скворцовым были исследованы причины колебания уровня морской воды в Севастополе<sup>4</sup>, необъяснимых местными условиями и вызванных характерным перемещением центров действия атмосферы. Все указанные авторы, располагая данными мареографов лишь одной станции, не могли исследовать сейши для всего бассейна Черного моря. К моменту исследований, произведенных И. В. Курчатовым, о сейшах в Азовском море ничего не было известно.

В своей работе И. В. Курчатов впервые рассмотрел сейши суточного периода в Азовском море, как всего бассейна в целом.

Используя мареографы Ейска и Темрюка и предполагая, что в Ейске существуют закономерные колебания с приблизительным периодом в 24,5 ч. и с амплитудой, достигающей 80 см, на основе анализа мареограмм, И. В. Курчатов установил, что колебания в Азовском море являются сейшеобразными. В юго-западной части Азовского моря он обнаружил обертональные сейши с периодом 6—7 ч.

<sup>2</sup> См. Л. Ф. Рудовец. О колебаниях высоты уровня в Севастопольской бухте. Метеорологический вестник, 1913.

<sup>3</sup> См. Н. В. Малиновский. Колебания уровня в Потийском порту. Записки по гидрографии, т. 47.

<sup>4</sup> См. Е. Ф. Скворцов. Исключительные по величине колебания уровня в Севастопольской бухте 21—25 сентября 1916 г. Записки по гидрографии, т. 41.



Вторая часть работы посвящена исследованию сейш большого периода в Черном море. Игорь Васильевич доказал, что прилив в Черном море представляет собою стоячую волну и что к Черному морю неприменима «статическая» теория известного профессора Кембриджского университета Георга Говарда Дарвина.

При теоретическом обосновании вопроса о сейшах в Черном море И. В. Курчатов первым предложил принять во внимание свободные колебания изучаемой системы. Исходя из ряда предположений, он создает свою теорию сейш Черного моря. Решение составленного им дифференциального уравнения позволило теоретически вычислить уровень поднятия воды для Черного моря в 7,7 см. Практические измерения высоты поднятия воды в Черном море дали 7 см. Следовательно, теоретические расчеты И. В. Курчатова оказались очень близкими к действительности в то время, как существовавшая до него теория давала расхождение с наблюдаемыми данными в 6 см.

Все указанные работы свидетельствовали о высокой математической эрудиции Игоря Васильевича Курчатова и его настойчивости в опытной проверке своих теоретических исследований. В первых научных исследованиях проявились не только превосходные экспериментаторские качества Игоря Васильевича, но и его способности к теоретическим обобщениям, которые так рельефно проявились в последующих его исследованиях в физике.

Выдающийся ученый физик, трижды Герой Социалистического Труда, четырежды лауреат Государственной премии, лауреат Ленинской премии, создатель советской атомной науки и техники, И. В. Курчатов в начале своей научной деятельности внес заметный вклад в изучение физических явлений Черного и Азовского морей.

Основы теории поверхностных волн установившегося типа в идеальной жидкости были завершены в XX в. Особенно велик вклад в эту область науки советских ученых А. И. Некрасова, Н. Е. Кочина, Л. Н. Среневского и др. Их работы позволили перейти от динамики волны малой высоты к динамике волны, высота которой сравнима с длиной. Теоретические исследования по волнам неустановившегося типа в реальной жидкости, имеющие большое прикладное значение, продолжаются и в настоящее время. Работы по современной динамике моря обогатились новыми средствами и возможностями. Это позволило выяснить решающую роль трения между струями морских течений и окружающих водных масс в задачах динамики моря.

Но работы И. В. Курчатова 1924 г. не потеряли своего исторического и практического значения. Некоторые результаты, полученные И. В. Курчатовым, используются современными авторами при изложении соответствующих вопросов.

Располагая мареграфическими записями нескольких станций, Игорь Васильевич построил общую диаграмму и в своей работе «Сейши в Черном и Азовском морях» установил, что у берегов вертикальные колебания частиц воды являются наибольшими, причем уровень у одного берега понижается как раз в то время, когда уровень у другого берега поднимается. Узловая линия проходит параллельно наименьшей стороне. Эти выводы изложены в фундаментальном труде акад. В. В. Шулейкина «Физика моря»<sup>5</sup>. Там же, на стр. 181 помещена составленная И. В. Курчатовым диаграмма.

Крымчане чтят память И. В. Курчатова. Установленные мемориальные доски свидетельствуют о том, что И. В. Курчатов учился и

<sup>5</sup> В. В. Шулейкин. Физика моря. М., Изд-во АН СССР, 1953.

работал в учебных заведениях и учреждениях Крыма. Первым весенним маршрутом отдыхающих санатория «Нижняя Ореанда» с 1950 г. стала *Тропа Курчатова*. Так называется путь на гору Ай-Никола, который был показан отдыхающим И. В. Курчатовым. Как свидетельствует инструктор физической культуры санатория «Нижняя Ореанда» В. Корякин<sup>6</sup>, Игорь Васильевич на вершине горы Ай-Никола вспомнил студенческие годы и рассказал, как он с товарищами по Таврическому университету ходил по Нижней дороге через Симеиз в Форос к отдыхающим там профессорам сдавать экзамены по некоторым предметам, чтобы досрочно закончить университет. Он хорошо знал Тавриду, так как значительную часть своей жизни провел здесь. Не одна сотня верст им была пройдена по дорогам и горным тропам солнечного края в школьные и студенческие годы.

---

<sup>6</sup> В. К о р я к и н. Тропа Курчатова. «Курортная газета», № 73 (6770), 1968, 13 апреля.

*П. Н. КНЯЖЕСКИЙ*

## **РАБОТЫ УЧЕНИКОВ П. Н. ЛЕБЕДЕВА ПО ИССЛЕДОВАНИЮ РАЗРЕЖЕННЫХ ГАЗОВ**

Первая четверть XX в. в истории физики СССР является важным периодом становления новой советской науки. В это время очень большое значение приобрела знаменитая школа П. Н. Лебедева. Направление этой школы, которое сам П. Н. Лебедев называл «химическим», впоследствии стало ядром одного из первых советских научно-исследовательских институтов — Государственного биофизического института, директором и организатором которого был талантливый ученик Лебедева академик П. П. Лазарев. Этот институт дал молодой советской науке отряд физиков, среди которых были академики С. И. Вавилов, В. В. Шулейкин, П. А. Ребиндер, чл.-корр. А. С. Предводителев, профессора Э. В. Шпольский, С. Н. Ржевский и другие.

Другим центром советской физики был Институт физики и кристаллографии при Московском университете, в котором работали ученики Лебедева — А. К. Тимирязев, К. П. Яковлев, А. Б. Млодзеевский, В. И. Романов и другие. Таким образом, школа Лебедева явилась родоначальницей советской физики в Москве.

Из большого числа вопросов, решаемых Лебедевым и его учениками, в рассматриваемый период, в этой статье мы остановимся только на работах, связанных с изучением процессов, протекающих в разреженных газах. Как известно, Лебедев многие годы занимался исследованием процессов, протекающих в разреженном газе в связи с изучением светового давления.

В 1895 г. им было обращено «внимание на то, что термоэлемент, находящийся в пустоте, обнаруживает при освещении значительно большую чувствительность, чем в воздухе»<sup>1</sup>. В 1902 г. Лебедев после детального и всестороннего изучения вопроса о поведении термоэлементов в вакууме публикует работу «Термоэлементы в пустоте как прибор для измерения лучистой энергии», в которой указывает, в частности, путь повышения чувствительности термоэлементов в несколько десятков раз — помещение их в сосуд с давлением, примерно равным 0,01 мм рт. ст. Теория данного явления на основе молекулярно-кинетической теории была разработана Смолуховским.

Работы Лебедева по исследованию процессов в разреженных газах были продолжены его учениками — П. П. Лазаревым и А. К. Тимирязевым (сын выдающегося русского ученого К. А. Тимирязева).

<sup>1</sup> П. Н. Лебедев. Собр. соч., М.—Л., изд-во АН СССР, 1963, стр. 235.

В 60-х годах прошлого века Д. К. Максвелл показал, что внутреннее трение и теплопроводность в газе не зависят от давления. Примерно через 15 лет Кунт и Варбург установили, что при значительном вакууме наблюдаются отступления от закона постоянства коэффициента внутреннего трения и теплопроводности и что эти отступления обуславливаются не уменьшением коэффициента трения и теплопроводности, а действием новых факторов — скольжением газа вдоль поверхности твердой стенки и температурным скачком на границе твердого тела и газа. Как показали Кундт и Варбург, величина скольжения обратно пропорциональна давлению, а величина температурного скачка, согласно теоретических расчетов Смолуховского, также обратно пропорциональна давлению.

Таким образом во второй половине XIX в. было установлено, что коэффициент внутреннего трения и теплопроводности в газе — величины постоянные, а наблюдаемые отступления обуславливаются действием новых факторов — скольжением газа вдоль поверхности твердой стенки и температурным скачком.

Несмотря на то, что внутреннее трение и температурный скачок насчитывали более чем полувековую историю, многие стороны этих явлений еще не были в достаточной мере изучены. Поэтому-то и посоветовал Лебедев Лазареву и Тимирязеву заняться более детальным исследованием этих процессов.

В 1911 г. в журнале Русского физико-химического общества публикуется работа Лазарева — «О скачке температуры при теплопроводности на границе твердого тела и газа».

В работе описываются те исследования, которые были проведены по установлению распределения температуры в различных слоях газа между двумя горизонтально расположенными плоскостями. Для устранения явления конвекции газа нагревалась верхняя плоскость. Между плоскостями устанавливалась разность температур в 1—20° С. Для определения падения температуры Лазарев впервые использовал термопару, которая дала возможность измерять температуру на любом расстоянии от плоскостей. В результате эксперимента было установлено, что при атмосферном давлении и при незначительном вакууме теплопроводность газа не зависит от давления. При значительном же вакууме, порядка сотых долей миллиметра рт. ст., коэффициент теплопроводности вблизи стенок изменяется, т. е. наблюдается явление температурного скачка. Величина, найденная Лазаревым для температурного скачка, вполне согласуется с величиной, найденной Смолуховским теоретически. Лазарев показывает далее, что коэффициент теплопроводности в разреженном газе имеет переменную величину. Толщина слоя газа, в котором наблюдается скачок температуры, простирается «от стенки на длину, соизмеримую со средним свободным путем молекулы»<sup>2</sup>, т. е. коэффициент температурного скачка есть величина, зависящая от давления (обратная зависимость). Величина температурного скачка, как это впервые показал Лазарев, зависит и от адсорбции газа.

В дальнейшем Лазарев по методу, предложенному Лебедевым, проследил охлаждение тел в разреженных газах. Им было установлено, что лучший проводник тепла — водород, а при высоком вакууме он лучший защитник от охлаждения.

К работе Лазарева о температурном скачке тесно примыкает и работа Тимирязева, напечатанная во «Временнике» общества имени Х. С. Леденцова в 1914 г., «О внутреннем трении в разреженных газах

<sup>2</sup> П. Н. Лазарев. Собр. соч. М.—Л., Изд-во АН СССР, т. 2, 1950, стр. 392.

и о связи скольжения с явлением температурного скачка на границе твердого тела и газа.

В работе в основу теоретических расчетов была положена молекулярно-кинетическая теория Максвелла — Больцмана, рассматривающая молекулы как центры сил отталкивания, обратно пропорциональных пятой степени расстояния.

Уравнение, определяющее количество движения, передаваемое молекулами газа неподвижной стенке, найденное Тимирязевым, аналогично уравнению Кундта и Варбурга, полученное ими из других теоретических предположений.

Используя расчеты О. Е. Мейера, Смолуховского и Лазарева, Тимирязев устанавливает зависимость между коэффициентом температурного скачка и коэффициентом скольжения,  $\alpha = \frac{8}{15} \gamma p$  (где  $\alpha$  — коэффициент скольжения, а  $\gamma$  — коэффициент температурного скачка,  $p$  — давление).

Это уравнение, впервые написанное Тимирязевым, дает возможность найти ход кривой передачи количества движения газовыми молекулами твердой стенки и сравнить ее с данными, полученными из опыта. Для построения теоретической кривой Тимирязев брал среднее значение температурного скачка, найденное в 1911 г. Лазаревым. Кривая, как это полагал Лебедев, имела точку перегиба и давление, соответствующее точке перегиба, равнялось  $2L/\Delta$ .

Тимирязевым была найдена и предельная величина количества

движения  $G = \frac{rf}{2-f} \sqrt{\frac{M}{2\pi R_0 T}} p u$  для малых давлений.

Для проверки теоретических расчетов Тимирязев разработал новый метод — метод стационарного отклонения — и построил соответствующий прибор. Схематически прибор выглядит так: на нити подвешивается цилиндр  $B$  радиуса  $R_1$ , помещенный в приводимый от электромотора во вращательное движение цилиндр  $A$  радиуса  $R_2$ . В приборе цилиндр  $R_2$  был сменным. Это давало возможность изменять  $\Delta = R_2 - R_1$ . Диаметры внешних цилиндров были подобраны так, что  $\Delta$  составляла примерно геометрическую прогрессию. Прибор давал возможность производить измерения в интервале давлений от 760 до 0,001 мм рт. ст.

Экспериментальные исследования дали полное согласие с теорией. Экспериментально было установлено, что

1) величина скольжений прямо пропорциональна средней длине пути молекулы или же обратно пропорциональна давлению;

2) коэффициенты скольжения и температурного скачка связаны соотношением  $\alpha = \frac{8}{15} \gamma p$ ;

3) если длина свободного пути молекулы  $\alpha$  больше зазора  $\Delta$  между стенками коаксиальных цилиндров прибора, то передача количества движения  $G$  не зависит от зазора  $\Delta$  и пропорциональна давлению. Из этого факта, как указывает Тимирязев, можно построить измеритель малых давлений. Такой прибор был изготовлен в лаборатории Лебедева механиком Акуловым. Логическим продолжением диссертационной

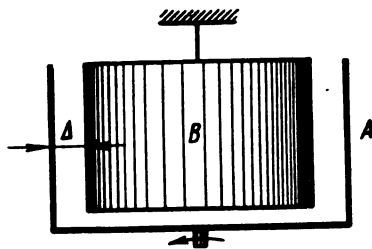


Рис. 1

работы является работа «О скольжении разреженных газов вдоль поверхности твердой металлической стенки», вышедшая в свет в 1916 г.

В этой работе Тимирязев показывает, что теория, разработанная немецким физиком Бауле для процессов, происходящих на границе металлической стенки и газа, и которая, по мнению Бауле, давала якобы лучший результат, вызывает ряд сомнений, к ним относятся:

а) насколько строение твердой стенки, используемое в теории Бауле, соответствует действительности;

б) возможно ли рассматривать каждый атом кристаллической решетки независимым;

в) почему теория Бауле не учитывает сил взаимодействия соударяющихся частиц;

г) почему теория не считается с фактом влияния адсорбции на скольжение газа.

Для того чтобы установить, верна ли теория Бауле и дает ли она действительно лучшее согласие теории и опыта, необходимо было проверить ее для большого числа различных металлов и газов. За решение этой задачи берется Тимирязев.

Экспериментируя с поверхностями, изготовленными из алюминия, никеля, золота и платины, он показывает, что лучшее согласие теории с опытом у Бауле получилось случайно, так как он воспользовался устаревшими данными о размерах молекул. Измеряя величину скольжения водорода, воздуха и углекислого газа вдоль алюминия, никеля, золота и платины и вычисляя по теории Бауле расстояние между атомами в кристаллической решетке, Тимирязев получает тот же порядок искомой величины, что и Бауле, но для одной и той же поверхности получаются различные величины (причем резко отличающиеся между собой) для различных газов.

Эти расхождения появляются лишь только потому, что, как показывает Тимирязев, теория Бауле не учитывает адсорбции газа. Следовательно, теория скольжения и температурного скачка может быть выяснена в деталях только после того, как будет изучено строение адсорбированного газа.

В 1929—1934 гг. Тимирязев разрабатывает теорию внутреннего трения в газах. Им было найдено и решено интегральное уравнение для передачи количества движения через слой газа, ограниченный двумя параллельными стенками, удовлетворяющее как нормальному атмосферному давлению, так и давлению до 0,001 мм.

Таким образом, теоретически удалось обосновать переход от давлений, при которых передача количества движения не зависит от давления, к тем условиям, когда передача количества движения прямо пропорциональна давлению. Этим самым Тимирязев объединил уравнения Кундта и Варбурга для газового слоя конечной толщины с теорией Максвелла. Работы Лазарева и Тимирязева неоднократно цитировались в зарубежных работах и учебниках. Они не потеряли значения и в настоящее время. В дальнейшем Лазарев уходит от проблем молекулярной физики. Но он до самых последних дней своей жизни интересовался работами в этой области и считал, «что молекулярная физика вообще может служить примером замечательной области точной науки, в которой исследователь свободен от шатких гипотез и формальных построений, области, в которой безупречные теоретические соображения поддаются столь же безупречной опытной проверке»<sup>3</sup>. Тимирязев в 30-х годах также оставляет работы по молекулярной физике и переключается на исследование по истории физики.

<sup>3</sup> П. П. Лазарев. Собр. соч. М.—Л., Изд-во АН СССР, т. 1, 1947, стр. 11.

**А. Ф. КОНОНКОВ**

## **ВЛАДИМИР КОНСТАНТИНОВИЧ ЛЕБЕДИНСКИЙ**

В. К. Лебединский — выдающийся русский физик и радиотехник конца XIX и начала XX столетий, талантливый популяризатор науки и техники, автор многочисленных научных трудов, учебников и научно-популярных статей.

Лебединский родился в г. Петрозаводске в 1868 г. в семье преподавателя истории средней школы. Получив среднее образование, в 1887 г. В. К. Лебединский поступил на физико-математический факультет Петербургского университета, который успешно окончил в 1891 г.

После окончания университета он начал работать там же в области экспериментальной и теоретической физики, а затем, перейдя лаборантом по физике в Электротехнический институт, занялся теоретической электротехникой. В этом институте он читал специальный курс переменных токов, организовал первый лабораторный практикум по переменному току и выполнил первую научно-исследовательскую работу «О некоторых опытах с катушкой Румкорфа», опубликованную в журнале Русского физико-химического общества, членом которого он состоял в 1893 г.

Лебединский принимает самое деятельное участие в издании журнала «Электричество», с 1906 г. становится редактором «Журнала русского физико-химического общества» (часть физическая). Вскоре он организовал научно-популярный журнал «Вопросы физики» и сумел привлечь к участию в нем самых талантливых популяризаторов науки того времени.

Владимир Константинович был непосредственным продолжателем трудов А. С. Попова в области радио и горячо отстаивал его приоритет в изобретении радио.

В 1896 г. Лебединский принимал участие в экспедиции на р. Лену в с. Чекурское для наблюдения полного солнечного затмения. В этой экспедиции ему удалось впервые получить фотографию обращения солнечного спектра.

С 1899 по 1913 г. он читает лекции по физике на курсах Лесгафта и Лохвицкой-Скалон, а затем в Военно-инженерном училище. В Политехническом институте читает курс «Электромагнитных колебаний» (1906—1913); работает в ряде других высших учебных заведениях Петербурга. В 1913 г. Рижский политехнический институт избирает Владимира Константиновича профессором по кафедре физики.

Вспыхнувшая в 1914 г. первая мировая война не дала Владимиру Константиновичу возможности выполнить начатые и намеченные им работы (так как Рижский политехнический институт после эвакуации распался) и ему пришлось работать некоторое время в Иваново-Вознесенском политехническом институте.

В 1916 г. в Петроградском политехническом институте (ныне Ленинградский индустриальный институт) Лебединский защитил магистерскую диссертацию на тему «Возникновение электрической искры и свето-электрическое действие».

Победа Великой Октябрьской революции открыла неограниченные возможности для научной деятельности Лебединского. Если за 27 лет своей научной и педагогической деятельности до революции он успел опубликовать около 100 печатных работ, то за 20 последующих лет более 200 работ. Любовь к творчеству в области радиотехники привела его на Тверскую приемную радиостанцию, вместе с которой он переезжает в г. Нижний Новгород (Горький) и там по указаниям В. И. Ленина вместе с А. М. Николаевым, В. М. Лещинским, М. А. Бонч-Бруевичем создает первую советскую радиолaborаторию. Он входил в совет радиолaborатории и с 1918 по 1925 г. являлся его председателем.

О начале пути первого научного коллектива радиоспециалистов В. К. Лебединский писал: «Маленькая ячейка из людей разного возраста и таланта, но одинаково преданных делу радио, соорганизовалась на вышеупомянутой Тверской радиостанции. Эта группа была сильна своей волей и более широкой постановкой исследовательского дела».

Еще в 1917 г. Лебединский организует при поддержке начальника Радиотелеграфа Западного фронта полковника В. Ф. Жерве и энтузиаста радиосвязи А. Н. Страхова издание журнала «Вестник военной радиотелеграфии и электротехники». Журнал печатался в г. Минске, где находился Штаб Западного фронта, а редакция была в Москве, что давало возможность Владимиру Константиновичу привлекать для участия в нем лучших специалистов-радиотехников. В 1917 г. вышло только 4 выпуска журнала и после захвата немцами г. Минска он прекратил свое существование. Функции этого журнала начали выполнять уже после победы Великой Октябрьской революции, в 1918 г., новые журналы, также издававшиеся по инициативе В. К. Лебединского при Народном комиссариате почт и телеграфов: «Телефония и телеграфия без проводов» (ТиТбп) для инженеров и научно-популярный «Радиотехник» для широкого круга технических работников, занятых на производстве радиоаппаратуры. Первые номера обоих журналов удалось напечатать лишь к сентябрю 1918 г. В своем обращении к читателям, опубликованном в первом номере журнала, Лебединский кратко сообщает историю русских журналов и формулирует направление их деятельности и задачи. Он считал, что издание специальных журналов является важным делом всей радиотехнической общественности и старался привлечь к работе в первых русских радиожурналах всех наиболее крупных и инициативных радиоспециалистов.

Известно, что начало советского гражданского радио было положено декретом «О централизации радиотехнического дела Советской республики», подготовленным при непосредственном участии В. И. Ленина. Выполняя этот исторический декрет, Народный комиссариат почт и телеграфов создал Радиотехнический совет для организации всего радиодела в стране.

Председателем Радиотехнического совета Народный комиссариат почт и телеграфов назначил члена коллегии А. М. Николаева, членами — проф. В. К. Лебединского, инженеров И. А. Леонтьева, А. С. Грам-



матчикова, А. В. Водора и трех членов представителей ведомств: ВСНХ — Е. П. Эйгнер, КВД — В. И. Ковалев и КМД — В. И. Юрьев.

Назначенный членом Радиосовета Лебединский с присущей ему энергией и энтузиазмом взялся за решение новых задач, открывших для радиосвязи советской республики широчайшие перспективы. Радиотехнический совет при Наркомате почт и телеграфов, возглавляемый А. М. Николаевым, и совет Нижегородской радиолaborатории во главе с Лебединским сыграли решающую роль в создании советской радиосети и радиотехнической промышленности СССР.

Лебединский — инициатор создания Российского общества радиоинженеров (РОРИ), на первом учредительном собрании, состоявшемся в Петрограде 1 апреля 1918 г., был избран его председателем. В первом номере журнала «Радиотехник» за 1918 г. Лебединский изложил историю возникновения этого общества, описал его организацию и дал обстоятельную характеристику его деятельности.

«Общество в Москве,— писал Лебединский,— предприняло ряд работ, из которых следует отметить проект российской сети радиостанций, участие в обсуждении декрета о радиосети, преподавание на радиокурсах, консультации членов РОРИ по вопросу о радиотелефоне при заводе инженерного ведомства, обсуждение вопроса о радиопередаче времени в Российской республике (по инициативе Главной палаты мер и весов), составление истории радиотелеграфа в России»<sup>1</sup>.

Просматривая опубликованные и архивные материалы за первые годы Советской власти, мы видим, что Лебединский был ведущим ученым развивающейся советской радиотехники. Вот что писали о Лебединском В. Ф. Миткевич и М. А. Шателен:

«В. К. Лебединский был деятелем-общественником. Работе общественной он отдавал свои силы, знания и способности. Он был организатором и первым председателем Общества радиоинженеров, организатором съезда радиоспециалистов (1921), организатором съезда физиков в Н. Новгороде (1922), был постоянным активным участником электротехнических съездов и т. д. Где бы он ни жил, он всегда погружался в общественную деятельность, читал публичные лекции в городских и заводских аудиториях Москвы, Ленинграда, Нижнего Новгорода, Сормова, Владимира и других городов, собирая вокруг себя молодых, начинающих ученых. Он никогда не жалел времени для бесед со своими учениками, толкая их на научные исследования, возбуждая в них интерес к науке. Неудивительно, что из школы Лебединского вышел ряд выдающихся исследователей в области радиотехники. Одной из важнейших сторон деятельности В. К. Лебединского было его участие в работах по созданию Нижегородской радиолaborатории. С группой энтузиастов-радиотехников (в значительной части, своих учеников) он создал Нижегородскую радиолaborаторию, сыгравшую исключительную роль в истории русской радиотехники, получившую затем имя великого электрификатора В. И. Ленина и награжденную за заслуги перед страной орденом Трудового Красного Знамени»<sup>2</sup>.

Научно-исследовательские работы Лебединского посвящены изучению свойств электрической искры, теории высокочастотного трансформатора и явления ступенчатого намагничивания.

Большую роль сыграли труды Лебединского по пропаганде и популяризации научных знаний. Статьи и книги Лебединского («Электро-

<sup>1</sup> Б. А. Остроумов. В. И. Ленин и Нижегородская радиолaborатория. М., «Наука», 1967, стр. 17.

<sup>2</sup> М. А. Шателен, В. Ф. Миткевич. Памяти В. К. Лебединского. «Электричество», 1938, № 5, стр. 68.

магнитные волны и основания беспроволочного телеграфа», «Электричество и магнетизм», «Теория электричества», «Принцип относительности в современной физике» и др.) знакомили читателей с новыми идеями и достижениями в области физики и радиотехники.

Вот как оценивал роль Лебединского в развитии русской науки советский физик и историк физики Н. А. Капцов:

«Владимир Константинович Лебединский (1868—1937) — исключительная фигура в истории электрофизики и электротехники в России. Свою почти 45-летнюю деятельность в качестве научного исследователя, блестящего преподавателя и замечательного популяризатора и пропагандиста научных знаний и идей Лебединский начал, тесно примыкая к кругу петербургских физиков и электриков. Лебединский был учеником Боргмана в теории электромагнитных явлений, преемником Чиколева в своей литературной деятельности и горячим и убежденным продолжателем дела А. С. Попова по насаждению и развитию в России радиотехники. Деятельность Лебединского в этом направлении связывает работу группы русских электротехников последних десятилетий в XIX в. с трудами Попова, с широким использованием и распространением радио в СССР.

Кипучей деятельности Лебединского наш Союз обязан как созданием многочисленных кадров радиотехников, так и осуществлением всех необходимых предпосылок для развития широкой и плодотворной научно-исследовательской работы в области радиотехники. Очень большая работа в качестве преподавателя соприкасающихся с радио областей физики, постоянное стремление охватить все новые факты, идеи и направления в этих областях, обширная литературная деятельность, а затем большая организационная работа оставляли в распоряжении Лебединского очень мало времени для полного развития его личных экспериментальных работ. Некоторые из них остались незаконченными, некоторые неопубликованными. Но и эти многочисленные работы, каждая в свое время, стоят на высоте современности и отражают новые актуальные вопросы»<sup>3</sup>.

В 1925 г. Лебединский был избран профессором физики в I Ленинградском медицинском институте и переселился в Ленинград, а с 1930 г. состоял профессором Ленинградского института инженеров железнодорожного транспорта и заведовал кафедрой физических основ электротехники. В 1933 г. назначен профессором физики в Военно-медицинской академии РККА, а в 1934 г. утвержден в степени доктора технических наук. 11 июля 1937 г. Лебединский скончался в г. Ленинграде.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Остроумов Б., Памяти В. К. Лебединского (некролог), «Успехи физических наук», 1938, т. 19, вып. 4, стр. 441—447.
2. Шателен М. А. и Миткевич В. Ф. Памяти В. К. Лебединского. «Электричество», 1938, № 5, стр. 67—68.
3. Очерки по истории физики в России, под редакцией А. К. Тимирязева. М., 1949, стр. 288—292.
4. Остроумов Б. А. Лебединский Владимир Константинович. В кн.: «Нижегородские пионеры Советской радиотехники». М.—Л., «Наука», 1966, стр. 70—83.
5. Остроумов Б. А. Памяти Владимира Константиновича Лебединского (1868—1937). В сб.: «Всесоюзная научная сессия, посвященная дню радио, дню связиста и 50-летию Нижегородской радиолaborатории им. В. И. Ленина». М., «Советское радио», 1968, стр. 3—9.

<sup>3</sup> Очерки по истории физики в России. М., Учпедгиз, 1949, стр. 288.

*А. Н. ОСИНОВСКИЙ, Ф. А. УВАРОВ*

## РОБЕРТ ВУД

Роберт Вильямс Вуд родился 2 мая 1868 г. в г. Конкорде в обеспеченной семье. Его отец был врачом, путешественником, много лет он заведовал морским госпиталем в Гонолулу. Страсть к путешествиям и приключениям он передал и своему сыну. Вскоре семья переехала в предместье Бостона. Школьные годы Вуд провел в различных частных учебных заведениях. Живой и увлекающийся мальчик не отличался усидчивостью, послушанием и особыми успехами в занятиях. Но любовь к всевозможным опытам, особенно со взрывами, проснулась уже в эти годы.

С 1887 по 1891 г. он учится в Гарвардском университете и заканчивает его с отличием по разряду химии и естественной истории. Осенью 1891 г. он переезжает в Балтимор в университет им. Джона Гопкинса с целью получить там степень доктора философии по химии. В Балтиморе он много времени уделяет опытам по спектроскопии в лаборатории известного спектроскописта Роуланда, а через год он начал работать ассистентом по химии в Чикагском университете.

Весной 1894 г. он закончил диссертацию, но тут выяснилось, что ему необходимо сдать экзамены по высшей математике и физике. Для подготовки к экзаменам он вместе с женой едет в Германию в Лейпциг к Оствальду, а затем переходит в Берлинский университет. В Берлине Вуд решает избрать полем своей деятельности физику. Работая в лаборатории обязательного физического практикума, он сразу обратил на себя внимание руководителей лаборатории, предложив более точный и простой метод определения периода колебаний крутильного маятника по сравнению с применявшимся. Этот метод лег в основу его первой публикации по физике, помещенной в «Annalen der Physik».

В Берлине он застал триумф Рентгена. Сообщение об опытах Рентгена, посланное Вудом в Америку, было первым, достигнувшим Нового света. Во время своего двухлетнего пребывания в Берлине Вуд успешно изучает газовые разряды в трубках с пониженным давлением, разрабатывает метод определения температуры в различных участках трубки с помощью болометра. Кипучий характер Вуда не позволял ему заниматься только опытами, в Германии он много времени уделяет модному тогда воздухоплаванию, знакомится с Лилиенталем, летает на его

аппарате, а часто и просто дурачится, приводя в бешенство немецкую полицию<sup>1</sup>.

По возвращении в США Вуд преподает физику в Висконсинском университете, и здесь к нему приходит мысль о написании учебника по физической оптике. Работа над книгой продолжалась пять лет и была закончена в университете им. Джона Гопкинса, с которым теперь уже связана вся дальнейшая научная и учебная работа Роберта Вуда.

Работа в университете неоднократно прерывалась его заграничными поездками. Вуд очень любил работать в самых различных лабораториях, очень быстро входил в курс дела и участвовал в исследованиях в различных научных центрах США, Англии, Германии, Франции, Швеции, Италии. Среди его соавторов — Франк, Трубридж, Зеeman, Лумис, Пикеринг и многие другие.

Научная деятельность Вуда была высоко оценена во всем мире. Он был избран иностранным членом многих академий наук мира, получил целый ряд почетных медалей, среди них: медаль Румфорда от Лондонского королевского общества, золотая медаль Итальянского научного общества, медаль Дрэпера от Национальной академии наук в Вашингтоне и т. д.

Роберт Вуд умер 11 августа 1955 г. в возрасте 87 лет.

Замечательные экспериментальные исследования Вуда охватывают различные области физики и техники, но особенную ценность представляют его работы по физической оптике.

Период наибольшей творческой активности Вуда совпал с расцветом классической электронной теории и электродинамики Максвелла. К этому времени Рэлею удалось разработать единую теорию волновых процессов, которая естественным образом охватывала различные явления природы, в том числе акустические и электромагнитные волны. Вуд отчетливо понимал эту волновую общность явлений природы и поэтому теоретические построения Рэлея стали руководящими в его экспериментальных исследованиях взаимодействия света с веществом. Ему принадлежит честь показать экспериментально с большой наглядностью и убедительностью, что атомы могут резонансно поглощать излучение подобно осциллятору, настроенному на определенные частоты. Испускание света резонирующим газом долгое время ускользало от наблюдения, так как наблюдения обычно проводились при недостаточно низком давлении.

Еще в 1904 г. правильно учтя влияние давления, Вуд получил возможность наблюдать резонансное свечение паров натрия, заключенных в хорошо эвакуированную стеклянную трубку, при освещении натриевым излучением. Для наблюдения резонансного свечения паров ртути Вуд сконструировал специальную лампу, принцип действия которой нашел затем широкое применение в спектроскопических исследованиях. Дело в том, что в обычной газоразрядной лампе резонансное излучение на выходе теряет самую активную центральную часть линии, происходит так называемое самообращение линии. В лампе Вуда, во-первых, давление паров понижалось за счет охлаждения катодной части трубки проточной водой, во-вторых, разрядный светящийся столб отклонялся к стенке действием специального электромагнита. И то и другое существенно снижало эффект самообращения резонансной линии. Используя

<sup>1</sup> Эта сторона жизни Вуда прекрасно описана Сибруком в его книге «Роберт Вуд», переведенной и изданной у нас (М. — Л., Гостехиздат, 1946).

полученное таким образом излучение для освещения рядом расположенной кварцевой кюветы с парами ртути и выделяя из него с помощью фильтров различные спектральные участки, Вуд мог наблюдать воздействие различных спектральных линий ртутного разряда на атомы ртути, невозбужденные и возбужденные (с помощью другой ртутной лампы).

Эта ставшая уже классической методика контролируемого оптического возбуждения явилась весьма важным средством для изучения возбужденных состояний атомов и процессов их возбуждения и дезактивации. С ее помощью Вуду удалось объяснить основные особенности в возбуждении ртутного спектра, наблюдать ступенчатое возбуждение атомов ртути и подтвердить степенные соотношения интенсивностей линий, начинающихся со ступенчатого возбужденных уровней. В этих же опытах Вуд обнаружил тушение резонансного излучения атомами примеси, когда атомы ртути из излучающего состояния переходят в метастабильное состояние за счет столкновений с атомами азота. В последующих экспериментах Вуду удалось также осуществить резонансное поглощение излучения атомами, предварительно возбужденными в слабом электрическом разряде.

Вуд впервые экспериментально обнаружил и исследовал так называемое «пленение радиации» оптически плотной средой, которое заключается в практически полном поглощении первоначального излучения и последовательном многократном его переизлучении атомами. «Пленение радиации», как оказалось, играет существенную роль во многих физических явлениях, связанных с переносом энергии в неравновесной плазме. Например, без его учета невозможно дать правильное истолкование оптических свойств плазмы газового разряда. Поэтому вплоть до настоящего времени проводились и проводятся исследования переноса излучения. Здесь следует отметить работы Земанского, Кен-ти, Фабриканта и в особенности Бибермана, разработавшего теорию диффузии резонансного излучения.

Дальнейшим продолжением спектроскопических работ Вуда явились его исследования резонансного поглощения и излучения молекул. Здесь следует отметить прежде всего выдающиеся работы Вуда по наблюдению резонансных спектров натрия и иода. Для наблюдения этих спектров, содержащих огромное число близко расположенных линий, Вуд использовал светосильный монохроматор, освещаемый от солнца или угольной дуги, что позволило использовать узкий спектральный участок возбуждающего излучения в любой области спектра. Получавшееся чрезвычайно слабое резонансное свечение паров фотографировалось с помощью спектрографа большой разрешающей силы. Использование такого весьма селективного и в то же время достаточно мощного источника возбуждения, сопряженного с уникальным по своим качествам спектрографом, позволило Вуду детально проследить за появлением и исчезновением групп спектральных линий (так называемых резонансных спектров) по мере изменения длины волны возбуждающего излучения. Как писал Вуд, «при медленном изменении длины волны возбуждающего света линии спектра флуоресценции двигались самым оживленным образом. Весь спектр казался в движении, светящиеся полосы перемещались подобно обликам лунного света на воде. Вскоре выяснилось, что это движение представляет собой иллюзию, вызванную постоянным появлением и исчезновением линий»<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> Р. Вуд. Физическая оптика. ОНТИ, М.— Л., 1936, стр. 653.

Чтобы дать представление о трудностях, с которыми сталкивался экспериментатор в этих опытах, достаточно отметить, что в опытах с фотографированием резонансных спектров натрия нужно было применять экспозиции от 8 до 20 часов и при этом все время поддерживать правильное горение дуги. А в опытах по исследованию резонансных спектров иода Вуд использовал пятый порядок плоской дифракционной решетки и объектив с фокусным расстоянием 12,5 м, регистрируя до 18 линий на 1 Å, всего около 36000 линий.

Значение этих экспериментов трудно переоценить. Был получен богатый экспериментальный материал, подтвердивший справедливость теории Бора, а в руках физиков-экспериментаторов оказался весьма эффективный способ исследования возбужденных состояний атомов и молекул. Изучая резонансные спектры, Вуд положил начало исследованиям электронно-колебательных состояний молекул по их изучению, что в дальнейшем привело к экспериментальному обоснованию молекулярной спектроскопии. Предложенная Вудом методика широко применяется и в настоящее время. Можно, к примеру, указать на ее использование в изучении природы, открытых проф. Шпольским и его сотрудниками, квазилинейчатых спектров сложных ароматических углеводов, замороженных в парафинах.

Вуд далеко не ограничился только вопросами резонансного поглощения излучения. Можно сказать, что все явления, связанные с осцилляторной моделью атома, как бы они ни были тонкими и ускользающими от наблюдения, оказались в поле зрения Вуда. Сюда относятся исследования аномальной дисперсии, магнитного вращения плоскости поляризации, явления Зеемана, магнитного двойного лучепреломления, комбинационного рассеяния света и т. д. Эти исследования, с одной стороны, способствовали предельно четкому обоснованию волновой теории света и теории квазиупругого атомного электрона, а с другой стороны, они отчетливо выявили классическую односторонность и недостаточность этих теорий для объяснения всей совокупности экспериментальных результатов, что впоследствии привело к появлению теории Бора и созданию квантовой механики.

Вуду принадлежит большое число оригинальных опытов и демонстраций по различным разделам физической оптики. Как известно, последовательность интерференционных колец Ньютона совпадает с последовательностью зон в зональной пластинке. Вуд воспользовался этим для получения зональной пластинки фотографированием колец Ньютона. В дальнейшем ему удалось осуществить фазовую пластинку, в которой нечетные зоны оставались прозрачными, но получали сдвиг на полволны за счет уменьшения гравированием толщины лаковой пленки в пределах этих зон. Фазовая пластинка давала увеличение интенсивности в фокусе вчетверо, как это и следовало из расчета Рэлея.

Вуд обратил внимание на то, что глаз, смотрящий из воды в воздух, захватывает больший угол зрения, чем глаз, находящийся в воздухе. С помощью сконструированной им фотокамеры «рыбий глаз» он получил необычные фотоснимки с углом зрения около 180°. Эта идея Вуда используется в настоящее время для конструирования широкоугольных объективов, применяемых в аэрофотосъемочной аппаратуре.

В экспериментах Вуда поражает оригинальность их замысла, мастерство выполнения, умение получить из данных условий опыта максимум возможного. Многие из результатов его измерений до сих пор остаются рекордными. Известно, что под влиянием продольного магнитного поля происходит вращение плоскости поляризации электромагнитной

волны. Этот эффект проявляется тем сильнее, чем ближе длина волны к центру линии поглощения. Вуд, используя свой спектрограф, смог зафиксировать поворот плоскости поляризации на  $140^\circ$ . Исследуя главную серию линий поглощений натрия, он доводит число отмеченных линий до 60 и при этом открывает новое важное явление поглощения за концом серии. Изменяя условия возбуждения водорода в разрядной трубке, он изобретает весьма эффективный метод получения атомарного водорода и регистрирует 22 линии бальмеровской серии, превывсив более чем вдвое достигнутый к тому времени результат. Он изготовил 40-футовый спектрограф с громадной даже по нынешним временам дисперсией, с помощью которого ему удалось проделать много спектроскопических измерений, в том числе разрешить спектр поглощения иода.

Работая с проф. Роуландом, Вуд предложил метод изготовления специальных дифракционных решеток с концентрацией энергии в нужном порядке дифракционного спектра. Этот метод с успехом применяется и ныне в производстве решеток высокой разрешающей силы, обеспечивающих большой световой поток в нужном интервале длин волн. Исследуя спектры поглощения, Вуд изобретает светофильтры, выделяющие ультрафиолетовое и инфракрасное излучение. Этим самым было положено начало интенсивным исследованиям свойств ультрафиолетового и инфракрасного концов спектра теплового излучения, что привело к реализации многих их практических применений, начиная от фотодифракирования в невидимых лучах и кончая приборами ночного видения.

Во всех изысканиях Вуда проступает его яркая индивидуальность, выражающаяся в умении ставить наиболее существенные и интересные задачи, находить нехоженые и вместе с тем поразительно простые пути для их решения. Отсюда следует простота средств, быстрота осуществления экспериментов и обилие открытий и изобретений.

Замечательной особенностью исследований Вуда является их тесная связь с практическими применениями. Подавляющее большинство его открытий сразу же переносится на практическую основу. Так, изобретение фильтра для ультрафиолетового излучения дало возможность получать в «чистом» виде поток ультрафиолетового излучения. Ультрафиолетовые лучи сразу же нашли применение в лабораторных исследованиях по физике, в прикладном люминесцентном анализе, в криминалистике и т. д. Изучая ультразвуковые волны, Вуд обнаружил возможности практического применения их для приготовления тонких эмульсий, для обработки стекла и т. д.

Роберт Вуд проявлял большой интерес к нашей стране. Он побывал в России в 1896 г., проехав по Транссибирской магистрали до Томска. Кроме того, он был в Петербурге, Москве и на Нижегородской ярмарке. Вуд ездил в Россию со своим приятелем Виллардом, журналистом, который по просьбе Л. Н. Толстого доставил ему через А. П. Чехова ряд запрещенных книг Толстого, изданных за границей. И в дальнейшем его интерес к России не ослабевал, он следил за развитием советской физики, был знаком с рядом советских физиков, вел переписку с некоторыми из них. Наконец, Вуд был избран иностранным членом-корреспондентом АН СССР. Понятно, что как физик-оптик он интересовался в первую очередь научными исследованиями по оптике, русскими учеными-оптиками и научными учреждениями, работающими в области оптики. Среди этих лиц и учреждений должны быть названы Д. С. Рождественский и Государственный оптический институт. Роберт Вуд был предшественником Д. С. Рождественского по изучению аномальной дисперсии в парах натрия.

В своих работах 1902—1904 гг. он разработал простой, но очень красочный метод наблюдения аномальной дисперсии, который и ныне применяется в лекционных демонстрациях. Но количественные результаты, полученные Вудом, не отличались точностью. Рождественский в своих классических исследованиях аномальной дисперсии в парах металлов получил надежные результаты благодаря созданному им методу «крюков». Эта работа Рождественского, а также работа по изучению спектра поглощения иода вызвали интерес у Вуда и он пишет Рождественскому письмо, в котором предлагает встретиться зимой 1914 г. в Париже или Берлине, но встреча не состоялась из-за занятости Рождественского на съезде русских учителей физики.

В 1934 г., выступая на Менделеевском съезде, Рождественский обратил внимание на малую изученность спектров тяжелых элементов, особенно редкоземельных, и предложил создать Комиссию по редким землям при АН СССР. Эта Комиссия была создана. Перед членами Комиссии, которую возглавлял Рождественский, стояла очень сложная задача, не решенная нигде в мире.

Учитывая, что Роберт Вуд являлся иностранным членом нашей Академии наук, Рождественский предлагает ему участвовать в работе Комиссии. Кроме того, в лаборатории Вуда были заказаны дифракционные решетки для этой работы.

Вуд очень горячо откликнулся на приглашение Рождественского и в марте 1936 г. прислал телеграмму о своем согласии летом 1936 г. приехать в Ленинград для работы в Комиссии и привезти с собой требующиеся дифракционные решетки. Но телеграмма к Рождественскому не поступила. Обеспокоенный молчанием Вуд пишет письмо: «Дорогой проф. Рождественский, сейчас же по получении Вашего письма я телеграфировал Вам, что мисс Вуд и я можем приехать в Ленинград этим летом, причем я предлагал привезти с собой решетки и принять участие в Вашей комиссии в отношении предлагаемой работы, которая мне представляется очень важной. Не получив от Вас ответа и спецификации трех дифракционных решеток, которые Вам нужны, я теряюсь в догадках, какие же могли возникнуть затруднения». Из-за целой цепи недоумений этот приезд Р. Вуда в нашу страну не состоялся.

В 1936 г. в СССР был издан перевод третьего издания известной книги Роберта Вуда «Физическая оптика». Перевод книги был сделан в кратчайший срок. Главным редактором был академик Рождественский.

В работе по переводу участвовали лучшие силы Оптического института: академики Д. С. Рождественский, С. И. Вавилов, А. А. Лебедев, профессора Т. П. Кравец, А. Н. Филиппов, К. К. Баумгарт, М. В. Савостьянова, А. П. Афанасьев и др. Книга была снабжена большим предисловием Д. С. Рождественского, в котором был дан подробный разбор как самой книги, так и характеристика Р. Вуда, как ученого. Ее украшал портрет Р. Вуда, присланный им самим. Несмотря на большой срок, прошедший со дня выхода в свет, она и сейчас не потеряла своего значения. Это не учебник, с помощью которого начинающий студент может изучать оптику. Это руководство для изучения оптики на последующем этапе. Хочется привести слова Рождественского об этой книге: «Много в литературе книг по анализу спектров, по строению атомов и молекул, много классических курсов оптики, но книга Вуда — единственная в своем роде. И нет более увлекательного предмета изучения для экспериментатора, который уже воспринял обычную систему изложения оптики, выработанную десятилетиями и тем самым легкую и гладкую. Оптика Вуда сразу раскроет читателю



заглаженные шипы, заразит его великим недовольством искателя, стремлением понять глубже, а главное живее, действеннее, захватит его бурным полетом к конечной цели экспериментатора — отклонению явления, но также покажет ему, как велико может быть наслаждение самим процессом эксперимента, его техникой».

Научная деятельность Вуда, «чародея и виртуоза эксперимента», как метко назвал его С. И. Вавилов, несомненно является предметом нашего восхищения и заслуживает самого внимательного изучения.

## ЧЕТВЕРТАЯ МЕЖВУЗОВСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ИСТОРИИ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИХ НАУК<sup>1</sup>

Многолюдно было 29 января 1968 г. в Доме политического просвещения Тамбовского обкома и горкома КПСС. На IV межвузовскую научную конференцию по истории физико-математических наук в областной центр прибыли ученые из многих городов Российской Федерации и союзных республик.

Конференцию открыл ректор Тамбовского педагогического института В. И. Спасский, Я. П. Терлецкий и др. Секретарь обкома КПСС О. К. Сазонова во вступительном слове подчеркнула, что инициатива Тамбовского педагогического института по вопросу организации конференции была поддержана Министерством просвещения РСФСР, Советским национальным объединением историков естествознания и техники, а также историками физико-математических наук Московского университета. Конференция вызвала большой интерес у работников высших учебных заведений, научно-исследовательских институтов, преподавателей школ, общественности Тамбова. В 1958 г. в Тамбове состоялась I межвузовская конференция по истории физики. Нынешняя — четвертая по счету — конференция также проходит в Тамбове.

На первом пленарном заседании с докладом «Развитие истории естествознания в СССР за 50 лет» перед участниками конференции выступил докт. физ.-мат. наук Григорьян.

Присутствующие с большим вниманием слушали выступление известного историка физики доктора физико-математических наук профессора Тамбовского педагогического института П. С. Кудрявцева, в котором он затронул некоторые проблемные вопросы истории науки, в особенности вопрос о преподавании этого предмета в вузах СССР.

Ярким и интересным был доклад «К истории создания первого советского ядерного реактора» старшего научного сотрудника Института атомной энергии имени И. В. Курчатова — И. С. Панасюка. После доклада был показан научно-популярный фильм, посвященный процессу создания первого советского ядерного реактора.

30 и 31 января проходила работа по секциям: истории математики, механики и астрономии, истории отечественной физики, общей истории и методологии физики. На секциях было заслушано около 100 научных докладов и сообщений.

<sup>1</sup> Сб. «Вопросы истории физико-математических наук». Тамбов, 1968.

Целый ряд докладов посвящался подведению итогов развития советской истории физики, физико-математических наук, а также методики физики за годы Советской власти. «Примечательным является тот факт, — писала газета «Народный учитель», — что на IV межвузовской конференции по сравнению с тремя предыдущими было представлено значительно большее количество докладов, рассматривающих историю крупных проблем физико-математической науки: вопросы становления физических понятий и представлений, вопросы истории развития методов исследования и разработки важнейших теоретических концепций.

Вместе с тем внимание исследователей по-прежнему привлекали труды отдельных выдающихся деятелей физико-математической науки, работы представителей различных школ и направлений, имевших наибольшее значение в развитии точных наук.

### РЕКОМЕНДАЦИИ

IV межвузовской научной конференции по истории и методологии физико-математических наук, проведенной в г. Тамбове  
29 января — 1 февраля 1968 г.

IV межвузовская конференция по истории и методологии физико-математических наук отмечает, что за 5 лет, прошедших с предыдущей конференции, историки физико-математических наук добились значительных результатов.

Возросло количество работ, больше научных работников стало заниматься вопросами истории науки, шире и разнообразнее стала тематика исторических исследований, существенно повысился их научный уровень. Советская история физико-математических наук неуклонно развивается.

Вместе с тем конференция считает, что комитет Советского национального объединения не налажил должным образом координации исследований, взаимной информации учреждений и групп, ведущих исследования по истории науки. Комитет слабо информирует историков науки о намечающихся конференциях и симпозиумах как внутри СССР, так и международных.

Комитет мало интересовался вопросами преподавания, подготовки кадров и повышения их квалификации.

Конференция постановляет:

1. Рекомендовать научным работникам, занимающимся научно-исследовательской работой в области истории и методологии физико-математических наук, и далее повышать уровень научных исследований, настойчиво добиваться новых успехов в развитии этой важной отрасли советской науки.

2. Довести до сведения Комитета мнение конференции о недостатках его работы и просить Комитет принять все необходимые меры к их быстрейшему устранению.

3. Обратиться в Министерство высшего и среднего специального образования СССР с просьбой об издании периодического журнала по истории естествознания.

4. Поставить вопрос перед учебно-методическими отделами соответствующих министерств о включении в учебные планы педагогических институтов, университетов курсов по истории естествознания.

5. Обратиться в Министерство высшего и среднего специального образования СССР и Министерство просвещения СССР с ходатайством

о создании при МГУ курсов по повышению квалификации преподавателей истории естествознания.

6. Рекомендовать организацию научных семинаров по истории наук там, где есть соответствующие коллективы.

7. Просить Министерство высшего и среднего специального образования РСФСР и Министерство просвещения РСФСР оказать содействие в издании трудов настоящей конференции.

Президиум конференции

Тамбовская конференция имела важное значение для координации исследований в области истории физико-математической науки. Она явилась своего рода смотром достижений в этой области научного познания. Вместе с тем конференция нацелила работников научно-исследовательских учреждений и вузов на дальнейшее повышение уровня исследований по истории наук<sup>2</sup>.

---

<sup>2</sup> «Народный учитель», № 5 (317), 8 февраля 1968 г. (орган партбюро, ректората, комитета ВЛКСМ, профкома и месткома Тамбовского государственного педагогического института), стр. 1.

*Л. Л. ВЕЛИЧКО, А. Н. ОСИНОВСКИЙ*

## **ПЕРВАЯ МЕЖВУЗОВСКАЯ УКРАИНСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ИСТОРИИ ФИЗИКИ**

С 21 по 23 октября 1968 г. в г. Симферополе проходила I межвузовская конференция историков физики Украинской ССР, организованная по инициативе Министерства просвещения УССР, Сектора истории естествознания и техники Института истории АН УССР, Украинского отделения Советского национального объединения историков естествознания и техники, Крымского педагогического института им. М. В. Фрунзе.

На конференции были представлены университеты и педагогические институты Киева, Львова, Ровно, Черновиц, Винницы, Луцка, Одессы, Симферополя, Харькова, Иваново-Франковска, Каменец-Подольска, Славянска, Кременца и других городов Украины. Гостями конференции были историки-физики из ряда городов Российской Федерации: Москвы, Чебоксар, Улан-Удэ, Владимира.

Конференцию открыл вступительным словом председатель Оргкомитета ректор Крымского пединститута доцент А. Ф. Переход.

Участница XII Международного конгресса историков науки в Париже ст. науч. сотр. Института истории естествознания и техники АН СССР О. А. Лежнева рассказала о работе Конгресса и ознакомила участников конференции с его итогами.

На пленарном заседании с большим докладом, посвященным развитию физики на Украине, выступил руководитель секции истории физики Украинского объединения истории и философии наук доцент Г. Г. Кордун (Киев). В своем докладе Кордун остановился на работах В. И. Данилова по исследованию молекулярной структуры жидкостей при помощи рентгеновских лучей, выполненных в Днепропетровском физико-техническом институте (1932) и рассказал о работах по физике жидкого состояния, ведущихся Киевским, Львовским, Днепропетровским университетами, в Институте металлофизики АН УССР.

Вклад принципиальной важности в развитие теории жидкого состояния был осуществлен в 1946 г. профессором Киевского университета ныне академиком Н. Н. Боголюбовым. В монографии «Проблемы динамической теории в статфизике» Боголюбов рассмотрел математический аппарат коррелятивных функций, позволяющий заменить сложную задачу о прямом вычислении статистического интеграла для жидкостей более простой задачей о нахождении небольшого числа функ-

ний от малого количества аргументов, и создал статистическую теорию жидкостей. Эта теория позволила вычислить многие равновесные свойства простых жидкостей. Идея Боголюбова была успешно применена во Львовском университете для развития статистической теории растворов электролитов.

Далее Кордун рассмотрел работы А. З. Голика по изучению вязкости, плотности, теплоты испарения, критических параметров и других физических свойств жидкостей и жидких растворов, работы физиков Одесского университета, исследовавших кинетику испарения и конденсационного роста капель воды и водных растворов в широком интервале температур, давлений и влажностей.

Значительное место в выступлении Кордуна заняли вопросы развития радиофизики и электроники на Украине. Прослежена деятельность школы радиофизиков в Харькове, работавшей ряд лет под руководством Д. А. Рожанского (А. А. Слуцкий, Д. С. Штейнберг), создание действующего макета радиолокатора в 1938 г., работы А. Я. Усикова и его сотрудников в Институте радиофизики и электроники (ИРЭ АН УССР). Исследование распространения радиоволн над поверхностью раздела двух сред привело сотрудников этого института к открытию нового научного направления — радиоокеанографии. Методы этой области радиофизики позволяют с помощью радиосигналов получить данные о морских волнениях.

Украинскими радиофизиками проведены важные исследования по измерению радиоизлучения космических источников, Солнца и галактического фона на декаметровых и более коротких волнах. С этой целью группа ученых Института радиофизики и электроники во главе с чл.-корр. АН УССР С. Я. Брауде создала специальную радиоастрономическую аппаратуру, с помощью которой создается каталог радиозвезд, составляются карты космического радиоизлучения и т. д.

Исследования по физической электронике сосредоточены преимущественно в Киеве — в Институте физики АН УССР, в Киевском университете и др. Здесь экспериментально и теоретически была исследована проблема электронно-эмиссионных явлений. Это привело к созданию термоэлектронного преобразователя, позволяющего преобразовывать тепловую энергию непосредственно в электрическую.

Доклад Кордуна вызвал интерес у собравшихся и обмен мнениями. М. М. Гольдберг (Львов), много и давно работающий по истории термодинамики, в своем докладе дал периодизацию истории термодинамики и указал место классического наследия Гиббса в развитии этой науки.

Доцент Р. Г. Бадалян (Симферополь) выступил с двумя докладами. Один из них был посвящен И. В. Курчатову, который является выпускником Таврического университета (ныне Симферопольский пединститут). Автору удалось разыскать первые научные публикации И. В. Курчатова, которые хранятся в библиотечных фондах Крымского пединститута и Севастопольской бассейновой гидрометеорологической обсерватории. Работы Курчатова посвящены изучению мутности морской воды, приливам и отливам Черного моря и сейшам Черного и Азовского морей. Докладчик дал анализ этих работ и показал, как уже в них проявился будущий крупнейший ученый.

Второй доклад был им сделан на секции методологии истории физики и методики ее преподавания и был посвящен некоторым определениям и понятиям механики в свете исторического развития физики. В докладе Р. Г. Бадалян критикует некоторых авторов современных учебников, которые, пользуясь традиционными методами изложения

учебного материала по физике, дают такие определения различных понятий и величин, которые противоречат принятым в современной науке.

Так, К. А. Путилов в «Курсе физики» дает определение массы как количества материи в теле. Что же такое количество материи, он не выясняет. Далее, используя понятие массы, он определяет количество движения как произведение массы на скорость тела. Правда, при этом автор делает оговорку, что такое определение количества движения справедливо для материальной точки.

Во избежание таких неточностей, снижающих методологическое содержание науки, Р. Г. Бадальян предлагает провести разграничение понятий, относящихся к материальной точке (траектория, перемещение, скорость, ускорение и т. п.), от понятий, относящихся к протяженным телам (угол поворота, угловая скорость, момент инерции и т. п.).

В докладе сказано также об ошибках, допускаемых при введении понятий энергии, и работы, которые происходят из формального определения работы; обосновывается утверждение о целесообразности переноса изложения законов сохранения в раздел динамики изменяемой системы материальных точек и т. п.

Ряд докладов был зачитан научными работниками Черновицкого университета М. С. Шульгой, Г. Ф. Королюк и Л. Л. Онишук. Эти доклады показали, что в Черновицком университете создается новая группа активно работающих украинских историков физики. Г. Ф. Королюк выступила с докладом «Развитие физики в Черновицком университете», в котором дала обзор научных исследований, выполненных сотрудниками кафедр общей физики, теоретической физики, кафедры полупроводников, оптики начиная с 1947 г. Жаль, что в сообщениях не был отображен досоветский период в деятельности университета, основанного в 1875 г.

В совместном докладе группы черновицких историков физики «Отечественная физика в первые годы Советской власти» (1917—1924) был кратко охарактеризован этот интереснейший период становления советской физики и высказано пожелание использовать этот материал при изучении курса общей физики.

В докладе «Вопросы истории отечественной физики в преподавании общего курса физики в университетах» М. С. Шульга рассмотрел с помощью таблиц «заселенность» наиболее распространенных вузовских учебников историческим материалом, посвященным развитию отечественной физики, исследованиям русских и советских ученых. Эти таблицы показывают заметный спад исторического материала в учебниках последних лет. В учебнике «Молекулярная физика» братьев Кикоиных не упоминается даже М. В. Ломоносов. В курсе оптики И. В. Савельева нет имени П. Н. Лебедева. С целью улучшения знания студентов по истории физики в Черновицах проводится ряд мер: введены рефераты по историческим вопросам, исторические вопросы вводятся в экзаменационные билеты, организован научный семинар по истории физики, выпускаются бюллетени: «Видные отечественные ученые», «Отечественные ученые — лауреаты Нобелевских премий», «Физики — лауреаты Ленинских и Государственных премий», «Советская физика за 50 лет» и т. д. Создана детальная картотека — хронология отечественной физики и техники (1904—1967).

В. М. Верхунов (Чебоксары) рассмотрел основные этапы развития квантовой радиофизики. Первый шаг был сделан В. К. Аркадьевым. В 1908 г. он открыл, а в 1913 г. разработал классическую теорию резонансного поглощения и дисперсии ферромагнетиков в магнитных полях.

В 1923 г. Я. Г. Дорфман высказал идею магнитоспинового резонан-

са, а также предсказал идею существования «ферромагнитного эффекта» — изменения магнитного состояния парамагнетиков под воздействием радиочастотного излучения.

Эйнштейн и Эренфест теоретически доказали, что изменение ориентации дипольных моментов атомов в магнитном поле должно сопровождаться излучением или поглощением электромагнитных волн. Затем автор рассматривает работы Клитона и Вильямса, В. Л. Гинзбурга и Ван-Флека, Е. К. Завойского и его группы и, наконец, работы Нобелевских лауреатов А. М. Прохорова и Н. Г. Басова (СССР) и американских физиков Гордона, Цайгера Таунса, приведших к созданию молекулярных генераторов — лазеров.

Во втором докладе В. М. Верхунова «Развитие физики в Киевском университете» (1834—1960) дана краткая характеристика развития физики в Киевском университете со дня его основания до 1960 г., а также намечена периодизация: Первый период — 1834—1865 гг.; второй период — 1865—1890 гг.; третий период — 1890—1917 гг.; четвертый период 1918—1941 гг.; пятый период охватывает послевоенные годы. В докладе был охарактеризован каждый период развития физики в Киевском университете.

Интерес представляет также доклад К. В. Альбина (Симферополь) «О научном наследии профессора Крымского государственного педагогического института Е. Ф. Скворцова».

Проф. Е. Ф. Скворцов работал в Крымском педагогическом институте с 1926 по 1952 г. Он был талантливым ученым и замечательным педагогом. Под руководством Е. Ф. Скворцова было проведено 14 гидрологических экспедиций по Черному морю. Эти экспедиции дали богатейший материал для изучения гидрологического и биологического режимов Черного моря. Работая в Симеизском отделении Главной астрономической обсерватории в течение лета 1929 и 1931 гг., Е. Ф. Скворцов открыл 8 астероидов и вычислил их орбиты. Много внимания Е. Ф. Скворцов уделял молодежи, ее воспитанию и подготовке специалистов. Некоторые его ученики стали известными астрономами, например А. И. Лебединский, Д. Я. Мартынов, М. С. Эйгенсон, Л. И. Галкин и др.

Е. Ф. Скворцов создал в Симферополе отделение Всесоюзного астрономо-геодезического общества. Кроме того, он организовал кружок молодых любителей астрономии, который в настоящее время носит название СОЛА (Симферопольское отделение любителей астрономии).

Н. П. Назюта (Львов) рассмотрела некоторые работы Эйнштейна по классической статистике. В сообщении выявлена связь работ Эйнштейна с работами Гиббса, отмечен разный подход этих ученых к проблемам классической статистики.

Н. И. Иванов (Улан-Удэ) и А. Н. Осинковский (Владимир) посвятили свое выступление видному русскому оптику, одному из создателей оптико-механической промышленности в дореволюционной России Александру Львовичу Гершуну, столетие со дня рождения которого отмечалось в 1968 г. Н. И. Иванов рассказал также о деятельности сына А. Л. Гершуна А. А. Гершуна, рано умершего талантливого советского оптика, автора широко известной монографии «Теория светового поля».

На секции методологии истории физики и методики ее преподавания, кроме рассмотренных научных докладов Р. Г. Бадальяна и М. С. Шульги, интерес представили сообщения Б. Ф. Ерицпохова (Славянск), занимающегося трудными вопросами аксиоматики физики, Г. Н. Лысенко (Кременец) «К истории вопроса о силах инерции», С. А. Церковницкого (Луцк) «Значение исследований по истории физики



и методики физики для прогнозирования развития школьных программ по физике», Д. Р. Калапуши (Луцк) «Некоторые вопросы истории развития метода моделирования и использования его элементов при изучении физики» и др.

В последнем докладе прослежены этапы развития метода моделирования, начиная с механики Ньютона и кончая квантовой механикой. Примеры, приводимые автором, показывают, что возможно строить модели атомных явлений по аналогии с моделями макроскопических явлений, хотя такие модели и не могут полностью отображать явлений оригинала. В докладе Г. Н. Лысенко (Кременец) «К истории вопроса о силах инерции» была проанализирована многочисленная литература по этому вопросу (Б. Н. Юрьев «Опыт новой формулировки основных законов механики», Р. С. Акопян «О природе всеобщего тяготения и сил инерции», С. Э. Хайкин «Что такое силы инерции» и «Силы инерции и невесомость» и др.) и отмечена запутанность и сложность его объяснения. Из доклада следует вывод о том, что всякая попытка обосновать реальность сил инерции ссылками на практику, на общую теорию относительности только еще больше запутывает этот вопрос. Если рассматривать его с точки зрения классической механики, то он будет вполне ясен.

Была заслушана информация ст. редактора издательства «Просвещение» Л. Л. Величко о готовящемся к печати двухтомном труде «Развитие физики в России», о содержании книги, ее авторах.

На конференцию был представлен ряд интересных докладов и сообщений, авторы которых не смогли по различным обстоятельствам прибыть в Симферополь.

Среди них доклады: Иваненко Д. Д. (Москва) «Основные периоды советской физики», П. С. Кудрявцева (Тамбов) «Вклад С. И. Вавилова и А. К. Тимирязева в историю физики»; Б. И. Спасского (Москва) «О понятии структуры в физике»; А. Ф. Кононкова (Москва) «В. И. Ленин и развитие радио в первые годы Советской власти» и ряд других.

Первая украинская конференция по истории физики показала, что украинские ученые, преподаватели вузов и средних школ проводят интересные исследования в области истории физики, полезные для улучшения преподавания физики в высших и средних учебных заведениях и для патристического воспитания учащихся.

## РЕШЕНИЕ ПЕРВОЙ УКРАИНСКОЙ МЕЖВУЗОВСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ ПО ИСТОРИИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК

г. Симферополь

21—24 октября 1968 г.

За последние годы значительно оживились исследования в области истории физики в УССР. Этому в значительной мере содействовал постоянно действующий семинар по истории физики, организованный в Киевском педагогическом институте им. А. М. Горького, в котором принимают участие члены секции истории физики Украинского отделения Советского национального объединения историков естествознания и техники, среди которых около 50 научных работников-преподавателей университетов, педагогических вузов, сотрудников сектора истории естествознания и техники Института истории АН УССР (руководитель семинара и секции доцент Г. Г. Кордун).

Выполненные исследования по истории развития физики предоставили возможность Министерству просвещения УССР, сектору истории

естествознания и техники Института истории АН УССР, Украинскому отделению Советского национального объединения историков естествознания и техники, Крымскому педагогическому институту им. М. В. Фрунзе организовать с 21 по 24 октября 1968 г. и провести в г. Симферополе Первую Украинскую межвузовскую конференцию по истории физических наук. В проведении конференции большую подготовительную и организационную работу выполнили сотрудники кафедры физики Крымского государственного педагогического института им. М. Ф. Фрунзе во главе с деканом факультета, зав. кафедрой физики, доцентом Р. Г. Бадальяном.

В работе конференции участвовали научные работники педагогических институтов, университетов, технических и сельскохозяйственных институтов, института истории естествознания и техники АН СССР, ст. редактор издательства «Просвещение» Л. Л. Величко и др.

На конференции присутствовали руководители районных и городских методообъединений учителей физики Крымской области.

Участники конференции заслушали и обсудили 15 докладов по общим вопросам истории отечественной и мировой физики, 3 доклада по методологическим вопросам курса физики в свете исторического развития физической науки, 6 докладов по методике преподавания физики в педагогических институтах и университетах, по методике преподавания курса истории физики. На конференции были заслушаны доклады, посвященные вопросам прогнозирования развития школьных программ по физике в свете исследований по истории физической науки. Тезисы запланированных докладов были изданы Крымиздатом в брошюре объемом 6,5 п. л., тиражом в 300 экз.

Особого внимания заслуживают доклады, сообщения и опубликованные материалы доктора проф. Д. Д. Иваненко (Москва), доктора, проф. Б. И. Спасского (Москва), доктора, проф. А. Х. Хргиана, старшего научного сотрудника Института истории естествознания и техники АН СССР О. А. Лежневой, старшего научного сотрудника МГУ А. Ф. Копонкова, доцентов кандидатов наук: Р. Г. Бадальяна, К. В. Альбина (Симферополь), Г. Г. Кордуна (Киев), Л. А. Манакина (Каменец-Подольск), А. Н. Иванова (Улан-Удэ), В. М. Верхунова (Чебоксары), Д. И. Полищука (Одесса), С. А. Церковницкого и Л. Р. Калапуша (Луцк), Г. Н. Лысенко (Кременец), М. С. Шульги и его сотрудников Г. Ф. Королюк, Л. Л. Онищук (Черновцы), М. М. Гольдберга и Н. П. Назюты (Львов), А. Н. Осинковского (Владимир), Б. З. Винокурова (Тамбов), Д. М. Мазуренко (Полтава), Г. С. Раздымаха (Каменец-Подольск), и. о. доцента А. М. Роголя (Ровно), В. М. Андрианова (Винница), Б. Ф. Ерицпохова (Славянск) и др.

Конференция показала, что научные работники проводят серьезные исследования в области развития физики, в улучшении преподавания курса истории физики в педагогических институтах и университетах и в освещении элементов истории физики в курсах общей физики вузов и средних школ.

Изданные материалы конференции могут служить справочником для преподавателей курса истории физики и учителей физики средних школ. Помещенные в сборнике статьи будут содействовать патриотическому воспитанию студентов и учащихся средних школ и повышению методологического уровня лекций по курсу истории физики.

Пленарное заседание конференции постановляет:

1. Считать целесообразным и необходимым систематическое проведение научных конференций на Украине по истории физики и методике ее преподавания раз в два-три года. Просить организаторов настоящей

конференции разрешить провести очередную научную конференцию в 1970 г. по теме «В. И. Ленин и физика».

2. Просить Президиум АН УССР и Министерство просвещения УССР создать на Украине постоянный периодический сборник по истории физики и методики ее преподавания.

3. Просить бюро Отделения физики АН УССР акад. АН УССР Парасюк О. С. и редакционную коллегию Украинского физического журнала (отв. редактор акад. АН УССР Лашкарев В. Е.) создать в журнале раздел истории развития физики.

4. Просить редакцию сборника «Нариси з історії техніки і природознавства» (отв. редактор акад. АН УССР Штокало И. З.) предоставлять больше места работам по истории физики, в частности опубликовать в виде статей доклады участников Первой украинской межвузовской конференции.

5. Для более широкого ознакомления историков физики нашей страны с работами украинских историков физики просить Институт истории естествознания и техники АН СССР, редакционную коллегию журнала «Вопросы естествознания и техники» (отв. ред. Плоткин С. Я.) помещать на страницах этого Всесоюзного сборника статьи историков физики нашей республики.

6. Придавая большое значение курсу истории физики в формировании специалистов-физиков, в коммунистическом воспитании учащихся, просить Министерство просвещения УССР узаконить в учебных планах физико-математических факультетов курс истории физики в объеме 56—60 часов с обязательным экзаменом.

7. Конференция обращается к преподавателям физики высших учебных заведений, учителям физики средних школ шире включать элементы истории в преподавание физики. Считать нетерпимым случаи, когда к элементам историзма относятся как к средству разгрузки курса, как к чему-то второстепенному.

8. Конференция считает необходимым обратиться к авторским коллективам и соответствующим издательствам о надлежащем отображении элементов истории в издаваемых курсах физики.

9. Просить историков физики республики приступить к разработке учебных кинофильмов по истории физики, созданию диапозитивов, плакатов, моделей исторических установок и приборов, созданию кабинетов истории физики и др.

10. Считать целесообразным в дальнейшем на заседаниях конференции шире привлекать ведущих физиков нашей страны для заслушивания их докладов о важнейших достижениях науки по всем направлениям современной физики.

11. Просить Министерство просвещения УССР выделить определенное количество мест в аспирантуру по истории физики с целью подготовки высококвалифицированных кадров для педагогических институтов и университетов Украины.

## ПУБЛИКАЦИИ

Б. Ф. КОНОНКОВ, А. В. ДИКАРЕВ

### РАБОТЫ РАДИОЛАБОРАТОРИИ 2-й БАЗЫ РАДИОТЕЛЕГРАФНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ В КАЗАНИ И ЕЕ СВЯЗЬ С НИЖЕГОРОДСКОЙ РАДИОЛАБОРАТОРИЕЙ

2-я радиолоборатория радиотелеграфных формирований в Казани и ее роль в развитии отечественной радиотехники. «Недавние сказки, мечты фантастических романов будущего, написанных пять-десять лет тому назад, далеко превзойдены действительностью. Кто бы поверил тогда, что для приема радиосигналов с любой точки земного шара вовсе не нужно будет громадных мачт с длинными сетями, что весь приемный аппарат без труда поместится прямо в комнате и даже займет в ней очень немного места... И совсем недалек тот момент, когда весь приемник с усилителем и прочими принадлежностями будет весить два-три фунта и занимать объем небольшой книги, ... и гражданин этого близкого будущего ... выедет по окончании дневных трудов на велосипеде в лес или в поле, захватив с собой приемник и, расположившись на лоне природы, в условленный час прослушает концерт перво-классных артистов мира, послушает мировых ораторов, а не то, так хроннику мировых событий и происшествий, переданную на том языке, которым он владеет».

В этих строках наша действительность. А между тем эти строки — уже история. Взяты они из первого номера журнала «Радиотехнические известия 2-й базы радиотелеграфных формирований», вышедшего в ноябре 1920 г. в Казани. Автор их — Анатолий Васильевич Дикарев. В годы голода и разрухи, когда Россия находилась в кольце блокады, этот человек возглавил вторую опытную лабораторию. Это о ней писал В. И. Ленин<sup>1</sup>:

«т. Горбунов!

Я читаю сегодня в газетах, что в Казани испытан (и дал прекрасные результаты) *рупор*, усиливающий телефон и говорящий *толпе*.

Проверьте через Острякова. Если верно, надо поставить в Москве и в Питере, и, кстати, проверьте всю их работу.

Пусть дадут мне краткий *письменный* отчет:

- 1) календарная программа их работы;
- 2) то же — говорящей телефонной станции на 2000 верст в Москве.

<sup>1</sup> В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 53, стр. 159—160.

Когда будет готова.

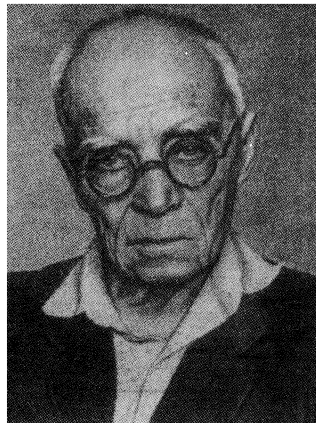
3) То же приемники. Число изготавливаемых.

4) То же — рупоры.

Привет!

*Ленин».*

В начале 1916 г. в Петроградский электротехнический институт поступило из Франции новейшее по тому времени радиооборудование для русской армии, состоявшее из значительного количества трехламповых усилителей низкой частоты («три-теров») с необходимыми комплектами аккумуляторов, нескольких самолетных радиотелефонных передатчиков (работавших на приемных усилительных лампах) и других радиоприборов, а также нескольких тысяч (запасных) усилительных ламп. Углов, бывший тогда начальником радиокабинета электрошколы, организовал испытание и продвижение этого снаряжения на фронт с предварительным инструктажем военных радиотелеграфистов, для которых написал книгу «Усилительные лампы» с общедоступным пояснением принципа действия усилительной лампы и схемы «три-тера». Эта первая в России книга по практической ламповой радиотехнике была срочно отпечатана литографским способом в 1917 г. и в течение нескольких лет была единственным руководством для радиотелеграфистов, работающих с французскими усилителями низкой частоты.



А. В. Дикарев

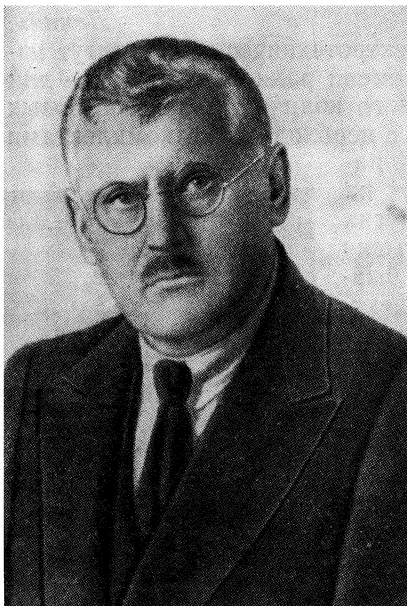
Весной 1918 г. при эвакуации из Петрограда Углов перевез радиокабинет в Саратов, а ранней осенью того же года по распоряжению Главного военно-инженерного управления (ГВИУ), в подчинение которому перешел радиокабинет, перевез его в Москву, где он существовал несколько лет под названием «Военная радиотехническая лаборатория».

В ноябре этого же года Дикарев, тогда бывший начальником центральной практической радиостанции радиороты Запасного электробатальона, также эвакуированного из Петрограда в Саратов, был откомандирован в Московскую радиотехническую лабораторию на должность лаборанта. Другим лаборантом был Л. С. Термен, еще раньше откомандированный из запасного электробатальона в эту лабораторию. Помощником лаборанта работал Н. И. Серпухов, а вместо ушедшего впоследствии для продолжения образования Термена в лабораторию пришел Б. А. Введенский. Несколько позже в лаборатории стал работать также В. В. Огиевский.

Дружная группа молодых сотрудников лаборатории во главе с Угловым стремилась к практическому овладению новой тогда техникой радио, зарождались и обсуждались мысли о создании мощного радиотелеграфа, чувствительных усилителей, об осуществлении пишущего радиоприема с его возможностью быстрого действия, о передаче с рамочной антенной и т. д. Дикаревым проводилась работа по изучению ночного эффекта в радиопеленговании с применением французского пеленгатора с вращающейся рамкой и восьмиламповым усилителем.

Л. С. Термен конструировал гетеродин для приема работы станций лезагущими колебаниями. Углов разрабатывал схему пишущего приема и оригинальную схему радиотелефонного передатчика, и 8 фев-

раля 1919 г. сделал доклад на заседании только что основанного Российского общества радиоинженеров (одним из членов-основателей которого он являлся). В этом докладе он показал теоретически и подтвердил на опыте возможность применения в радиотелефонном передатчике сколь угодно большой мощности обыкновенного маломощного угольного микрофона, применяемого в проводочной телефонии, путем использования каскадной схемы усилителя высокой частоты и обратной связи.



А. Т. Углов

В апреле 1919 г. Углов принял предложение комсостава создавшейся тогда в Саратове 2-й базы радиотелеграфных формирований возглавить базу и уехал в Саратов, сдав военную радиолaborаторию М. В. Шулейкину. Дикарев поехал вместе с Угловым.

ГВИУ разрешило взять базе остатки электролаборатории бывшего Западного фронта. Этот небольшой набор разнокалиберных электроизмерительных приборов (около 30), в который, однако, входило несколько чувствительных приборов постоянного тока, плюс несколько волномеров и других радиоприборов, составил основное оборудование организованной впо-

следствии радиолaborатории Казанской радиобазы, позволившее выполнить ряд работ в совершенно новой тогда области радиотехники.

В Саратове 2-я радиобаза проработала около двух месяцев и была переброшена в Казань. Дикарев был назначен начальником центральной практической радиостанции. Здесь он продолжил свои наблюдения ночного эффекта, начатые в Москве, и построил необходимый для этой работы чувствительный усилитель [2].

Основные трудности Дикарев испытывал при создании непроволочных резисторов для цепей анодов, достаточно устойчивых во времени и, главное, малошумящих. Эта задача потребовала больше трех месяцев опытных изысканий. И осенью 1919 г. девятиламповый усилитель заработал нормально. Он работал настолько бесшумно, что при приеме на 7 ламп при замкнутом накоротку входе казался «мертвым» (тогда как сигналы Эйфелевой башни были слышны на всю комнату). Слабозаметный на головной телефон собственный шум усилителя получался только при 8 лампах; при 9 лампах усилитель шумел все же меньше французского «три-тера». Достаточная стойкость анодных и сеточных регистров была доказана трехлетней работой сконструированного позже шестилампного усилителя в трудных метеорологических условиях дальнего севера на острове Диксон, где он был применен астрономом А. Н. Нефедьевым для приема сигналов времени [4].

Девятиламповый усилитель был началом дальнейшей конструктивно-исследовательской деятельности 2-й радиобазы Казанской группы радистов; а кроме того, он же обусловил успешное проведение опытов первой в Союзе двухсторонней радиотелефонной связи на больших расстояниях.

Почти одновременно с окончанием разработки девятилампового усилителя Дикарев изготовил по просьбе начальника Казанской радиостанции Волжско-Камской военной флотилии И. Д. Дмитриева по имевшемуся в базе французскому образцу гетеродин для приема работы незатухающими колебаниями с диапазоном 300—20 000 м [3].

В конце декабря 1919 г. база получила официальный приказ срочно организовать производство девятиламповых усилителей и гетеродинов для Красной Армии. С получением этого приказа Углов официально организовал Радиолaborаторию базы, назначив Дикарева ее заведующим по совместительству с должностью начальника центральной радиостанции базы.

**Радиолaborатория 2-й радиобазы.** Радиолaborатория, организованная в конце января 1920 г., помещалась на Арском поле, на окраине города, в небольшом деревянном доме, примыкавшем к зданию центральной радиостанции базы, получившей отличную Г-образную антенну, натянутую на двух деревянных мачтах высотой 60 и 50 м, снабженную обширным проволочным заземлением. Впоследствии Углов добавил к нему проволочный противовес, значительно уменьшивший сопротивление излучения антенны. Антенна подключалась к вводным изоляторам радиостанции или Радиолaborатории наружным переключателем. Площадь занимаемых лабораторией комнат составляла первое время около 40 кв. м; впоследствии она удвоилась.

Важное оборудование Радиолaborатории представлял также центральный коммутатор, помещавшийся в средней комнате, к которой были подведены напряжения нескольких источников питания, а именно: городской осветительной сети с напряжением 120—130 в постоянного тока; 10-квт генератора постоянного тока радиостанции, вращаемого бензиновым двигателем; 1000-периодного 10-квт умформера радиостанции; стационарной батареи, состоящей из 60 банок аккумуляторов буферного типа, соединявшихся либо на 6 в для питания накала ламп радиотелефона (током около 75 а), либо на 120 в при зарядке непосредственно от городской сети. Любое из этих напряжений могло быть подано в любую комнату Лаборатории простым включением двух штепселей. Имелись также переносные аккумуляторы.

В первые два месяца существования Радиолaborатории в ней постоянно работали Углов и Дикарев, затем пришли братья Зенон и Лонгин Виткевич, а впоследствии и вспомогательный персонал.

Углов недолго работал систематически в Лаборатории. У него не было для этого времени, и он приходил в Лабораторию обычно по вечерам. Когда он получил удовлетворившие его результаты опытов радиотелефонирования, он прикомандировал к лаборатории З. В. Виткевича, преподававшего в школе базы радиотехнику, и поручил ему дальнейшую работу, состоявшую в постепенном увеличении мощности передатчика и в его окончательном оформлении, причем Виткевич ежедневно докладывал Углову о проделанной работе и получал дальнейшие указания и пояснения. Зенон Владиславович Виткевич обладал способностями экспериментатора и быстро добивался на опыте наилучших результатов. Он был отличным организатором. Впоследствии он без отрыва от производства, вместе с братом Л. В. Виткевичем, П. Н. Гуровым и другими, окончил курсы радиоинженеров, организованные при Горьковском университете Угловым, и руководил разработками образцов радиопередатчиков.

В работах Радиолaborатории время от времени принимал участие Александр Генрихович Шмидт, начальник школы базы, окончивший

Петроградский электротехнический институт. Он участвовал в опытах дальней двухсторонней радиотелефонной связи между Казанью и пароходом «Радищев» и выполнял другие разработки. Вот и все активные сотрудники Радиолaborатории Казанской радиобазы.

Официальное назначение Радиолaborатории первоначально состояло в изготовлении с помощью мастерских радиобазы аппаратуры для радиосвязи, в которой нуждалась Красная Армия. Прежде всего она нуждалась в гетеродинах для перехвата передач белогвардейских радиостанций, работавших незатухающими колебаниями, и затем — в чувствительных усилителях для пеленгаторных радиостанций, производивших радиоразведку неприятеля.

**Гетеродины и шестилампные усилители 2-й радиобазы.** Благодаря простоте схемы и конструкции гетеродин был быстро запущен в производство по чертежам, снятым с изготовленного Дикаревым раньше образца. Его схема — трехточечная с заземлением середины катушки индуктивности. При четырех поддиапазонах он перекрывал диапазон 300—20 000 м [3].

В период 1920—1923 гг. было изготовлено около 150 гетеродинов. В 1923 г. по просьбе проф. В. И. Баженова Дикарев изготовил для Люберецкой приемной радиостанции 5 гетеродинов с диапазонами около 5000—20 000 м, питаемых одной лишь батареей накала, аноды ламп этих гетеродинов были приключены непосредственно к плюсу батареи накала, к которому также непосредственно были присоединены и плюсовые выводы нитей накала ламп. Энергия колебаний этих гетеродинов была ничтожна, но в то же время достаточна для обеспечения максимально возможной при данной силе принимаемого сигнала громкости тона биений (при условии достаточной связи гетеродина с приемником с помощью катушки связи). Пять приемников с этими гетеродинами работали в Люберцах одновременно, не мешая друг другу, что было невозможно с обычными гетеродинами, имеющими анодные батареи высокого напряжения.

Построенный Дикаревым девятиламповый регенеративный усилитель со связью первых шести каскадов на  $RC$  и остальных — на трансформаторах низкой частоты имел большое число ручек управления: общий выключатель накала, три выключателя накала ламп 7-го, 8-го и 9-го каскадов, три переключателя головного телефона к выходам 7-го, 8-го и 9-го каскадов<sup>2</sup> и 5-кнопочный переключатель обратной связи и регулятор обратной связи. Дикарев считал такой усилитель сложным в обращении для военной обстановки, обладающим излишней чувствительностью и решил разработать шестилампный регенеративный усилитель со связью только на  $RC$ . Он был сконструирован к маю 1920 г. и имел всего две ручки управления: переключатель на 4 или 6 ламп, он же переключатель головного телефона и общий выключатель накала, и регулятор обратной связи. Благодаря рациональному монтажу длина проводников, соединявших отдельные детали схемы, не превышала 2—3 см — он давал хорошее усиление на всем применявшемся тогда диапазоне волн. 6-ламповых усилителей в течение 1920—1923 гг. было изготовлено в количестве около 50 экз., главным образом для пеленга-

---

<sup>2</sup> В последующих экземплярах девятиламповых усилителей выключатели накала последних каскадов и переключатели телефона были объединены в одной конструкции.



торных радиостанций. Дикарев изготовил конденсаторы и резисторы для этих усилителей и выполнил их монтаж.

Так как шестиламповые усилители по чувствительности удовлетворяли требованиям потребителей, то девятиламповых усилителей было собрано всего 4 шт. Один из них был установлен в поезде штаба Главного командования Красной Армии. Один — на Московской приемной радиостанции военного ведомства, два оставались в Радиолоборатории радиобазы.

**Опыты радиотелефонирования.** Углов был первым советским радиоинженером, предложившим применить для амплитудного модулирования телефонного передатчика большой мощности обыкновенный мало-мощный угольный микрофон, включенный не в антенный контур, как это делалось до тех пор, а в первый каскад усилительной схемы передатчика, содержащей несколько каскадов усиления, обеспечивающих получения заданной выходной мощности. Осуществление этой простой идеи многокаскадного усилителя в схеме радиотелефона Углова [5], [6] совершенно оригинально и не повторено, по-видимому, никем.

В его схеме микрофон, зашунтированный небольшой катушкой индуктивности, включен в колебательный контур, настроенный на волну, излучаемую антенной, и связывающий антенну индуктивно с сеткой первого каскада передатчика. Связи между первым и вторым, вторым и третьим каскадами и антенной — индуктивные, с ненастроенными контурами. Подбором этих связей и индуктивностей катушек при надлежащих коэффициентах трансформации, т. е. согласовании импедансов выходов и входов каскадов, достигалась максимальная отдача энергии в нагрузку ламп (признак — холодные, не покрасневшие аноды ламп) и надлежащая глубина модуляции.

Таким образом, в схеме Углова применена обратная связь, обуславливающая генерацию колебаний высокой частоты и вместе с тем позволяющая применить маломощный микрофон для достаточно глубокой модуляции несущей. Характерная особенность: микрофон питается высокой частотой — нет ни батареи, питающей микрофон постоянным током, ни каких бы то ни было деталей низкой частоты, нет железа. Малые токи высокой частоты, протекающие через микрофон, не удалось тогда измерить за неимением высокочувствительного миллиамперметра или терморпары — наощупь микрофон (типа МБ-5) оставался совершенно холодным. Для получения наивысшей четкости речи уменьшали количество угольных зерен в микрофонном капсюле, чтобы он не был набит плотно и зерна лежали свободно.

Как уже упоминалось выше, начало опытов Углова с этой схемой радиотелефона относится к 1919 г., когда он был начальником Московской радиолоборатории. Но создавшиеся условия не позволили ему продолжать эти опыты, и они были возобновлены лишь осенью 1919 г. в Казани.

За неимением более мощных, генераторных ламп Углов построил свой передатчик на французских усилительных лампах. Начав изучение схемы с однокаскадного передатчика на трех-четырех лампах, Углов постепенно увеличивал число ламп, применив два каскада при общем числе ламп до 35, а при дальнейшем увеличении числа ламп до 100 — три каскада.

Потребовалось несколько месяцев опытной работы с малоламповой схемой, чтобы практически освоиться с ней и получить ясное практическое представление о взаимоотношениях всех ее деталей. Эта работа производилась так: Углов собрал схему на столе в своей квартире, поль-

зуюсь для питания анодов напряжением городской осветительной сети (300 в постоянного тока) небольшой, 6-вольтовой батареей аккумуляторов для накала ламп. Такой же передатчик был собран в комнате, где жил Дикарев (с А. Г. Шмидтом), в помещении радиобазы. У обоих экспериментаторов были небольшие антенны и детекторные радиоприемники. Опыты производились по вечерам, в нерабочее время. Один из них, обычно Углов, регулировал связь между контурами схемы или другие ее параметры и тотчас же запрашивал другого, как это отразилось на качестве и громкости: руководясь ответом, он производил дальнейшую регулировку схемы.

Такая опытная работа повторялась при каждом значительном увеличении мощности передатчика, т. е. увеличении числа ламп, но в дальнейшем она требовала все меньше времени благодаря уже полученным экспериментаторами представлениям о роли различных связей и зависимостей между элементами передатчика. Оказалось возможным отказаться от содействия корреспондента — вместо этого экспериментатор стал сам слушать свою передачу с помощью головного телефона, включенного в детекторный аperiodический контур, связанный индуктивно с антенной.

Следующим этапом опытов явился «выход в свет» — передача с большой антенной из организованной к тому времени Радиолaborатории базы. Опытные передачи начинались обращением к потенциальным слушателям «всем, всем, всем», хотя эти «все» были тогда лишь немногие единицы (приемные и передаточные радиостанции Наркомпочтеля). Теперь уже слушатели критиковали передачу и в случаях интересной для передатчика перерегулировки схемы (передатчика) сообщали на радиобазу ее результаты. Можно отметить, что недостатка в таких любезных сообщениях, иногда за тысячу километров, не было. Радиостанции, имевшие передатчики, отвечали по очереди (ключом, конечно) — постоянными корреспондентами 2-й радиобазы были Саратов, Обдорск, Югорский Шар, изредка Архангельск, отвечали и другие радиостанции.

В первые же месяцы опытных передач, примерно в конце января — в феврале 1920 г., были произведены опыты передачи фортепианной музыки, передавались прелюды и ноктюрны Шопена, исполнителем которых был Дикарев. Музыкальные передачи особенно горячо принимались радиослушателями, но давались сравнительно редко.

Главнейшей целью опытов радиотелефонирования было достижение наивысшего возможного качества передаваемой речи, и для самоконтроля экспериментатор всегда слушал свою передачу через головной телефон. При малейшей шероховатости, нечистоте звука экспериментатор подрегулировал те элементы передатчика, от которых, по его опыту, зависело качество передачи.

К 15 мая 1921 г. З. В. Виткевич закончил оформление в сравнительно небольшом шкафике сконструированного им образца 100-лампового радиотелефонного передатчика (до этого времени передатчик представлял собой «летучую схему» — набор катушек, конденсаторов, панелей с лампами, разложенный на рабочем столе). Он описан в статье Виткевича «Радиотелефон в лаборатории 2-й радиобазы» («Техника Связи», № 4—5, 1923, стр. 40—45), в которой приведены все его технические данные, принципиальная схема и фото. В описанной выше большой антенне этот передатчик давал около 5,5 а до добавления к антенне противовеса и около 6,3 а после устройства противовеса.

В конце 1922 г. или в начале 1923 г. проф. М. М. Богословский, бывший тогда консультантом лаборатории Треста слабого тока, прислал

Углову 5 экз. своих генераторных ламп мощностью 200 вт. Они немедленно были применены во втором и третьем каскадах радиотелефона Углова (в первом каскаде осталось по-прежнему 3 французских усилительных лампы). На аноды генераторных ламп было дано 2000 в от умформера трофейной английской полевой дуговой радиостанции. В антенне эта установка дала примерно около 7 а при обычных отличных качествах передачи речи и музыки. Лампы Богословского с никелевыми цилиндрическими анодами проработали около полугода при ежедневной передаче от 1 до 2 час, причем под конец на анодах образовались дырки величиной с горошину, но лампы не «засветились» и продолжали работать нормально с чуть заметным раскаливанием анодов.

В первый рейс «Радищева» летом 1920 г. Дикарев мог принимать передачи Казани на кристаллический детектор (без усилителя) на расстоянии до 200 км; на причале в Нижнем Новгороде шестилампный усилитель обеспечивал громкоговорящий прием, не заглушаемый даже работой Нижегородской 10-киловаттной искровой радиостанции. Казань слышала «Радищева» с большим запасом громкости. При дальнем рейсе в Астрахани пароходом принимались передачи Казани до конечного пункта рейса, находившегося на взморье в 1010 км от Казани. В Казани телефонная передача была слышна до расстояния около 800 км, затем речь стала тонуть в шумах помех, и пароход был вынужден перейти на телеграфную передачу ключом незатухающими колебаниями, которые отлично были слышны в Казани до конечного пункта рейса.

Все радиосвязи с пароходом проходили в дневное время. Подробности некоторых связей описаны Угловым в «Радиотехнических Известиях 2-й базы радиотелеграфных формирований», где приведены также протоколы официальных испытаний радиотелефона представителями морского и воздушного флота.

Опыты двухсторонней связи были повторены и летом следующего года между Казанью и пароходом «Декабрист» при его рейсе по Каме, а также с пароходом «Котя», арендованного Нижегородской радиолaborаторией, на котором был установлен 60-ваттный радиотелефонный передатчик системы Бонч-Бруевича, связь радиотелефоном проводилась и с пароходом «Керженец», который отвечал ключом.

В начале 1921 г. проведена была связь радиотелефоном с вагонной искровой радиостанцией, построенной А. Г. Шмидтом, работавшей на ходу поезда на антенну, натянутую над крышами вагонов на высоте 0,8 м. На приемник вагонной радиостанции с применением шестилампного усилителя были хорошо слышны передачи Казани на расстоянии в 340 км. Дальше вагон не пошел [7].

В первой половине 1921 г. З. В. Виткевич сконструировал образец самолетного радиотелефонного передатчика на 10 усилительных лампах. Он был испытан на самолете «Илья Муромец» с хорошими результатами и позже, в декабре 1921 г. — на земле (по причине большой тяжести аккумуляторов питания) представителями Воздушного флота, давшими ему положительную оценку.

По инициативе З. В. Виткевича в начале 1923 г. был поставлен еще один оригинальный опыт применения схемы радиотелефона Углова в полевой радиостанции. Известная старым радистам переносная искровая радиотелеграфная станция завода «Сименс и Гальске» с питанием от генератора переменного тока, прозванная солдатами «шарманкой», была переделана им на радиотелефонную с передатчиком на французских усилительных лампах. Для получения анодного напряжения порядка 300 в был использован прежний генератор с ручным приводом,

остался прежний детекторный приемник, а также — антенное устройство. При испытании двух таких радиостанций, разнесенных на 25 км — предельную дальность связи ключом непеределанных станций, — телефонная связь оказалась вполне удовлетворительной, контрольные телефонограммы были приняты без ошибок и повторений. Но практического применения новая схема не получила, так как все радиостанции этого типа были переделаны, согласно предложению А. Л. Минца и Н. Н. Куксенко.

Когда начались передачи Московской центральной радиотелефонной станции, ее слушатели — радисты приемных радиостанций Наркомпочтеля — далеко не сразу стали давать одобрительные отзывы о качестве ее работы и утверждали, что Казань они слышат лучше (по-видимому, более разборчиво), чем Москву. Можно привести такой случай.

Однажды по просьбе Совнаркома Татарской республики Казань передала телефоном в Саратов сообщение для дальнейшей передачи радиотелеграфом в Ташкент. Это было еще до появления З. В. Виткевича в Радиолaborатории, и диктовал радиотелефонограмму Дикарев. Посадив рядом с собой дежурного станционного радиотелеграфиста, чтобы тот писал под его диктовку, Дикарев прочел телефонограмму один раз без повторений с такой скоростью, с какой радиотелеграфист мог записывать ее, затем попросил Саратов дать полную квитанцию (ключом, конечно). В принятой квитанции не оказалось ни одной неверной буквы, несмотря на то, что телефонограмма была полна «туземными», непривычными русскому слуху словами. Чистота и верность передачи радиотелефона Углова были исключительны хороши: «услышать» всегда означало и «понять», как бы тихо ни было слышно.

Так или иначе, дело с отзывами наблюдателей Московских радиотелефонных передач дошло до того, что Наркомпочтель предложил Углову произвести официальное сравнение слышимости Москвы и Казани. Углов ответил согласием, но с соблюдением одинаковых условий для Москвы и Казани. Это означало, что место наблюдения должно быть выбрано на различных расстояниях до Москвы и до Казани, именно пропорционально метрам перам в антеннах передатчиков. Казань тогда работала с  $5,5 \times 60 = 330$  метрамперами, а Москва — с  $40 \times 150 = 6000$  метрамперами, т. е. одинаковые слышимости Казани и Москвы при передатчиках одинакового качества должны были получаться в точках, расположенных примерно в 18 раз ближе к Казани, чем к Москве. Назначенная Наркомпочтелем комиссия выбрала место наблюдения... Ростов-на-Дону, равностоящий от Москвы и Казани. Результаты сравнения целиком определились этим «мудрым» выбором: согласно протоколу испытания [8], днем с усилителем три-тер Москва была слышна удовлетворительно, Казани не удавалось обнаружить; ночью разница в слышимости была незначительна, но качеством передачи Казани было лучше, чем Москвы.

Система радиотелефона Углова при ее весьма высоком качестве передачи звука могла быть применена для радиовещания, но сам Углов считал ее неподходящей для военных радиостанций с большим числом моментально сменяемых волн, и в разработанных впоследствии им и его сотрудниками образцах первых военных ламповых радиостанций она применена не была. Однако она послужила службу Тресту слабого тока в начале массового радиовещания в СССР в ноябре 1924 г.

Радиовещание в Ленинграде (местонахождении управления треста и большинства его заводов) должно было начаться по распоряжению правительства в годовщину Октябрьской революции в 1924 г. К этому времени было уже изготовлено несколько радиовещательных передат-

чиков по чертежам французской радиоэлектрической компании, полученным по договору с ней о технической помощи, но Центральной радиолaborатории (ЦРЛ) Треста никак не удалось заставить их «говорить» достаточно членораздельно.

Оставалось всего неделя до срока, когда Дикарев, заменяя Углова, бывшего в длительной командировке в Москве, приехал по делу в правление Треста. Удивительно унылый вид был у одного из директоров Треста, Е. Бернардели. Дикарев поинтересовался причиной такого настроения, и Бернардели сказал, что ЦРЛ подводит Трест, ей не удастся отрегулировать к сроку ни одного радиовещательного передатчика. Тогда Дикарев предложил ему использовать схему Углова, собрать которую на столе в Лаборатории можно в несколько дней; Дикарев гарантировал высокое качество передачи, семидневный срок сборки и регулировки схемы при условии, что Трест прикажет Морской радиолaborатории передать на это время в распоряжение Лаборатории большую антенну и умформер на 5000 в постоянного тока.

Это распоряжение было получено Морской радиолaborаторией раньше, чем Дикарев вернулся из Треста, и З. В. Виткевич немедленно приступил к сборке схемы Углова с однокилowаттной лампой Бонч-Бруевича, привезенной 2-й радиобазой из Казани, в выходном каскаде передатчика. Схема была отрегулирована меньше, чем за неделю, а радиовещание в Ленинграде было торжественно открыто в срок большим концертом артистов ленинградской оперы. Бесчисленные телефонные звонки на завод свидетельствовали о восторге слушателей, иногда требовавших повторения исполненного номера программы. Эта схема проработала около месяца, по вечерам, а затем заговорил, наконец, передатчик ЦРЛ на Лопуховке и... по телефону посыпались возмущенные вопросы: «Почему так испортилась ваша передача?! и т. д., на что 2-я радиобаза была вынуждена отвечать, что передачу производит теперь другая радиостанция.

Это был последний случай применения радиотелефона системы Углова.

**Опыты телефонирования по проводам на большие расстояния.** Применение усилительной лампы для усиления микрофонного тока, смодулированного голосом, представляло собой простейший способ увеличения дальности телефонного разговора, и Углов решил попробовать этот способ. Для этого в начале 1920 г. он построил трехкаскадный 12-ламповый усилитель низкой частоты с трансформаторной связью, входом, рассчитанным на некоторый средний рабочий импеданс обычного угольного микрофона, и с выходным трансформатором с несколькими выводами вторичной обмотки для согласования с импедансом телефонной линии. Лампы использовались в усиленном режиме при 5 в накала и 300 в анодного напряжения. В первом и втором каскадах было по 2 лампы, в выходном третьем — 8 ламп в параллель. Мощность, потребляемая анодами ламп выходного каскада, равнялась 60 вт.

Первые опыты телефонирования с этим усилителем были проведены на Центральном телеграфе Казани: на самых дальних линиях громкость приема получалась оглушительная. Тогда для испытания на дальность усилитель с батареями питания и зарядным агрегатом с бензиновым двигателем был погружен в товарный вагон, и Н. В. Чистовский с механиком отправился в командировку для опытов односторонней передачи телефонного разговора (второго усилителя еще не было) в Казань по железным телеграфным проводам. Дважды в сутки в условное время, отцепив вагон на какой-либо станции, Чистовский говорил, включив усилитель через конденсатор к телеграфному проводу и к земле, а Ка-

зань слушала (приключив таким же образом полевой телефонный аппарат к телеграфному проводу и к земле). Удовлетворительная слышимость получалась на расстоянии около 600 км от Казани. Дальнейшие опыты были прекращены ввиду протеста железнодорожников — их телефонная служебная связь нарушалась передачей Чистовского, по индукции воспринимавшейся телефонными проводами.

**Громкоговорители.** При (вышеописанных) опытах телефонирования по обычным линиям телефон микрофонной трубки сильно перегружался даже на расстояниях порядка 50—70 км, и Дикареву пришла мысль испытать с микрофонным усилителем Углова более мощный телефонный приемник. В техническом имуществе базы было несколько форпостных телефонов завода «Сименс и Гальске», применявшихся в первую мировую войну, причем телефон служил и микрофоном, и вся линия не требовала батареи питания. Форпостный телефон имел большие постоянные магниты весом около 0,25 кг и большую толстую мембрану диаметром около 90 мм. При первой попытке приключить телефон к выводам усилителя получился известный эффект самовозбуждения системы: телефон завыл, но когда его вынесли в другую комнату, он оглушил громовой речью. Нетрудно было добавить к телефону рупор. Когда полученный громкоговоритель выставили на балкон здания Радиолaborатории, звук заполнил площадь между домами с запасом громкости, и для испытания на дальность громкоговороения был поднят на мачту радиостанции — тогда поздним вечером передаваемую им речь можно было разобрать на расстоянии больше полукилометра, а слышать голос — в несколько раз дальше (у железнодорожного вокзала).

Впоследствии начала работать Московская радиотелефонная станция, громкоговоритель снова вынесли на балкон, и принятая на рамку вечерняя передача Москвы воспроизводилась громкоговорителем, собирая на площадь перед домом радиобазы толпу слушателей. Как известно, В. И. Ленин обратил внимание на газетную заметку о Казанском громкоговороении, его заинтересовали потенциальные возможности громкоговороения, и шесть громкоговорителей 2-й радиобазы были установлены на шести площадях Москвы [6].

**Радиопередача с рамочной антенной.** Такая задача встала одновременно с началом применения рамочной антенны для радиоприема.

Малая действующая высота рамки в значительной степени компенсировалась много меньшим сопротивлением потерь как в самой рамке, так и в земле. Опыты применения рамки для передачи проводились Угловым в Казани в последние месяцы 1923 г. Радиотелефонный передатчик по схеме Углова имел 4 усилительных лампы, работавшие в усиленном режиме накала и анодного напряжения. Рамка имела один круглый виток медной трубки диаметром около 12 мм, диаметр рамки был немного больше 1 м. Рамка служила катушкой индуктивности колебательного контура передатчика, в качестве емкости контура был использован воздушный конденсатор переменной емкости приемника лозевой искровой радиостанции. Длина волны была порядка 200 м. Ток в рамке не был измерен, а его индикатором был тепловой амперметр на 1,5 а от французской ламповой радиостанции, слабо связанный с рамкой посредством небольшой катушки, поднесенной к рамке.

При опытах на дальность действия по окончании регулировки схемы передатчик с рамкой и аккумуляторными батареями помещался на санках и перемещался по дорогам за чертой города с остановками через определенные промежутки. На остановках производилась передача речи с изменением направления плоскости рамки. Прием таких передач

производился в Радиолaborатории на небольшую антенну и детекторный приемник без усилителя. Тут сразу обнаружилось одно важное обстоятельство: когда передатчик удалялся по дороге, вдоль которой шли телеграфные линии, сила приема с удалением передатчика ослабевала медленно, и прием был возможен на значительном расстоянии, порядка километра; если же передатчик продвигался в сторону от этой дороги, удаляясь от телеграфной линии, прием быстро ослабевал и прекращался полностью. Следовательно, телеграфная линия играла роль волновода.

Эти опыты, незаконченные в Казани, были продолжены Угловым в следующем году в Ленинграде. Здесь он применил на выходе передатчика генераторную лампу проф. Богословского мощностью около 200 вт с анодными напряжениями 3000 в. Однажды, прикоснувшись неосторожно рукой к схеме передатчика, лежавшей на столе, Углов был поражен током высокого напряжения (пол в лаборатории был застлан красноватым компаундом, хорошо проводившим, как было потом установлено, электроток). Углов на глазах Дикарева был скручен в дугу и отброшен метра на два от схемы передатчика. По счастью, Углов отделался лишь легким ожогом рта. С тех пор экспериментаторов, работавших с передатчиками, обязали подстилать под ноги резиновый коврик.

Рамка была теперь неподвижна и висела на стене в лаборатории. Прием производился Дикаревым на двухламповый регенеративный приемник, собранный на «микролампах» (только что появившихся тогда). Были получены дальности уверенного приема порядка 2 км, но и на этот раз опыты не были закончены.

В следующем, 1925 г., при разработке первых образцов переносных радиостанций ЦРЛ предложила новый вариант радиостанции с рамочной антенной. В складной квадратной рамке со стороной в 1 м из алюминиевой трубки диаметром около 30 мм получался ток 12 а (в Т-образной антенне из двух лучей, подвешенных на высоте 1 м от противовеса, ток был равен 1,2 а). Однако представитель заказчика отказался (за неимением времени) даже испытать такое «новшество», несмотря на то, что применение рамочной антенны при передаче чрезвычайно облегчало выполнение требования дуплексной связи (при Т-образной антенне это требование было полностью применением «усов» — двух отрезков провода, положенных прямо на расстоянии около 10 м от нормальной антенны). Можно отметить, что итальянская армия в завоевательной войне с Абиссинией 1935—1936 гг. была снабжена радиостанциями передовой полосы с передающими складными антеннами, отлично решившими задачу дуплексной радиосвязи.

**Другие работы радиолaborатории.** Дикарев проводил опыты пишущего приема на аппарат Морзе телеграфных передач советских и зарубежных радиостанций. Для упрощения схемы катушки электромагнитов аппарата Морзе были перемотаны более тонкой проволокой (омическое сопротивление обеих катушек было доведено до 10 000 см) и аппарат был включен непосредственно в цепь анода выходной лампы усилителя. Результаты получились удовлетворительные, но оказалось, что опыты пишущего приема велись по более широкой программе А. Ф. Шориным в Нижегородской радиолaborатории и больше интересовали тогда «проволочников», а не радистов.

В мастерских базы в период 1920—1923 гг. было изготовлено более 10 радиопеленгаторных станций системы В. И. Баженова, в конструировании которых принимали участие преподаватели школы базы

К. П. Иванов и А. Я. Магнушевский. Радиолaborатория снабжала эти станции шестилампными усилителями, которые обеспечивали дальность их действия при приеме 2-киловаттных полевых радиостанций до 600 км, тогда как имевшиеся на снабжении трехламповые усилители (три-теры) — давали дальность максимум 20—25 км, т. е. не обеспечивали дальность радиоразведки.

А. Г. Шмидтом были сконструированы и в мастерских базы построены две искровые радиостанции, державшие радиосвязь на ходу поезда на антенну, подвешенную над крышами вагонов. Первая станция имела мощность питания 2 квт, а вторая — 4 квт. Основные трудности создавала антенна высотой всего около 80 см над крышами вагонов, со значительной мощностью излучения. Приемники этих радиостанций также были снабжены шестилампными усилителями. Опытная двухсторонняя связь с первой вагонной радиостанцией была проведена до расстояния в 340 км (дальше вагон не пошел) при отличной слышимости, причем Казань работала радиотелефоном, а радист вагонной радиостанции отвечал ключом. Не исключена возможность, что благоприятную роль для связи играло волновое свойство телеграфных линий вдоль железнодорожного полотна.

Характерной чертой деятельности радиолaborатории Казанской радиобазы является ее целеустремленность, а именно удовлетворение насущных потребностей радиосвязи. Характер гражданской войны с быстрыми и большими перемещениями частей противников требовал больших дальностей радиосвязи, которые не могли обеспечить старые трехламповые три-теры, и радиобазы дала радиостанциям шестилампные усилители. Белогвардейские радиостанции работали незатухающими колебаниями — наши радиостанции получили гетеродины, давшие им возможность перехвата радиосообщений противника. В базе были сконструированы и изготовлены первые русские радиопеленгаторы, пригодные для дальней радиоразведки и своих, и вражеских частей. Опыты и демонстрация представителем радиотелеграфирования показали всю важность этого рода радиосвязи в военной обстановке и необходимость срочной разработки радиотелефонных станций.

Успешную деятельность Радиолaborатории Казанской радиобазы прежде всего следует приписать исключительным данным ее организатора и вдохновителя, члена Совета труда и обороны (СТО), А. Т. Углова, обладавшего редким даром руководства вообще и технического, в частности. Поражала его способность подбирать людей и руководить их техническим развитием.

Обладая широким кругозором в области физики и редкими способностями исследователя-экспериментатора, Углов быстро освоил практически только что появившуюся усилительную лампу и создал оригинальную практическую и высококачественную систему мощного радиотелефона.

Углов был одним из организаторов Первого всероссийского съезда радиотелеграфистов в 1917 г., был избран его председателем и сделал доклад «Будущее радиотелеграфии и радиотелефонии»<sup>3</sup>.

Неизменно относившийся одинаково ко всем своим сотрудникам, всегда старавшийся помочь им не только в работе, но и в улучшении бытовых условий, он пользовался всеобщим непререкаемым авторитетом и глубоким уважением и любовью близко знавших его. Имя его привлекало людей в возглавляемую им организацию.

<sup>3</sup> Напечатана в № 4 журнала «Радиотехник» за декабрь 1918 г.



Отличительной чертой характера Углова была исключительная правдивость, абсолютная, можно сказать, прямолинейность и вытекавшая из нее откровенность — он всегда серьезно и строго ставил на вид своим подчиненным, даже своим ближайшим друзьям, их ошибки и недостатки в работе и требовал их исправления. Окончив Казанский университет по физическому отделению факультета и отбыв воинскую повинность, он работал преподавателем физики в одной из саратовских гимназий. При мобилизации 1914 г., будучи прапорщиком запаса, Углов был призван на военную службу в пехотную часть, но вскоре был откомандирован в Петроградскую офицерскую электротехническую школу. Здесь он прослушал курс радио и был назначен начальником радиокабинета школы. Это назначение определило всю его дальнейшую деятельность.

Связь радиолaborатории Казанской радиобазы с Нижегородской радиолaborаторией (НРЛ). Официальное назначение Радиолaborатории Казанской радиобазы состояло в разработке и руководстве производством радиоаппаратуры, необходимой для радиостанций, а назначение НРЛ — в разработке мощного радиотелефонного передатчика. При таком различии областей деятельности, возможность взаимной связи между этими лабораториями казалась бы нереальной. Но работы по радиотелефонированию, выполнявшиеся в Казанской радиолaborатории по личной инициативе Углова и Дикарева, затрагивали область работ НРЛ и, следовательно, делали связь желательной. НРЛ должна была создать радиотелефон, вещающий на всю европейскую территорию Советского Союза, поэтому первой целью для нее была разработка мощного радиотелефонного передатчика и, прежде всего, создание мощных генераторных ламп.

Цель опытов радиотелефонии в Казанской радиолaborатории состояла в разработке сравнительно маломощного радиотелефонного передатчика, являющегося подготовительным этапом к разработке передатчиков радиотелефонных станций, работающих в трудных «окружающих» условиях и поэтому требующих прежде всего предельно возможной ясности передачи речи, допускающей кодирования сообщений и позволяющей вести беглый разговор.

В течение мая 1920 г. пароход «Радищев» Волжско-Камской военной флотилии, на котором был установлен радиотелефонный передатчик системы Углова для опытов двухсторонней связи с Казанью, трижды побывал в Н. Новгороде, с сотрудниками Казанской радиобазы Дикаревым и Угловым или обоими вместе.

Несколько раз встречались Углов и Дикарев с М. А. Бонч-Бруевичем, вели с ним беседы о новых схемах и о планах работы и наблюдали его работу по регулировке схем радиотелефона мощностью свыше десятка киловатт.

Дикарев и Углов познакомились с работой А. Ф. Шорина по пишущему приему. Это заставило Дикарева прекратить подобную работу в радиолaborатории 2-й радиобазы, проводившуюся с сравнительно меньшими средствами.

Углов и Дикарев посещали также лабораторию В. П. Вологодина, где знакомились с конструкцией динамо-машины высокой частоты, позже установленной в качестве генератора передатчика на одной из Московских радиостанций.

Товарищеская дружба сотрудников двух радиобаз (при их встречах и беседах) положительно сказывалась на развитии радиотехнической мысли в нашей стране.

## ЛИТЕРАТУРА

1. «Радиотехнические Известия 2-й Базы радиотелеграфных формирований». Казань, 1920, № 1, стр. 21.
2. Там же, стр. 8 и прил.
3. Там же, стр. 4 и прил.
4. Нефедьев А. Н. Сигналы времени и их применение для определения долгот. «Записки по гидрографии», т. II (43), Пг., 1920.
5. «Радиотехнические Известия 2-й Базы радиотелеграфных формирований». Казань, 1920, № 1, стр. 20 и прил.
6. «Техника Связи», 1923, № 4—5, стр. 40.
7. «Радиотехнические Известия 2-й Базы радиотелеграфных формирований». Казань, 1920, № 1, стр. 1.
8. «Техника Связи», 1923, № 4—5, стр. 166.
9. Шамшур В. Казанская база радиотелеграфных формирований. «Радио», 1951, № 6, стр. 6—8.
10. Пересыпкин И. Т. Военная радиосвязь. М., Воениздат, 1962, стр. 122.

### «РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗВЕСТИЯ 2-й БАЗЫ РАДИОТЕЛЕГРАФНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ» № 1 НОЯБРЬ 1920, КАЗАНЬ

Типография Базы

Комментарий Лбова Ф. А.  
(г. Горький)

«Известия 2-й радиобазы» теперь — редкая книжка. Она была напечатана в 500 экз., следующие номера не выходили. «Известия» содержат 2 статьи начальника Базы инж. А. Т. Углова и 4 статьи его помощника А. В. Дикарева. Изложение статей — чисто описательное, на уровне радиотехника. «Известия» представляют собою очень ценный памятник времен начальной стадии развития советской радиотехники.

Основными обязанностями Базы были комплектование, ремонт радиоаппаратуры для частей Красной Армии и подготовка обслуживающего эту аппаратуру персонала. В составе Базы в конце января 1920 г. была организована небольшая лаборатория, руководил ею Дикарев. Квалифицированные специалисты Казанской базы были в основном бывшими воспитанниками Петроградской Военно-электротехнической школы.

База работала над ремонтом и наладкой французской радиоаппаратуры, поступавшей еще по обязательствам союзника России в первой мировой войне. Лаборатория стремилась разработать свои конструкции усилителей, гетеродинов, пеленгаторов и др. Крупной работой, которую Углов начал еще в военной лаборатории в Москве в 1919 г., был радиотелефон.

Советские специалисты, изучающие историю отечественной радиотехники, из знакомства с работами лаборатории Казанской базы почерпнут ясное представление о состоянии теории радиотехники тех лет, об уровне указанных изделий и деталей, из которых они собирались, об паучно-технических понятиях, прогнозах казанских специалистов.

Следующие замечания считаю нужными по отдельным направлениям работ Казанской базы.

**1. Усилители.** Значительным достижением явилась разработка трехкаскадного усилителя звуковой частоты. Предназначавшийся для работы по междугородным телефонным проводам и испытанный на это в Казани, он был использован для опытов в Москве. Здесь пришла мысль: подключить к нему громкоговоритель (форпостный телефон с рупором) и работать на площадь. 1 июня 1921 г. в Москве с балкона дома Моссовета впервые зазвучала на всю Советскую площадь речь человека.

В. И. Ленин слышал об опытах казанцев и очень заинтересовался этим средством обращения к массам. СТО 3 июня 1921 г. вынес постановление радиофицировать 6 площадей и с 17 июня через громкоговорители ежедневно передавалась «устная газета».

Усилители для дальнего приема на рамку и для пеленгаторов 9- и 6-кратные строились по схемам французских приборов, они легко возбуждались. Дикарев говорит о таком 9-кратном усилителе: «прибор довольно сложный, со множеством регулировок, ... прибор лабораторный».

В те годы не умели учитывать «паразитных» положительных обратных связей и не знали, как их избежать.

С усилителями работали в Нижегородской радиолaborатории (НРЛ) А. Ф. Шорин и В. Н. Листов, последний делал сообщение о них на беседе 12 февраля 1920 г. С осени 1920 г. громкоговорители, вплоть до опытного парового, звучали с фасада НРЛ. Поэтому трудности с многократными усилителями нам были хорошо известны.

**2. Применение приемных рамок** в Казанской базе не является новостью. На общем собрании РОРИ 9 ноября 1920 г. М. В. Шулейкин докладывал о рамках и просил фиксировать его приоритет по ним в России. А. А. Баженов в сентябре—октябре 1920 г. построил в Люберцах выделенную приемную для Москвы с приемом исключительно на рамки. В первых номерах журнала «Техника связи» печаталась работа о рамках. Статья Дикарева о рамках датирована 3 января 1921 г.

**3. Радиотелефон.** Эта работа на Казанской базе велась параллельно с изысканием М. А. Бонч-Бруевича в НРЛ. В то время как инженер Бонч-Бруевич вполне рационально сосредоточил силы НРЛ на создании мощных триодов для передатчиков, инженер Углов в Казани конструировал передатчики с большим числом обычных приемных ламп. Теперь нам совершенно ясно, что метод Углова не был инженерным решением задачи о мощном радиотелефоне, о радиовещании. Но американцы в 1915 г. работали телефоном в Арлингтоне, получая ток в антенне 100 а с 300 маломощными лампами; первые английские передатчики имели по 100 параллельно включенных ламп.

Пожалуй, громоздкая организация конструирования и изготовления мощных ламп Казанской лаборатории была не по силам — не та была область работы, не такой размах, как в НРЛ.

Радиотелефон Углова отличается оригинальной схемой, премированной Комитетом по делам изобретений с согласия НТО ВСНХ, однако в дальнейшем она распространения не получила. Но в схеме этой, как кажется, исторически сохранился отзвук тех далеких времен, когда изобретатели модулировали колебания в антенне, прямо в нее включая микрофон, охлажденный проточной водой.

С интересом читается описание опытов с телефоном Углова между Казанью и пароходом, идущим по Волге, — оно дает характеристику уровня радиотехники почти полвека назад.

В 1920 г. действовал контакт Казанской базы с НРЛ. Пример — 8 декабря 1920 г. на лабораторной беседе в НРЛ Углов делал доклад

«Радиотелефон по усилительной схеме», а М. А. Бонч-Бруевич — «О радиотелефоне с катодным реле большой мощности». В декабре в НРЛ студент А. М. Кучушев, изучавший схему Углова, докладывал о ней.

4. **Рассказ о гетеродинах**, 40 штук которых к ноябрю 1920 г. сделала Казанская база, причем говорится: «совершенно не имеющихся в России и крайне необходимых». Надо напомнить, что Тверская радиолaborатория по заказу военведа в 1917—1918 гг. сделала 100 приемных приборов «катодных прерывателей», назначенных для приема сигналов незатухающими, как и гетеродин. Теория тверского прибора была описана Бонч-Бруевичем в «Вестнике военной радиотелеграфии и электротехники» за 1917 г., а схема прибора дана в ТиТбп № 6, 1919 г.

Казанский гетеродин назначался для французской лампы (с высоким вакуумом). Тверской приемник работал и с «жесткой» и с «газовой лампой». У тверского прибора не было градуировки по длинам волн, но точность измерений этой величины на казанском приборе была невысока из-за невысокого качества деталей схемы.

Полемический пыл редакции «Известий» привел ее к некоторым необоснованным заявлениям. На стр. 1 сказано, что журналы «ТиТбп» и «Радиотехник», издающиеся НРЛ, обслуживают главным образом интересы группы работников НРЛ.

Привожу данные из № 50 ТиТбп, из обзора за десять лет журнала. Из 176 авторов оригинальных статей сотрудников НРЛ было 39, не входящих в ее состав — 137.

На стр. 30 автор утверждает, что можно катодную лампу мощностью в 1 *квт* сделать без водяного охлаждения по аналогии с осветительной лампой с 3000 свечей (1,5 *квт*). Он не учитывает, что тепло от волоска лампы в этом случае переносится к баллону азотом, наполняющим осветительную лампу. А в катодной — нагревающейся части окружены вакуумом, да еще анод ее бомбардируется потоком электронов.

В «Известия» встречаются откровенные, либо скрытые плохие оценки качества радиотелефонных передатчиков выпуска НРЛ (стр. 28 и др.). По поводу их приведу один только отзыв.

В Югославии, на расстоянии 1800 км от Москвы, слышимость Московской радиостанции в ноябре 1922 г.: сила приема немного больше или одинакова с радиотелефоном FL (Париж), много слабее Кенигвустергаузена (Берлин), но разборчивость и ясность передачи несравнимо выше первой и особенно второй. Тембр речи ясный, без носовых оттенков и захлебывания (журнал «Жизнь связи», 1923 г., № 3, иностранный корреспондент).

В 1929 г. сотрудники Казанской базы во главе с Угловым стали руководителями Лаборатории, которая явилась преемницей Нижегородской радиолaborатории им. В. И. Ленина.

## РАДИОТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗВЕСТИЯ 2-й БАЗЫ РАДИОТЕЛЕГРАФНЫХ ФОРМИРОВАНИЙ № 1, НОЯБРЬ 1920 г., КАЗАНЬ

### Содержание

#### От редакции

- А. Т. Углов. 2-я База Радиотелеграфных формирований . . . . .
- А. В. Дикарев. Гетеродин 2-й Радиобазы . . . . .
- А. В. Дикарев. Девятикратный и шестикратный усилители 2-й Радиобазы . . . . .
- А. В. Дикарев. Приемные рамки и их применение в лаборатории 2-й Радиобазы . . . . .
- А. В. Дикарев. Гетеродин 2-й Радиобазы, модель 3 . . . . .
- А. Т. Углов. От Казани до Астрахани (1000 верст) по беспроволочному телефону . . . . .

## От редакции

Радиотехнические Известия 2-й Базы Радиотелеграфных формирований ставят своей целью осведомление широких слоев радиоспециалистов о тех работах в области радиотехники, которые выполнены или выполняются во 2-й Радиобазе.

Казалось бы естественным помещать эти сведения в журналах по радиотехнике, издаваемых при наших объединениях: или научно-техническом, т. е. при Российском обществе радиоинженеров (РОРИ) или профессиональном Всероссийском союзе радиоспециалистов. К сожалению, ни то ни другое объединение не смогло начать издавать радиожурнал на свой объединяющей всех почве. Единственный выходящий ныне в России журнал «Телеграфия и Телефония без проводов» с «Радиотехником», издаваемый на средства Компочтеля при Нижегородской Радиолaborатории, естественно, обратился в журнал, обслуживающий главным образом интересы группы радиоработников этой Laborатории. Что это так, легко установить простым просмотром статей, напечатанных в журнале. В результате этого и появляются настоящие Известия.

За полтора года своего существования База много работала над изучением приборов с усилительными лампами французского изготовления; в результате этих работ впервые в России мастерскими Базы уже выпущено в обращение около четырех десятков гетеродинов для приема незатухающих колебаний, несколько усилителей девяти и шестикратных и две радиотелефонные станции с дальностью действия свыше трехсот верст на усилитель. При этом одна из этих станций была установлена на пароходе. Кроме того, недавно в Базе, опять-таки впервые в России, установлена в поезде Радиостанция, которая может не только принимать, но и передавать на ходу.

Опыты по применению усилителей специальной конструкции к передаче предварительно усиленного разговора по телеграфным проводам дали возможность, не мешая действию телеграфных аппаратов, вести разговор на расстояниях порядка 500 верст.

Кроме того, намечены опыты по телефонированию с аэропланов типа «Муромец», передача замкнутыми контурами, передача по телеграфным линиям разговора и знаков Морзе высокой частотой с применением резонансовых схем.

Надеюсь, что все это заинтересует наших соотечественников по работе, и они не откажутся сообщить нам свои мнения по затронутым вопросам и тем самым примут участие в нашей работе. Писать нужно по адресу: Казань, 2-я База Радиотелеграфных формирований, Лобачевская ул., д. № 22.

### 2-я База Радиотелеграфных формирований

2-я База радиотелеграфных формирований в техническом отношении является одной из наследниц бывшей Офицерской электротехнической школы в Петрограде. Она получила отсюда радиотелеграфные роты и команды с их имуществом, входившие во время Европейской войны в состав Электротехнического Запасного Батальона.

Личный состав радиоспециалистов Базы составлен почти исключительно из числа мобилизованных за время войны специалистов разных категорий: инженеров, физико-математиков, студентов технических учебных заведений и т. д.

Радиотелеграфию изучали они в Офицерской электротехнической школе.

В настоящее время в списках Базы числятся: два профессора, из которых один физик, профессор В. А. Ульянов, работает в области неза-

тухающих колебаний, другой минералог — пр. Кротов, исследует кристаллы русских месторождений, могущие быть детекторами, шесть инженеров различных специальностей — инженеры-электрики Шмидт, Беликов, Попов, инженер-технолог Магнушевский, гражданский инженер Мойковский, инженер-механик Кабанов, пять человек, окончивших университет — Углов, Билевич-Станкевич (льезского университета), Гейнце, Философов, Сапунов, и около двух десятков студентов старших курсов, иногда прослушавших полный курс наук одного из высших учебных заведений, но не успевших сдать экзамена по военным обстоятельствам.

Из таковых видную роль в жизни Базы играют т. Дикарев А. В., физико-математик — заведующий Лабораторией Базы, Папазов С. К. — начальник Мастерских Базы, Лохтин М. В. — начальник Управления Базы и Чистовский Н. В. — командир Дивизиона формирования Базы.

Кроме того, в составе радиоспециалистов Базы числится значительное количество радиоспециалистов, выдвинувшихся благодаря своим способностям из рядовых работников на командные должности. Им База в значительной степени обязана тем обилием практических знаний и навыков, которых часто не хватает человеку только с теоретической подготовкой.

В существенных своих частях Радиобаза состоит:

1) из Лабораторий с учебно-опытной радиостанцией, ведущих опыты по различным областям радиотехники. На основе этих опытов там же ведется конструирование новых приборов, выпускаемых Базой.

2) из Радиошколы с пятью практическими радиостанциями, выпускающей главным образом слухачей и электромехаников и отчасти начальников радиостанций.

3) из Дивизиона формирований, снабжающего выпущенных из школы учеников радиоимуществом для отправления на фронт. Тем же Дивизионом обычно производятся всякого рода установки радиостанций, мачт и т. д.

4) Из Мастерских и Склада, в которых производится, с одной стороны, ремонт и сборка радиостанций всех типов, с другой — изготовление приборов, требующих массовой выработки деталей. Мастерские снабжены револьверными станками, что дает им возможность работать без лишней траты квалифицированного труда.

Гражданская война и разруха крупной промышленности поставили перед Базой ряд интересных технических задач, каковые База и пытается решить, опираясь на накопленный за время Европейской войны опыт своих сотрудников.

Задачи эти весьма разнообразны как по своему содержанию, так и по степени своей трудности. В помещаемых ниже статьях читатель ознакомится с рядом работ Базы по различным вопросам.

*ЧРОРИ А. Т. Углов*

#### Гетеродин 2-й Радиобазы

В последнее время особенно остро стала заметна нужда в радиотелеграфистах, умеющих принимать иностранные радиостанции; во 2-ю Радиобазу неоднократно поступали из центра требования на десятки таких высококвалифицированных слухачей. Между тем, почти все мощные заграничные радиостанции работают теперь незатухающими колебаниями, для приема которых необходим гетеродин. Так как в Базе в

прошлом 1919 г. был только один старый французский гетеродин, а на русских радиозаводах этот прибор (для французской лампы) до настоящего времени не изготавливается, то для оборудования ученического приема я давно предполагал сделать несколько гетеродинов. Толчок в этом направлении дал мне начальник ныне эвакуированной из Казани морской радиостанции И. Д. Дмитриев, настойчиво просивший изготовить для него гетеродин для французской лампы. Этот первый гетеродин я сделал в конце января тек. года, и он был отправлен на уже эвакуированную тогда радиостанцию через Москву. В Москве он возбудил внимание специалистов и при испытании был признан вполне пригодным, и немедленно же 2-я Радиобаза получила из центра приказание оборудовать в своей Мастерской и Лаборатории производство этих совершенно не имеющих в России и крайне необходимых приборов. Несмотря на все трудности, представляющиеся для такого производства в настоящее время, в Базе изготовлено до сих пор около 40 гетеродинов.

Гетеродин 2-й Радиобазы построен для французской усилительной лампы. В видах экономии материала для него выбрана схема, требующая наименьшее количество проволоки: одна и та же катушка служит и для цилиндра и для сетки (рис. 3); всего в нем четыре катушки самоиндукции. От французских образцов он выгодно отличается уже своими значительно меньшими размерами: его ящик имеет 20 см в высоту, 17 см в ширину и в глубину. На верхней доске помещены гнезда для двух ламп. Впереди их находятся два зажима, соединенные накоротко пластинкой; они стоят в цепи сетки, и, вынув пластинку, можно вставить в цепь сетки гальванометр для проверки ламп или исправности самого прибора (чувствительность гальванометра должна быть такая, чтобы ток в один миллиампер отклонял стрелку на один сантиметр, не меньше). Сзади гнезд для ламп помещены 4 зажима для присоединения батарей. Эти зажимы нарочно вынесены в заднюю часть прибора, чтобы соединительные провода к батареям не путались впереди; их удобнее опустить под стол со стороны стены. На передней доске находится все управление прибором: вверху направо — зажигание ламп, причем можно зажечь либо одну первую, либо обе лампы вместе; вверху налево — переключатель самоиндукции, и справа возле него находится табличка волн, соответствующих каждой его кнопке; наконец, внизу направо находится рукоятка конденсатора. Во 2-й модели прибора в большой рукоятке конденсатора помещен второй малый и тоже переменный конденсатор, рукоятка которого вращается без застопоривания

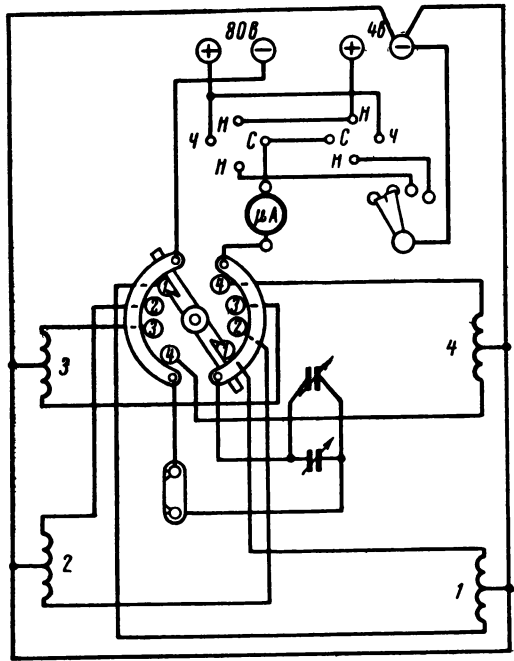


Рис. 3

в обе стороны. Наибольшая емкость его невелика и равна лишь двум-трем градусам большого конденсатора, к которому он присоединен параллельно. В первых делениях большого конденсатора малейший поворот его рукоятки весьма сильно изменяет тон принимаемой станции — добавочный конденсатор позволяет без труда настроиться в этом случае на желаемый тон; но употребление его, конечно, обязательно. Кроме управления внизу слева на передней доске находятся два зажима, соединенные обычно накоротко пластинкой: к ним можно присоединить, разъединив их, катушку связи.

Вообще в употреблении катушки связи надобности не бывает, но при слабом накале и при пониженном высоком напряжении непосредственная индукция прибора может оказаться недостаточной, и в этом случае полезно бывает присоединить катушку связи и положить ее вплотную к самоиндукции приемника. Гетеродин требует батареи накала в 4 в, но работает на всей шкале начиная с 3,6 в (при 80 в высокого напряжения), т. е. при наименьшем вольтаже, допускаемом для 4-вольтового свинцового аккумулятора. Высокое напряжение может при нормальном накале колебаться в весьма широких пределах: от 40 (даже 15 для длинных волн) и до 200 в; нормальное высокое напряжение — 70—80 в. Вместо батареи высокого напряжения удобно взять постоянный городской ток. Шкала волн гетеродина простирается приблизительно от 320 до 25 000 м, т. е. охватывает все волны, употребляемые современными радиостанциями.

Гетеродин необходим главным образом для приема радиостанций, работающих незатухающими колебаниями. Старый метод приема незатухающих волн — с помощью тиккера — во многих отношениях неудовлетворителен. Во-первых, он дает шипящий звук, а потому прием с его помощью радиостанций, работающих на переменной волне (например, старый Лион), невозможен: слышны почти одинаково и рабочая и вспомогательная волны, так что сигналов Морзе не слышно — тянется непрерывный шипящий звук. Во-вторых, в последнее время число постоянно работающих станций сильно увеличивалось, и в результате на тиккер всегда слышно много станций сразу — и все это смешивается в один сплошной шум. Наконец, тиккер сам по себе дает непромкий прием, того же порядка громкости, как детектор; употреблять же его с усилителем три-тер хотя и можно, но трудно и весьма неприятно — усилитель сильно шумит. По всем этим причинам тиккер в настоящее время употребляется лишь в редких случаях, и незатухающие радиостанции принимаются почти исключительно на гетеродин.

Прием незатухающих волн с помощью гетеродина, или, как его часто называют, — прием по способу биений, имеет много преимуществ. Прежде всего, он дает возможность выбирать желаемую высоту звука, а это очень важно уже вот почему. Телефонная мембрана обычно обладает собственным периодом колебаний: при настройке тона с помощью гетеродина на эту частоту размахи мембраны сильно увеличиваются, так как каждый толчок от проходящего через телефон колебательного тока попадает в такт с собственным колебанием мембраны: этот тон слышен поэтому значительно громче, чем все другие, более высокие или низкие тона; разряды и другие станции при этом мешают несравненно меньше, чем при другой высоте звука, вне этого механического резонанса. Затем, при приеме на гетеродин, сильно облегчается отстройка от других станций, даже весьма близких по волне: можно подобрать такой тон для принимаемой станции, чтобы тон мешающей стал очень низок или очень высок, и поэтому, плохо воспринимаясь телефоном и ухом, не мешал бы приему. Наконец, гетеродинный прием вообще есть



прием с усилением, так как наибольшая амплитуда биений равна сумме, а наименьшая — разности амплитуд собственного и входящего колебаний. Из рис. 4 ясно видно, что при сложении двух колебаний получается в результате колебание, наибольшая амплитуда которого равна  $A+a$ , а наименьшая —  $A-a$ ; отсюда полезное изменение амплитуды биений, действующее на телефон, равно разности этих двух крайних величин:  $(A+a) - (A-a) = 2a$ , т. е. равно удвоенной меньшей из двух амплитуд. Обычно меньше амплитуда входящей волны, но иногда, при малой энергии гетеродина или большом расстоянии его от приемника, бывает и наоборот — в этом-то случае и приходится увеличивать связь гетеродина с антенной. Отсюда также ясно, что роль связи гетеродина с приемником такова, что возбуждаемые им в приемнике колебания сравнивались по амплитуде с входящими извне, дальнейшее увеличение этой связи или самой амплитуды колебаний гетеродина — посредством, напр., зажигания второй лампы — не увеличивает больше силы звука.

Благодаря усилительному характеру гетеродинного приема им можно пользоваться и для приема затухающих колебаний. Здесь усиление звука гетеродином сказывается особенно заметно. Станция, совершенно необнаруживаемая детектором, нередко с гетеродином слышна вполне удовлетворительно. Например, на рамку в два метра в квадрате с помощью французского усилителя 3-тер в Казани я едва мог, и то не всегда, обнаружить (но отнюдь не принять) работу затухающей Москвы; стоило же зажечь гетеродин — и Москва становилась слышна на всю комнату. Без труда также с гетеродином можно было принять при тех же условиях работу затухающего Науэна. Правда, гетеродин лишает затухающую станцию одного из ее ценных качеств: тон станции исчезает и превращается в шипящий звук. Но лучше принять работу станции хотя бы и с несвойственным ей звуком, чем вовсе не иметь возможности принять ее, особенно когда дело идет о заманчивом приеме на рамку.

Применение гетеродина для приема затухающих колебаний оказалось особенно полезным в одном частном случае — именно, во время сильных разрядов. Прошедшим летом московскую радиосводку иногда невозможно было принять в Казани на антенну от сильных атмосферных разрядов. И вот дежурному радиотелеграфисту радиостанции Базы (В. П. Солуянову) пришла мысль применить гетеродин. Он взял в сложной схеме связь настолько малую, что звук Москвы совсем исчез, и настроил гетеродин — и оказалось, что хоть и шипящим звуком, но Москву можно было принять этим способом полностью, — разряды сказывались значительно меньше. Возможно, что этот способ борьбы с разрядами окажется особенно действительным, если применить одновременно известный метод расстройки первичного колебательного кон-

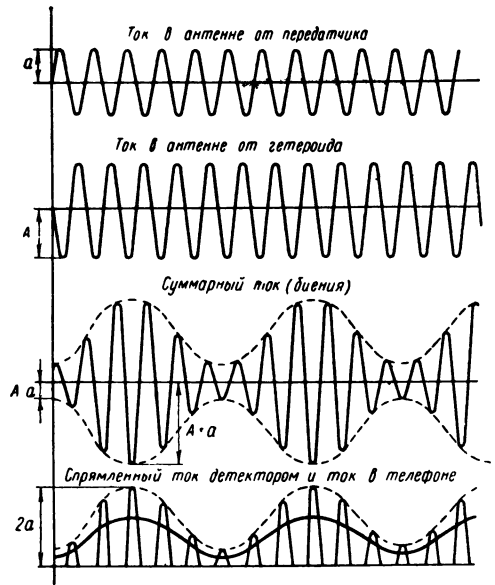


Рис. 4

тура при настроенном вторичном — автору не пришлось испытать этой комбинации.

Наконец, гетеродином весьма удобно пользоваться в качестве волномера для измерения длины волны принимаемой радиостанции. Конечно, чтобы служить волномером, гетеродин должен быть предварительно отградуирован. Измерить длину волны затухающей радиостанции очень просто: для этого нужно только настроить приемник и гетеродин точно на подходящую волну и взять отсчет по графику гетеродина. В случае же незатухающей станции необходимо, настроив приемник и подстроив, как обыкновенно, гетеродин для приема этой станции, увеличивать или уменьшать емкость гетеродина таким образом, чтобы тон биений понизить вплоть до полного исчезновения звука (при дальнейшем вращении рукоятки конденсатора в ту же сторону опять появится звук биений, сначала низкий, потом все более высокий); момент этого исчезновения звука соответствует настройке гетеродина в резонанс с антенной, и длина волны принимаемой незатухающей радиостанции берется по графику гетеродина для этой его настройки.

Все гетеродины 2-й Радиобазы снабжаются кривыми градуировки. К сожалению, по обстоятельствам настоящего времени в гетеродинах 2-й Радиобазы применен не воздушный, а эбонитовый конденсатор, емкость которого не остается вполне неизменной с течением времени; поэтому определение волны с помощью этого гетеродина лишь приблизительно. Тем не менее оно может быть весьма ценно, особенно для длинных волн современных незатухающих радиостанций, в виду почти полного отсутствия на русских радиостанциях волномеров на большую длину волны.

*ЧРОРИ А. Дикарев*

#### **Деятикратный и шестикратный усилители 2-й Радиобазы**

Четыре с лишком года тому назад автор этих строк, начинающий радиотелеграфист, сидел у приемника на практической радиостанции и, затаив дыхание, старался уловить сигналы Эйфелевой башни. Это было во втором часу ночи, летом. Город весь спал, глубокая тишина только изредка прервалась отдаленным лаем собак. Но эта тишина совсем не казалась дежурному такой полной — много еще было звуков, мешавших ему различить едва слышные сигналы: царапанье карандаша по бумаге, шелест материи рукава, сгибаемого при движении руки, наконец, собственное дыхание — все эти ничтожные, неуловимые в обычной обстановке звуки, словно выросли и казались такими громкими по сравнению с далекими сигналами... И от напряжения возникали слуховые галлюцинации, от которых трудно было отделаться: чудились разнообразные комбинации звуковых черточек и точек, с самой неподдельной реальностью звеневшие в ушах. И такой ничтожной казалась полевая мачта в 25 метров высоты — хотелось повыше поднять антенну, чтобы усилить принимаемые сигналы.

Несколько недель тому назад автор опять проверял свои часы по ночным сигналам Парижа. Это было в Лаборатории 2-й Радиобазы — на радиостанции происходил прием Москвы и антенна была занята. Но в антенне не было и надобности: в комнате стояла приемная рамка в один метр в поперечнике, и к ней присоединен был девятикратный усилитель. В нем горели только шесть ламп — остальные не были нужны: звук сигналов Эйфелевой башни разносился и так на всю комнату

от лежащего на столе телефона. Где-то лаяли собаки, с вокзала доносились паровозные свистки, ветер шумел листвою деревьев — ничто не могло помешать приему.

Так шагнула вперед за четыре года техника радиотелеграфа. Недавние сказки, мечты фантастических романов будущего, написанные пять-десять лет тому назад, далеко превзойдены действительностью. Кто бы поверил десять лет тому назад, что для приема радиосигналов с любой точки земного шара вовсе не нужно будет громадных мачт с длинными сетями, — что весь приемный аппарат без труда поместится прямо в комнате и даже займет в ней немного места — гораздо меньше, напр., чем пианино! И совсем недалек тот момент, когда весь приемник с усилителем и прочими принадлежностями будет весить два-три фунта и занимать объем небольшой книги. В том же самом недалеком будущем будет функционировать мощный радиотелефон — и гражданин этого близкого будущего не будет уже покупать газеты или ходить, особенно в провинции, на концерты: вместо этого он выедет по окончании дневных трудов на велосипеде в лес или в поле, захватив с собою приемник и, расположившись на лоне природы, в условный час прослушает концерт первоклассных артистов мира, послушает мировых ораторов, а не то так хронику мировых событий и происшествий, переданную на том языке, которым он владеет.

Пока что, это еще мечта, хотя и весьма близкого будущего. В настоящее же время приходится слушать разговор по эфиру не выходя из комнаты, — но это уже не мечта, а реальность. Еще год тому назад в России это было невозможно, так как прежние трехкратные усилители не давали достаточного усиления, чтобы можно было принимать радиосигналы без антенны; теперь же с помощью девятикратного усилителя, изготовленного во 2-й Радиобазе, можно обойтись и без наружной антенны — рамка, стоящая в комнате, заменяет антенну, и наружу из комнаты не выходит ни один провод: все, что нужно для приема, помещается здесь же в комнате. Если оборудование такого приема на рамку в настоящий момент не всякому доступно, то совсем не по техническим причинам. Приемную рамку устроить может себе всякий сам, это совсем не трудно; аккумуляторы в условиях мирного времени стоят недорого, а цена усилителя тоже будет по средствам самому скромному труженику — все в целом обойдется, примерно, не дороже пианино. Зато сколько удовольствия и пользы! Немножко поучиться, освоиться со знаками Морзе — и можно слушать газетные сообщения со всех концов мира. Конечно, тут возникает вопрос о языке: волей-неволей надо изучать иностранные языки. На первый раз, положим, можно ограничиться своим родным и то уже можно слушать все московские сообщения. Зато уже нет опозданий: все сведения получаются моментально, где бы в России их ни слушать; из Парижа, напр., в центральную Россию радиосигнал летит меньше одной сотой доли секунды. — А вот-вот и Морзе не надо будет знать: заговорит радиотелефон. Автор уже слушал на рамку в Казани разговор Нижегородской Радиолaborатории (около 300 верст); за границей тоже делаются успешные опыты передачи речи на тысячи километров.

Конечно, в обиход частного обывателя усилитель с аккумуляторами сможет попасть только тогда, когда русская промышленность будет в состоянии удовлетворить всем запросам рынка. Но государственные учреждения уже и теперь могут заказать для себя 2-й Радиобазе рамку и мощный усилитель, и специальному заводу — аккумуляторы. И, например, редакция газеты сможет сбересть много времени, устроив у себя такой домашний прием. — Но когда рамка с усилителем войдет во все-

общее употребление, как теперь граммофон, — какое это будет могучее средство для сближения между собою различных народов!

Первые образцы мощных усилителей — девяти-, восьми- и шестикратных — были привезены в Россию из Франции в конце 1916 г. Их было всего по два, по три экземпляра каждого образца. Большинство их в настоящее время неисправно, и в практику приема они не вошли, за одним исключением: в поезде т. Троцкого мною в апреле 1919 г. был оборудован прием русской и зарубежных радиосводок с помощью натянутой на крыше вагона антенны и девятикратного усилителя. Эта приемная радиостанция, действующая на ходу поезда, работает до сих пор.

Ввиду громадного интереса, представляемого мощными усилителями, и большой пользы, которую можно из них извлечь, и так как во 2-й Радиобазе не было ни одного усилителя этих типов, я с первых же дней формирования 2-й Радиобазы начал конструирование девятикратного усилителя из подручного материала. В начале января тек. года регулировка первого русского девятикратного усилителя была закончена, и тотчас же я применил его к приему на рамку иностранных радиостанций. Для этой цели мною была намотана квадратная рамка со сторонами в 2 м. Еще удобнее для приема оказался большой волномер (до 17 000 метров) РОБТиТа, который я и применял обычно до конструирования второй рамки, не такой громоздкой, как первая. На этот волномер без труда можно было принимать затухающие Науэн и Ташкент и незатухающие Науэн, Лион, Карнарвон и ОУИ. Москва была слышна отлично — на 8 ламп ее слышно было на всю комнату.

В конце января я демонстрировал слышимость Москвы на большую рамку помощнику Инспрадиодарма В. А. Олейникову, и вскоре после этого 2-я Радиобаза получила из центра приказание срочно оборудовать производство мощных усилителей и заказ на несколько экземпляров шести- и девятикратных. Немедленно же было приступлено к выработке конструкций обоих этих типов. До настоящего времени из мастерских и лаборатории Базы уже выпущено три девятикратных и восемь шестикратных усилителей; работа сильно тормозится недостатком основных материалов — латуни и эбонита.

Девятикратный усилитель 2-й Радиобазы построен по схемам французских приборов этого типа, и именно представляет комбинацию французских девятикратного и восьмикратного усилителей (схему см. рис. 5). В конструктивном отношении он имеет мало общего с французскими образцами. Размеры ящика для него взяты довольно большие, главным образом ввиду удобства сборки: длина (по фасаду) 50, ширина (глубина) 29 и высота 24 см. На верхней доске помещены гнезда для девяти ламп и главный переключатель, вращая который можно зажечь 6, 7, 8 или 9 ламп, причем он переключает соответственно числу зажженных ламп трансформатор и телефон. На передней доске находятся все остальные рукоятки управления: в центре — регулятор усиления, налево внизу — реостат накала, налево вверху — зажимы для присоединения приемника, и правее рядом с ними — переключатель регулятора усиления на различные лампы; направо внизу находятся гнезда для двух высокоомных телефонов, вверху над ними — соединенные накоротко зажимы для присоединения чувствительного гальванометра. Значение всех этих переключателей и рукояток указано подробнее в «Краткой инструкции» к девятикратному усилителю, прилагаемой к каждому прибору.

Характерной особенностью мощных шести- и девятикратных усилителей, изготовляемых во 2-й Радиобазе, является примененный в них

метод так называемого обратного воздействия. Он заключается в следующем. Поступающий из приемника слабый колебательный ток постепенно, как в усилителе 3-тер, усиливается от лампы к лампе, действуя с цилиндра предыдущей лампы на сетку следующей. Усиленные колебания, полученные, напр., в цепи цилиндра четвертой лампы, передаются обратно на сетку первой лампы, производя уже действие несравненно более сильное, чем колебания, первоначально полученные антенною. Этот вызванный обратным воздействием ток опять усиливается после-

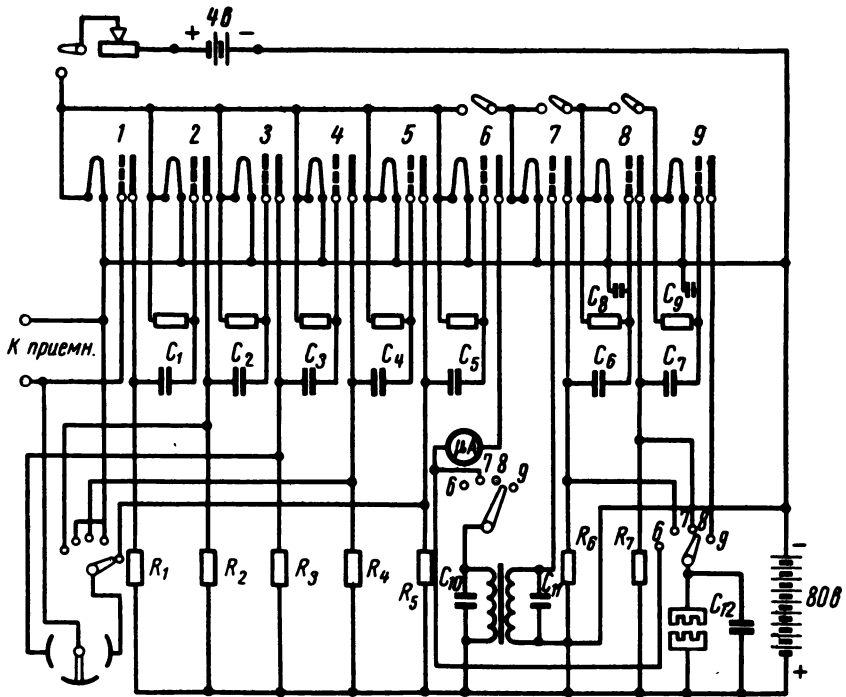


Рис. 5

довательно каждой лампой, опять воздействует обратно на первую лампу, и т. д. В результате, подобрав надлежащее положение регулятора обратного воздействия, названного мною в инструкции к прибору для краткости регулятором усиления, можно получить некоторый наибольший усилительный эффект. Отсюда ясно, что те же шесть или девять ламп в усилителе, собранном по схеме без обратного воздействия, произведут усиление несравненно меньше — своими могучими усиливающими свойствами девяти- и шестикратный усилители 2-й Радиобазы обязаны именно методу обратного воздействия. Во сколько раз усиливает девятикратный усилитель? — такой вопрос обычно задают незнакомые с ним люди. Ответить на него точно весьма затруднительно, так как, с одной стороны, самое усиление бывает очень различно по величине, в зависимости от настройки, свойств приемника, амплитуды и особенностей приходящей волны и других условий, и, с другой стороны, почти не поддаются измерению слабые амплитуды приходящих волн, громко же слышные станции усиливаются до предела (до насыщения

телефона) уже при 3-кратном усилении. Можно составить представление об усилении, даваемом девятикратным усилителем на основании сравнения его с уже давно знакомым усилителем 3-тер. Автор пытался слушать затухающую Москву в Казани на рамку со стороною в 2 м с усилителем 3-тер, и только один раз ему удалось *обнаружить* работу Москвы — записать же ее не было никакой возможности по причине крайней слабости звука. При приеме же Москвы на девятикратный усилитель на ту же рамку уже с восемью лампами достигается, так сказать, насыщение телефона: он кричит на всю комнату, и прибавление усиления зажиганием девятой лампы не может увеличить силы звука — телефон механически не может уже кричать сильнее. Если принять три первые лампы девятикратного эквивалентными трем лампам усилителя 3-тер, то оказывается, что четыре следующие его лампы (на семь ламп прием Москвы на упомянутую рамку уже очень громкий) дают усиление в несколько тысяч раз. (Французский телефон в 4000 ом обнаруживает звук при токе около 0,000000001 а и дает громкий звук, но не на всю комнату, при токе в 0,000001 а; кричит же на всю комнату, как Москва в настоящем примере, при токе еще в несколько раз большем). В целом девятикратный производит усиление, вероятно, порядка миллионов раз.

Вот еще несколько примеров мощности девятикратного усилителя. Летом текущего года, когда разряды не позволяли принять Москву на антенну, прием все-таки всегда производился в Лаборатории 2-й Радиобазы (находящейся в одном здании с радиостанцией) на рамку размером в один метр в квадрате, причем уже на шесть ламп Москва была слышна, хотя и негромко, на всю комнату при лежащем на столе телефоне. Иногда и на эту рамку разряды не давали ее принять, тогда употреблялся вместо рамки большой волномер (на 17 000 м) Морского завода (диаметр катушек его — 15 см), причем для обеспечения приема приходилось уже зажигать восемь или даже девять ламп — на шесть ламп на этот волномер Москва была слышна очень тихо.

На рамку в один метр достаточно хорошо для приема в Казани слышны следующие радиостанции: Николаев, Ташкент, Саратов, Челябинск, Симбирск, Нижний Новгород, Архангельск, Баку, Тифлис, Варшава, Либава, Науэн затухающий и незатухающий (и с длинной и с короткой волнами), «ЛП» затухающая и незатухающая, Эйфелева башня затух. и незатух., Кольтана, Бухарест, София, Будапешт, Прага (незатух.), Бордо, Лион, Карнарвон, «ОУИ», Христиания и множество более слабых незатухающих — слышны были, напр., на волне около 1500 метров двух- или трехкиловаттные английские, по-видимому, судовые радиостанции, судя по содержанию передаваемых ими депеш. Кроме того, автор раза два слышал радиотелефон Нижегородской Радиолaborатории.

Для более определенного представления о слышимости на рамку с девятикратным [усилителем — *ред.*] перечисленных радиостанций привожу результаты измерения силы приема некоторых из них, произведенного по старому способу параллельных омов. При этом был взят декадный мостик Карпантье и телефон Брауна с омическим сопротивлением в 8000 ом и употреблялась сложная схема. На семь ламп еще можно было обнаружить работу станции при следующих омах: Варшава — 10, София — 7, Будапешт — 2, Оренбург — 1, Науэн затух. меньше 1, Лион — меньше 1, Науэн незатух. (12 500 м) — можно все *принять при замкнутом накоротко* телефоне; Москву можно *обнаружить* при замкнутом накоротко телефоне. Если удвоить приведенные значения шунтов, то опытный радиотелеграфист мог бы принять все. На шесть ламп

сила приема Москвы — 1 *ом*. На семь ламп на Московской волномер сила приема незатух. Науэна — 2 *ом*. — Эти цифры — далеко не крайние: при более тщательной настройке их можно было бы еще уменьшить.

На антенну с девятикратным усилителем автору почти не приходилось работать, за исключением случая опытов по радиотелефонии между Казанью и пароходом «Радищев», плававшем по Волге с небольшой радиотелефонной установкой системы А. Т. Углова в июле—августе тек. года. Из многочисленных произведенных мною наблюдений приведу пример сравнительной слышимости радиотелефона из Казани на «Радищеве». При нахождении парохода у г. Макарьева (230 верст от Казани, мне удалось полностью принять телефонограмму из Казани на детектор К5; слышно было отчетливо каждое слово, но очень тихо — к сожалению, со мной не было мостика, чтобы измерить силу приема; во всяком случае, нужна была полная тишина в каюте (на ходу парохода). На три-тер слышно было достаточно громко, но разговор в каюте все-таки мешал. На шесть ламп мощного усилителя 2-й Радиобазы разговор слышен был на всю комнату — можно было понять все в 3—4 м от телефона. Высота паровой антенны — 18 м; в схеме телефона в Казани стояло 60 обыкновенных французских усилительных ламп. — На самом пароходе в телефонной схеме стояло около 30 ламп, и разговор с парохода на девятикратный усилитель в Казани можно было еще понять целиком при благоприятных атмосферных условиях при нахождении парохода у Дубовских Хуторов (между Камышином и Царицыном, в 800 верстах от Казани); вполне же связный взаимный телефонный разговор между Казанью и пароходом происходил вплоть до Камышина. На «Радищеве» на шесть ламп разговор из Казани (при 100 лампах в передатчике) был отчетливо и достаточно громко слышен (понятно каждое слово) при нахождении парохода в 70 верстах ниже Астрахани, т. е. на расстоянии свыше 1000 верст. На этом же расстоянии в Казани очень громко, на всю комнату, при семи лампах в усилителе была слышна передача незатухающими колебаниями ключом, производившаяся на «Радищеве» с помощью тех же 30 ламп, которые служили для телефонного разговора.

Вообще на антенну девятикратный усилитель можно с успехом применять только при приемнике со сложной схемой: на простой схеме от множества слышимых одновременно радиостанций и вредных индукций различных городских токов на волнах, больших 1500—2000 метров, всегда получается целый хаос различных звуков, сливающихся в сплошной шум. При сложной схеме и малых связях между контурами все эти шумы просеиваются и если приемник обладает достаточным богатством в выборе связей, как напр., большой французский приемник, то с девятикратным можно получить чудеса отстройки от близких по волне станций.

Особенностью девятикратного усилителя является его способность к собственной генерации незатухающих колебаний, период которых определяется настройкой контура рамки или вообще приемника. Благодаря этому с девятикратным весьма удобно принимать незатухающие колебания по способу биений без помощи отдельного гетеродина — последний даже несовместим с девятикратным, так как девятикратный слышит (по способу биений) именно самый гетеродин, прием которого совершенно заглушает работающую радиостанцию.

Необходимо отметить, что при всех своих удивительных качествах и отчасти именно уже в силу колоссального производимого усиления,

на которое влияет каждая мелочь, современный тип девятикратного усилителя представляет прибор довольно сложный, со множеством регулировок: это прибор лабораторный. Хорошо ознакомившийся с ним (а на это требуется месяц — два практики), специалист сумеет извлечь из него весьма многое, использовать разнообразные комбинации; но в руках новичка, особенно не оказавшего самого серьезного внимания прилагаемой к прибору инструкции, он способен капризничать, и даже может (были такие случаи) произвести впечатление прибора совершенно неисправного: будучи, однако, вполне исправным. Особенно трудно для мало работавшего с ним учесть вредные индукции различного не радиотелеграфного происхождения: работа динамо, телефона, телеграфа, рентгеновского кабинета, периодический статистический разряд плохо заземленных железных крыш, различные электрические пертурбации атмосферного происхождения и т. д. и т. п. — все эти явления, даже довольно удаленные, сильнее всего действуют на девятикратный и проявляются в виде тресков и шумов, которые нередко даже хорошо знакомый с прибором бывает склонен приписать именно ему. В подобных случаях большую пользу может принести, не только в случае антенны, но и в случае рамки, применение сложной схемы, с помощью которой просеивается значительное количество этих нежелательных индукций.

Так как уже первые шесть ламп девятикратного усилителя дают в большинстве случаев совершенно достаточное усиление, особенно при работе с антенной, то Лабораторией 2-й Радиобазы выработан тип более простого в обращении усилителя с шестью лампами. Шестикратный усилитель 2-й Радиобазы по размерам значительно меньше девятикратного: длина его 35 см, ширина (глубина) 20 см, высота — 14 см (если бы можно было достать нужные материалы и инструменты, то размеры его без труда могли бы быть значительно уменьшены — раза в три по объему). — На верхней доске находятся гнезда для ламп и все управление прибором, состоящее всего из двух рукояток: слева — реостата накала, ею же зажигаются лампы, справа — регулятора усиления. На передней доске помещены зажимы для присоединения батарей и приемника и телефонные гнезда. Схема шестикратного приведена на рис. 6.

Обращение с прибором весьма просто: зажечь лампы и установить нужный накал, затем повернуть несколько рукоятку регулятора, чтобы достичь наилучшего усиления — и все. Конечно, обладая весьма большой по сравнению с три-тер усиливающей способностью, шестикратный требует внимательного отношения к себе; в этом отношении к нему применимо все, что сказано о девятикратном. Все необходимые указания даются в прилагаемой к прибору инструкции.

Область применения шестикратного усилителя почти так же велика, как и девятикратного: он пригоден для приема на рамку, только размер рамки для него желателен больший — метра два или больше в квадрате; вполне годен для малых антенн, натянутых, напр., внутри комнаты или на крыше вагона. Усиление он дает такое же, какое дают первые шесть ламп девятикратного; на рамку в два метра Москва кричит на всю комнату (в Казани). Как и девятикратный, он обладает собственной генерацией, и незатухающие радиостанции с ним принимаются по способу биений без отдельного гетеродина. Благодаря меньшему числу ламп он требует для накала батарей меньшей емкости, чем девятикратный, можно обойтись в крайнем случае одной исправной 4-вольтовой батареей Тюдора емкостью в 40 ампер-часов. Вообще, бла-



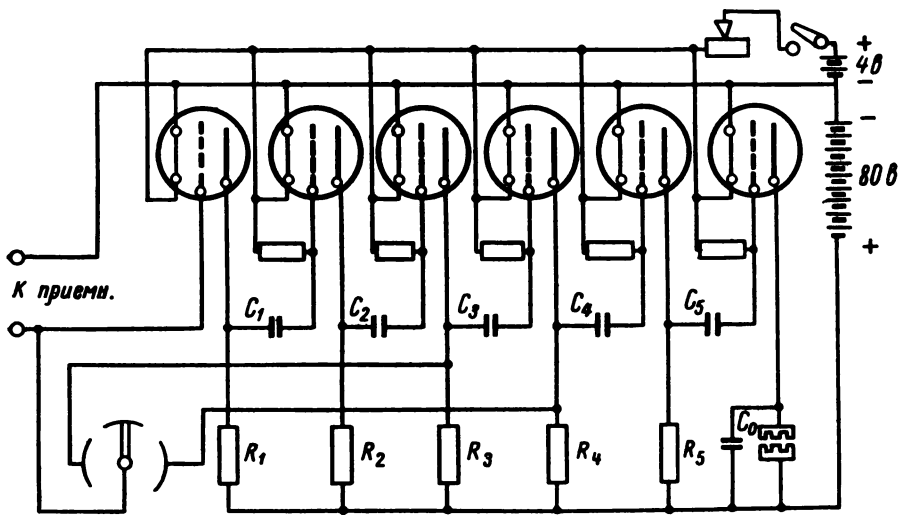


Рис. 6

годаря меньшим размерам и простоте обращения, он годится и для передвижных радиостанций, и в особенности пригоден для всякого рода пеленгаторных станций, позволяя сильно уменьшить размеры мачты и сетей.

ЧРОРИ А. Дикарев

#### Приемные рамки и их применение в лаборатории 2-й Радиобазы

Естественным дополнением мощного усилителя является рамка для приема; можно сказать, что именно при употреблении рамки вместо антенны мощный усилитель используется нормально и проявляет все свои удивительные качества. Изготавливаемые во 2-й Радиобазе мощные усилители проверяются поэтому на действительную работу именно на рамке.

Приемная рамка представляет из себя попросту больших размеров катушку самоиндукции. Чтобы можно было получить сильно отличающиеся по длине волны, катушка эта обычно делится на секции. Нужное число секций соединяется между собою последовательно и приключается свободными концами к переменному конденсатору. Полученный таким образом колебательный контур можно настроить на желаемую волну, вращая рукоятку конденсатора. К борнам этого же конденсатора присоединяется усилитель — вот и весь приемный аппарат: не нужно ни антенны, ни отдельного приемника, ни заземления.

Размеры рамки могут быть самые различные в зависимости от применяемого усилителя, мощности и дальности предполагаемых к приему радиостанций, желаемой силы приема, а также от располагаемого помещения. С шести или девятикратным усилителем 2-й Радиобазы большинство мощных европейских радиостанций слышно удовлетворительно (в Казани) на рамку размерами в один метр; наиболее мощные из них

слышны достаточно хорошо для приема на рамку диаметром в 15 см. С усилителем три-тер и с гетеродином на ту же рамку в Казани хорошо слышны мощные европейские незатухающие радиостанции, а также Москва, Ташкент, Науэн затухающий, Николаев; без гетеродина эти затухающие станции не слышны в Казани на 3-тер даже на рамку в 2 метра в поперечнике. Во всяком случае слишком большие размеры рамки не рекомендуются: во-первых, при употреблении мощных усилителей получается слишком громкий прием, причем и все мешающие действия — атмосферные разряды и городские токи сильно возрастают; во-вторых, неудобно уже становится вращать рамку, что имеет, как увидим ниже, большое значение.

Форма рамки бывает тоже разная, и большого значения она не имеет, особенно для длинных волн. Делают рамки и плоские и коробчатые, в поперечном сечении квадратные, шести- и восьмигранные и даже треугольные. Собственно, наилучшая форма катушки — круглая, так как при такой форме данную самоиндукцию можно получить при наименьшей длине затраченного проводника, — при квадратной, например, форме катушки проводника пойдет на целую четверть больше для получения той же самоиндукции, чем при круглой форме, при треугольной — еще больше. Но так как сделать рамку квадратную значительно проще, чем круглую или шестигранную, то рамки больших размеров обычно делаются квадратными.

Обмотка рамки делается обыкновенно однослойная, во избежание большой собственной емкости катушки. Число витков, которое нужно намотать для получения желаемой длины волны на рамку данных размеров при данной наибольшей емкости переменного конденсатора и данной проволоке, можно вычислить по обычным формулам, по которым вычисляется самоиндукция однослойных катушек. При квадратной рамке со стороны в два метра и обычном воздушном телефонном конденсаторе (наибольшая емкость — около 2500 см) понадобится около 40 витков однослойной намотки из медного полевого телефонного кабеля, чтобы можно было слушать Москву; чтобы настроиться на Лион (не считая новой радиостанции в Бордо, работающей волной 23 400 м, волна Лиона — около 15 000 м — самая длинная из волн европейских радиостанций), нужно намотать на ту же рамку витков 80.

В чем же заключаются привлекательные стороны, а также и невыгоды приема на рамку?

Главная невыгода приема на рамку — это весьма малая слышимость по сравнению даже с самой маленькой антенной. Этот недостаток возмещается отчасти громадной усиливающей способностью мощных усилителей; но поставьте тот же усилитель на самую скромную антенну, натянутую, например, над крышей одного вагона на высоте в один метр — и вы сразу увидите, насколько прием на такую антенну громче приема на квадратную рамку в 2 м. Затем, по моим наблюдениям, мешающее действие индукции различных городских токов — электрического освещения, трамваев, рентгеновских кабинетов и пр. — сказывается, по-видимому, сильнее на рамку, чем на антенну.

Привлекательных сторон приема на рамку много, и среди них есть некоторые чрезвычайно ценные.

Пожалуй, самая важная особенность рамки — ее направляющее свойство. Рамка хорошо воспринимает проходящую электромагнитную волну тогда, когда плоскость ее витков совпадает с направлением на принимаемую радиостанцию; если же повернуть рамку на 90° от этого направления — она совершенно не будет воспринимать волны станции, даже если последняя находится на очень близком расстоянии. В проме-

жуточных положениях между этими крайними слышимость плавно изменяется при вращении рамки, доходя от максимума до полного исчезновения. Следует отметить, что максимум звука выражен расплывчато, но минимум очень резок. Например, Московская мощная радиостанция на расстоянии в 3 версты от рамки совершенно перестает быть слышна, если рамку повернуть на минимум звука, — но при малейшем отклонении рамки от этого направления Москва, на таком близком расстоянии, сразу становится слышна очень громко.

Это направляющее свойство рамки, прежде всего, дает возможность всегда знать направление, в котором находится передающая радиостанция. Чтобы определить это направление, достаточно повернуть рамку в положение самого громкого приема — и плоскость витков рамки прямо укажет искомое направление. Но так как максимум силы звука довольно расплывчат, то гораздо точнее направление на работающую радиостанцию определяется по минимуму звука: поворачиваем рамку до тех пор, пока звук принимаемой станции совершенно не исчезнет; при дальнейшем вращении рамки звук опять появится; отмечаем середину этого, так называемого угла молчания рамки, — она получается весьма точно, так как положения рамки, при которых звук исчезает, наблюдаются очень отчетливо; искомое направление на принимаемую станцию получается, если к этой середине угла молчания прибавить  $90^\circ$ .

Правда, рамка дает, очевидно, всегда два направления диаметрально противоположные: напр., если плоскость витков рамки направлена с запада на восток, то принимаемая радиостанция может находиться либо к западу от рамки, либо к востоку. Но на практике почти всегда можно сделать выбор между этими двумя направлениями на основании каких-либо соображений; ясно, напр., что заграничные мощные радиостанции находятся вообще в западном, а не в восточном направлении.

Если работающая станция находится на близком расстоянии в несколько десятков верст, как это бывает на фронте, то с помощью двух рамок можно точно определить самое ее местонахождение. Для этого нужно только обе рамки поставить на достаточно большом расстоянии друг от друга (именно, на расстоянии того же порядка, на каком находится определяемая радиостанция) и с этих двух точек определить направления на работающую станцию. Проведя на карте эти два направления, мы в точке их пересечения получим действительное местонахождение работающей радиостанции. В данном случае уже никакой двойственности не получается, так как две прямые линии пересекаются только в одной точке. Точность такого определения местонахождения передающей радиостанции тем больше, чем ближе угол между двумя направлениями или, как говорят, двумя засечками к  $90^\circ$ . — Наоборот: если наблюдатель слышит на рамку две известные радиостанции, расположенные от него в двух различных направлениях, то, прочертив на карте через эти два известных пункта два найденных направления, он в точках их пересечения получит свое собственное местонахождение.

На рис. 7 и 8 даны примеры таких засечек. Наблюдатель *A* (рис. 7), положим, определяет, что направление на работающую станцию составляет с точкой юга угол в  $25^\circ$  к западу, и сообщает это определение наблюдателю *B*. Последний, зная местонахождение наблюдателя *A*, наносит это направление на карту. Со своей стороны получает направление на ту же работающую станцию в  $80^\circ$  к западу от точки юга. Нанеся его на карту, он в точке *B* находит действительное положение рабо-

тающей станции. — На рис. 8 дан пример определения собственного положения с помощью засечек известных станций. Наблюдатель слышит две станции: *A*, направление на которую составляет с точкой юга угол в  $160^\circ$  к западу, и *B*, направление на которую составляет с точкой юга  $95^\circ$  к востоку. Через точки *A* и *B* он откладывает на карте полу-ченные направления — и пересечение их в точке *B* определяет на карте его собственное местонахождение.

Не менее важно применение направляющего свойства рамки для приема во время работы близкого передатчика. Несмотря на острую настройку приемника, которую позволяют современные слабо затухающие и незатухающие радиостанции, мощный близко находящийся пе-

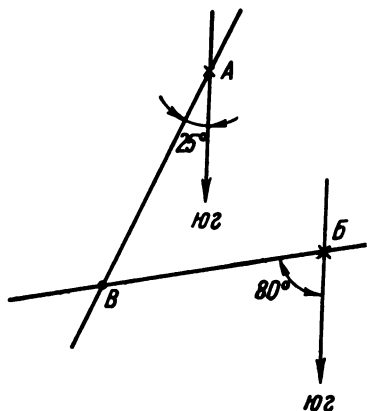


Рис. 7

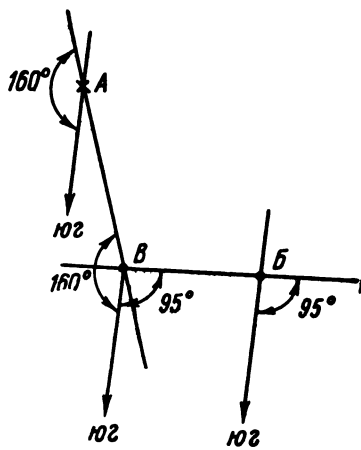


Рис. 8

редатчик заглушает далекие радиостанции; бывало, напр., что приемная радиостанция в Твери с трудом принимала Лион и Науэн во время работы Москвы, хотя волны всех этих станций различны и расстояние между Москвой и Тверью — около 150 верст. Если рамку поставить в таком месте, чтобы угол между направлениями на близкий передатчик и на принимаемую станцию приближался к  $90^\circ$ , то прием становится возможным на очень близком расстоянии от передатчика. Автор принимал без всякой помехи радио незатухающих Науэна, Лиона, Карнарвона, Эйфелевой башни на расстоянии около 3 верст от мощной Московской (затухающей) радиостанции во время работы ее передатчика.

Правда, разница в длинах волн в данном случае была значительная и притом все указанные принимаемые станции были незатухающие; зато угол между направлениями на них и на Москву был довольно острый. Но автору удавалось также во время работы Москвы записывать полностью TSR (быв. Царскосельскую радиостанцию): тут разница в волнах была уже невелика — около 400 м всего, т. е. примерно 8%, и обе станции были затухающие; зато угол между направлениями на них был около  $60^\circ$ .

Очень ценно еще и то свойство рамки, что размеры ее ничтожны по сравнению с большими антеннами, натянутыми на высоких мачтах, и что ее можно поставить внутри помещения. При размерах в один метр ее нетрудно перевозить; впрочем, ее легко устроить складную. Устано-

вить ее и привести в готовность — дело одной минуты. Находясь целиком в комнате — заземления рамка вообще не требует, и наружу из комнаты не выходит ни одного провода, — она ничем не выдает своего присутствия вблизи от фронта и не может служить мишенью для тяжелой артиллерии и самолетов противника, как это бывает с обычными радиостанциями, оборудованными высокими мачтами. Сравнительно ничтожные размеры рамки могут сильно облегчить задачу устройства приема во время работы находящегося в том же городе передатчика: надо только для приемной станции подыскать квартиру в такой части города, чтобы направление на местной станции составляло по возможности прямой угол.

Радиотелеграфисты-практики хорошо знакомы с мешающим действием так называемого статистического разряда. Летом пыль и в особенности дождь, зимой — снег нередко бывают наэлектризованы. Ударяясь об антенну, наэлектризованные частицы отдают ей свой заряд — и в телефоне слышно характерное, равномерное потрескивание при параллельном включении конденсатора, переходящее в сильные щелчки, если конденсатор приемника включить последовательно с самоиндукцией. Если вырубить антенну, оставив небольшой зазор, то через него проскакивают искры, длиной иногда в несколько сантиметров. Так как рамка находится в закрытом помещении, то для ее непосредственного статистического разряда не существует; она может только слышать такой разряд, если поблизости есть незаземленная антенна или плохо заземленная железная крыша. Но мешающее действие статистического разряда в этом случае несравненно меньше, чем при приеме на антенну.

Атмосферные разряды колебательного характера, по моим наблюдениям, сказываются на рамку всегда меньше, чем на антенну. Прошедшим летом прием Москвы и иностранных радиостанций в случае сильных разрядов, не позволяющих принимать на антенну, всегда переносился с радиостанции Базы в Лабораторию (находящуюся в одном здании с радиостанцией), и не было случая, чтобы на рамку он оказался невозможным. Когда трудно было от разрядов принять Москву на рамку в один метр, вместо рамки употреблялся большой волномер Морского завода (диаметр катушек — 15 см), и на него во всех случаях Москву принять оказывалось возможным.

Характерным случаем употребления рамки является прием во время близкой, даже непосредственно над станцией проходящей грозы. Прошлым летом на радиостанции 2-й Радиобазы не раз приходилось заземлять антенну во время московской передачи вследствие грозы — но прием всегда переносился на рамку и производился без пропусков. Грозовые удары для рамки совершенно неопасны — она не получает, как антенна, непосредственных истечений электричества из воздуха; редкие же короткие щелчки от близких грозовых разрядов мешают приему несравненно меньше, чем вообще сильная атмосфера без грозы.

В Лаборатории 2-й Радиобазы применялись рамки различного устройства, в зависимости от обстоятельств. Первой была сделана большая складная коробчатая квадратная рамка в два метра в стороне, с однослойной обмоткой из медного телефонного кабеля. Обмотка эта при складывании рамки снимается целиком без сматывания и вся рамка в сложном виде представляет небольшой пучок брусков. Так как, с одной стороны, на этой рамке получался прием излишней силы, а с другой — в новом помещении Лаборатории комнаты небольшие, рамка же оказалась слишком громоздкой, была построена квадратная рамка в один метр в квадрате, которая употребляется и до сих пор. Эта рамка

повешена в кардановом подвесе и может принимать любое положение в пространстве. Сделано это специально для изучения расположения в пространстве приходящей волны — мною еще раньше были замечены любопытные отклонения направления электромагнитного поля от предполагаемого нормального положения. К сожалению, в центре нашли излишним дальнейшее изучение этого явления (несмотря на его очевидную важность в вопросах, связанных с устройством приемных радиостанций) и отказали Лаборатории Базы в универсальном (астрономическом) инструменте, без которого немисливо определять точно положение рамки в пространстве.

Кроме этих двух специально построенных рамок в Лаборатории 2-й Радиобазы применялись еще в качестве рамок большие волномеры (до 17000 м) РОБТиТа и Морского завода, главным образом, как упоминалось выше, в случаях особенно сильных атмосферных разрядов.

В последнее время прием на рамку в Лаборатории 2-й Радиобазы производится исключительно со сложной схемой. Применение сложной схемы было вызвано постоянной работой рентгеновского кабинета, находящегося в полуверсте от Лаборатории; до употребления сложной схемы индукция из этого кабинета заглушала работу даже Москвы. Сложная же схема просеяла весьма большое количество разного рода шумов и тресков, порождаемых городом; работать на рамке со сложной схемой несравненно приятнее, чем с простой. На малых волнах (наблюдение было сделано при приеме Архангельска) при сложной схеме значительно увеличилась, очевидно, благодаря выгодной трансформации, сила приема.

Устроена эта сложная схема в Лаборатории Базы весьма просто: последовательно с самой рамкой вставлена небольшая, в несколько витков, катушка связи, на которую положена катушка волномера Морского завода, усилитель приключен к борнам конденсатора этого волномера, который и является вторичным контуром. Сдвигая катушку волномера с катушки связи, легко получить желаемую связь между обоими колебательными контурами. В Лаборатории Базы предположено конструировать для рамок специальные замкнутые контура с катушками связи.

Небезынтересно отметить влияние близкой антенны на рамку. Вкратце обрисовать это влияние можно следующим образом. Если антенна не настроена на волну рамки, влияние ее незаметно вовсе. Если же она настроена в резонанс с рамкой, то, во-первых, рамка обнаруживает второй максимум звука помимо настоящего, obligatory своим происхождением антенне; во-вторых, самое влияние антенны может и усилить и ослабить звук принимаемой на рамку станции в зависимости от различия в фазах колебаний в антенне и в рамке. Если при данном положении рамки, стоящей в максимуме приема некоторой станции, влияние антенны ослабляет силу приема на рамку, то при повороте рамки на  $180^\circ$  оно будет уже увеличивать ее.

В заключение не мешает указать, что прием на рамку сравнительно небольших размеров (1—2 метра в квадрате) мощных незатухающих европейских станций — Науэна, Лиона и др. — в Казани возможен и без мощного усилителя: три-тер с гетеродином дают хотя и слабый, но все же достаточной силы для опытного слухача прием этих станций. С помощью гетеродина можно принять на такую же рамку также Москву, Ташкент, затухающий Науэн и некоторые другие затухающие радиостанции, только, конечно, не тональным звуком, свойственным этим станциям, а шипящим.

ЧРОРИ А. Дикарев

В конце сентября тек. года мною был сконструирован гетеродин нового образца, работающий теперь на Центральной радиостанции Базы. Отличительная особенность его та, что для него вовсе не нужно батарей ни напряжения, ни накала — и то и другое берется прямо от городской осветительной сети. Достаточно вставить обыкновенную штепсельную вилку прибора в осветительное штепсельное гнездо — и гетеродин готов к работе.

Реостат накала этого гетеродина секционирован и рассчитан на напряжение городского тока от 120 до 160 в. Сделано это ввиду того, что напряжение городского тока в Казани в последнее время редко бывает нормальным (155 в), вечером оно обычно значительно понижено.

Энергия, поглощаемая реостатом, использована для согревания ног дежурного радиотелеграфиста. С этой целью реостат заделан в скамеечку, которую дежурный может ставить себе под ноги. Поглощая около 120 вт, реостат заметно согревает дежурного.

Гетеродин не имеет вовсе переключателя самоиндукции — шкала волн его при одной катушке и одном переменном конденсаторе простирается от 2500 до 20 000 м, чего совершенно достаточно для приема большинства незатухающих радиостанций.

Гетеродин этого типа весьма удобен для всех радиостанций, где есть постоянный городской ток, избавляя от возни с аккумуляторами.

ЧРОРИ А. Дикарев

От Казани до Астрахани (1000 вестр) по беспроволочному телефону

(Опыты по Радиотелефонии на дальние расстояния  
во 2-й Радиобазе в 1920 г.)

Опыты по Радиотелефонии, производимые мною во 2-й Радиобазе, являются естественным продолжением аналогичных опытов по телефонированию при помощи усилительных ламп, производившихся в 1916—1917 гг. в Офицерской электрoшколе в Петрограде и в 1919 г. в Военной радиотехнической лаборатории в Москве.

Первым в России появился французский трехламповый телефон для аэропланов. Испытание его в О. Э. Ш., произведенное под руководством В. И. Ковалева в июле 1916 г., показало, как гласит черновик акта, сохранившийся в моих бумагах, что «на детектор на 4 версты на приемнике Телефункен можно было принимать некоторые слова, разговор вообще был слышен, но разобрать что-либо трудно», на усилитель трехкратный «каждое слово слышно совершенно явственно при уменьшении говорить в микрофон и возможно разобрать по тембру голоса, кто говорит».

Осенью того же года мне удалось испытать этот аппарат на передачу с аэроплана, но, к сожалению, систематические опыты проделать было невозможно, ибо тогдашняя тыловая авиация была далеко не на высоте.

Приблизительно из десяти полетов нам два раза пришлось прибегать к вынужденной посадке из-за порчи моторов, что, конечно, сильно мешало опытам.

Кроме того, аппараты были малосильные и с трудом набирали высоту, необходимую для развертывания антенны.

Во всяком случае эти опыты подтвердили возможность корректировать с аэропланов при помощи радиотелефона.

Приблизительно в это же время зимою 1916—1917 гг. в Электрошколе почти одновременно испытывались два представителя радиотелефонии: первый дуговой радиотелефон системы Марци и второй «комбинированный радиотелефонный и радиотелеграфный передатчик» слампой Раунда (усилительной) системы Маркони. Мне пришлось поработать как с тем, так и с другим, и опыт сразу же показал, что дуговой телефон ни в коем случае не может сравниться по простоте управления с телефоном ламповым.

Дуга часто гасла от громких «алло», горела с треском и шумом и трудно регулировалась, между тем как лампа горела спокойно и сравнительно легко регулировалась, хотя это и была еще лампа «с газом», стоящая бесспорно ниже французских пустотных ламп.

Из заметки, помещенной в Радиотехнике, известно, что телефон Марци испытывался потом и в Нижегородской Лаборатории и дал примерно те же результаты.

Единственным преимуществом дуги была ее большая мощность, но зато у нее был большой недостаток — микрофон специальной конструкции, управляющий этой мощностью. Он включался прямо в антенну и с трудом пропускал через себя ток в пять ампер; угольный порошок накаливался и переставал работать. Одним словом, «мощный микрофон» не оправдал своего назначения и в этом случае и не мог колебать больших мощностей.

Преимущества ламп за границей были быстро учтены, и осенью 1917 года в О.Э.Ш. мне уже опять пришлось демонстрировать представителям Г. В. Т. У. новую французскую модель телефона с четырьмя лампами — так называемую ими станцию Е-3. Эта приемно-передающая станция могла работать на усилитель до 20 верст и имела рубильник для перехода одним движением с приема на передачу, что позволяло вести быстрый разговор по очереди.

Эта же станция могла передавать и ключом незатухающими, причем одна из ламп телефона давала незатухающие колебания для гетеродинного приема работы ключом. Не описывая этой станции детально (описание ее будет помещено во втором издании моей книги «Усилительные лампы»), скажу лишь одно, что эта станция работала значительно лучше первой трехламповой аэропланной.

Между прочим, мне удалось ее испытать по предложению Морского ведомства на судах Балтийского флота в конце сентября и начале октября 1917 г.

Для начала опыты были достаточно удачны и заинтересовали радиоспециалистов Морведа. Предельная дальность разговора была около 25 верст при приеме на усилитель три-тер. Впоследствии завод Морведа скопировал эту станцию и мною из О.Э.Ш. и М. В. Шулепкиным с Радиозавода Морведа (в Петрограде) велись переговоры с помощью этих станций. Дальнейшего развития эти опыты, однако, не получили, так как обстановка того времени была крайне неблагоприятная, особенно в связи с эвакуацией Петрограда под давлением немцев.

Автору этих строк только после ряда скитаний со своей Лабораторией, бывшей ранее в О.Э.Ш., а потом перешедшей в Г. В. И. У., удалось опять вернуться к радиотелефонированию уже в Москве зимою 1918/19 г.

В это время в Военной Радиотехнической Лаборатории в сотрудничестве с Л. С. Терменом и А. В. Дикаревым я вновь вернулся к мысли устроить мощный радиотелефон при помощи усилительных ламп. Вре-



мя — было трудное. От Европы мы в это время были отрезаны непроницаемой стеной и оттуда лишь изредка доходили неясные слухи о достижениях в этой области (см. «Радиотехник», № 2, 1918 г.). Между тем вопрос назрел: необходимо было, не прибегая к мощному микрофону, создать мощный разговорный ток высокой частоты. Задача мною была решена путем устройства, ныне общеизвестной, каскадной усилительной схемы, постепенно усиливающей первоначально слабый разговорный ток высокой частоты, получаемый в первичном колебательном контуре с включенным в него микрофоном.

В докладе, сделанном мною в публичном собрании Общества Радиоинженеров 8 февраля 1919 г. «о мощном телефоне», я первый в России теоретически доказал и показал собранию на опыте возможность построить мощный радиотелефон по усилительной схеме, работая обыкновенным микрофоном.

Тогда предложенная мною схема была принята специалистами с некоторым сомнением, тем более, что опытов на дальнее расстояние по условиям момента произвести было невозможно, но последующие опыты, произведенные по усилительной схеме в 1920 г. в Казани и в Нижегородской Лаборатории, а равно и литература, полученная из-за границы, полностью подтвердили правильность избранного мною пути и теперь это уже не является более предметом споров.

В настоящее время одна система от другой может отличаться или главным источником, дающим высокую частоту для антенны (лампы, дуга, машина высокой частоты), или способом включения микрофона в первичный колебательный контур; общей же частью всех систем является ламповая усилительная схема, которая или прямо дает усиленный разговорный ток высокой частоты на антенну (мой метод, метод Нижегородской Лаборатории), или она является лишь регулятором более мощного источника тока высокой частоты, как, например, дуга или машина высокой частоты, как это имеется в некоторых американских схемах.

По самому существу вопроса таких решений вопроса может быть очень много, но все они будут несомненно базироваться на предварительно усиленном разговорном токе или высокой или низкой частоты в зависимости от того, где будет приложен данный разговорный ток.

Более благоприятные условия для технической работы сложившиеся во 2-й Радиобазе в Казани дали ему возможность зимой 1919—1920 гг. вернуться к разработанной им схеме и проверить ее уже на больших расстояниях.

С этой целью мною в сотрудничестве с А. В. Дикаревым, заведующим Лабораторией 2-й Радиобазы, были поставлены сначала опыты с однократной усилительной схемой, давшие возможность подробно исследовать наиболее благоприятные условия работы микрофона в колебательном контуре. Эти опыты длились около месяца.

Следует отметить, что во время этих опытов я совсем не пользовался аккумуляторами, а для накала и высокого напряжения для ламп брал энергию от городского постоянного тока (три провода  $2 \times 150$  в), что значительно упрощало работу, тем более, что вся установка помещалась на письменном столе в моей квартире. Вторая установка А. В. Дикарева находилась в Лаборатории Базы и работала от аккумуляторов, хотя иногда высоким напряжением пользовалась от города. Опыты состояли в том, что один из нас менял коэффициенты своих контуров и сейчас же запрашивал по радиотелефону, как его слышно. Таким путем последовательно было изучено влияние отдельных факторов установки.

Схема такой простейшей установки показана на рис. 9. Она является исходной схемой для небольших радиотелефонов с дальностью действия до 100 верст на усилитель при 5—10 лампах, включенных параллельно. По этой схеме, в частности, сконструирован З. В. Виткевичем. авиационный радиотелефон, акт испытания которого приведен ниже.

Действие такой схемы представляется в следующем виде; колебания, возникшие в антенне в момент зажигания ламп благодаря зарядному току включения, передаются из антенны через катушку связи в

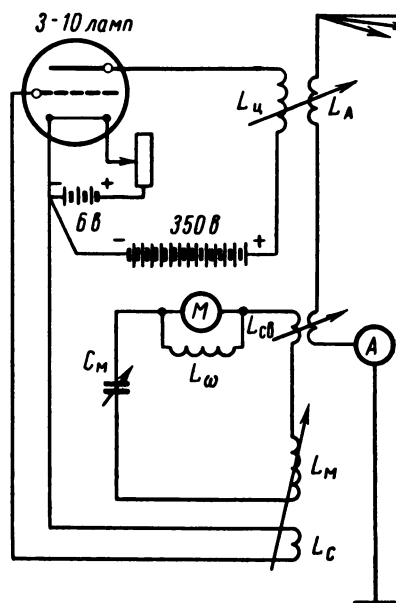


Рис. 9

микрофонный колебательный контур и оттуда по индукции через катушку сетки на сетку. Эта передача будет происходить лучше всего, конечно, тогда, когда микрофонный контур настроен в резонанс с антенной и имеет наименьшее омическое сопротивление. В этом случае напряжения, наводящиеся на сетке, заставляют ток цилиндра поддерживать уже возникшие колебания и, таким образом, в антенне создается ток высокой частоты постоянной величины, пока микрофон не меняет своего сопротивления.

Теперь, если начать говорить в микрофон, то сопротивление его (а следовательно, и колебательного контура) начнет меняться; кроме того, начнет меняться и волна этого контура, ибо самоиндукция, шунтирующая микрофон, будет играть то большую

роль, когда через нее идет сильный ток при больших сопротивлениях микрофона, то малую, когда большая часть тока идет через микрофон.

В результате это приведет к тому, что в микрофонном контуре появится разговорный ток; по индукции он наведет на сетке разговорное напряжение, которое приведет к тому, что питание антенны током цилиндра будет тоже разговорным, отчего и в самой антенне появится разговорный ток высокой частоты.

Но этого мало. Дело в том, что сам-то микрофонный контур питается за счет антенны и колебания, появляющиеся в нем каждый данный момент, зависят от силы тока в антенне. Разберем, например, процесс для звуковой волны, скажем, от буквы «а» с периодом в 0,002 сек, пусть волна антенны будет 1000 м, тогда за время одной звуковой волны, состоящей из разряжения воздуха около мембраны микрофона и одного сгущения в антенне, пройдет 600 полных колебаний, ибо продолжительность одного колебания равна всего лишь 1/300 000 сек.

Процесс пойдет следующим образом: разрежение воздуха **увеличит** сопротивление микрофона (уменьшив давление микрофонной мембраны на порошок); отсюда ток в контуре уменьшится и вместе с ним уменьшится и то напряжение, которое наводится на сетку, следовательно, уменьшится питающий ток цилиндра и отсюда ток в антенне. С уменьшением же тока в антенне ток в микрофонном контуре еще больше:

уменьшается, ибо он от антенны и питается, в результате новое уменьшение напряжения на сетку и новое падение тока в антенне. Таким образом этот круговой процесс показывает, что благодаря примененной мною схеме обратного воздействия уже небольшое изменение сопротивления микрофона вызывает большие изменения тока в антенне.

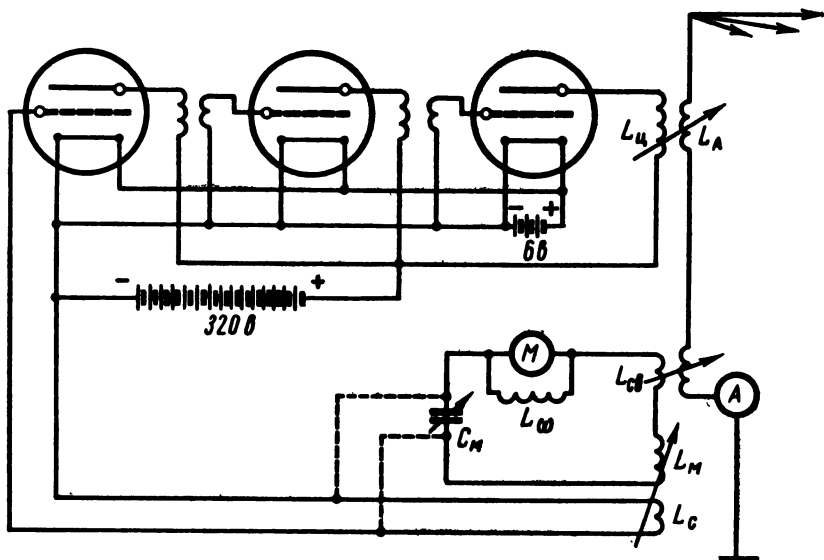


Рис. 10

В случае уменьшения сопротивления процесс нарастания тока идет тем же порядком и приводит к большому повышению тока.

Таким образом, моя схема с обратным воздействием антенны на микрофонный контур является чрезвычайно чувствительной к воздействию микрофона. Действительно, при правильном подборе данной сети и контуров разговор передается ей чрезвычайно отчетливо со всеми придыханиями и оттенками голоса.

В том случае, когда нужно получить большие энергии, число каскадов соответственно увеличивается, при чем в каждом следующем каскаде число ламп можно увеличивать раз в восемь или десять по сравнению с предыдущим (для франц. ламп).

Схема телефона с тройным усилением изображена на рис. 10; от схемы на рис. 9 она отличается лишь тем, что в первую схему вставлено два промежуточных каскада до перехода на антенну. Необходимость в нескольких каскадах объясняется тем, что ток, проходящий через микрофон и питающий (по индукции) сетки первой группы ламп, не может превосходить некоторой предельной для данного микрофона величины, так как в этом случае микрофон окажется перегруженным и будет шипеть и давать нечистый разговор.

Чтобы отрегулировать схему для разговора, необходимо микрофонный контур настроить в резонанс с антенной и уменьшить связь микрофонного контура с антенной до такой степени, чтобы микрофон начал влиять на ток в антенне согласно изложенному выше.

Дело в том что при очень сильной связи с антенной она создает такой большой ток в контуре и такое большое напряжение на сетку, что микрофон хотя и уменьшает его, но все же не может опустить

ниже нужной величины. Дело здесь в том, что ток цилиндра меняется лишь тогда, когда напряжение на сетку изменяется от 75 в и ниже, если же напряжение меняется от 75 в и выше, то ток цилиндра, достигши при 75 в максимума (ток насыщения), очевидно, при увеличении напряжения на сетке сверх этого остается постоянным и, следовательно, и ток антенны, получающий энергию от тока цилиндра, не будет меняться. Схема, раз отрегулированная таким образом, может оставаться во время разговора уже без изменения, если вольтаж накала и высокого напряжения не меняются. По схеме рис. 10 опыты начались ранней весной 1920 г. и результаты сразу же не замедлили обнаружиться.

Телефонный разговор на детектор хорошо принимали Кукмор 100 верст, Симбирск 150 верст и, наконец, Саратов 500 верст. Опыты велись систематически и ежедневно по несколько часов велись переговоры и передавались телефонограммы главным образом в Симбирск. Передавали по радио и музыку — пианино. К середине лета действие установки уже было достаточно изучено и поэтому, когда Морвед в лице флагада В. К. В. флотилии А. Г. Нигая предложил для опытов установить вторую радиотелефонную станцию на пассажирском пароходе «Радищев», мы с удовольствием приняли это предложение и в несколько дней установили на пароходе вторую станцию. Условия для опыта были чрезвычайно благоприятные. Пароходная динамо давала электрическую энергию для всех надобностей станции, а в рубке второго класса, где была установлена станция, было удобно и просторно экспериментировать, тем более, что быстроходный пароход (около 20 в в час) быстро удалялся на нужные расстояния. В результате 2-я Радиобаза от этих опытов получила много ценных результатов, за которые я считаю долгом принести искреннюю благодарность А. Г. Нигая, благодаря энергии которого нам и был предоставлен пароход для опытов.

Результаты этих опытов, длившихся около трех месяцев, зафиксированы в двух официальных документах, которые я и привожу здесь полностью.

### *Копия*

#### **Краткий отчет по испытанию Радиотелефона системы Н-ка 2-й Базы Радиотелеграфных формирований на пароходе В. К. В. флотилии «Радищев» с 24-го июля по 20 августа 1920 г.**

В 8 час. 30 мин. 24 июля 1920 г. пароход «Радищев» вышел из Казани в Астрахань для испытания установленного на нем беспроводного телефона системы Н-ка 2-й Базы Радиотелеграфных формирований тов. Углова.

Установка беспроводного телефона на пароходе «Радищев» насчитывала 35 ламп при 7-образной антенне из 4-х лучей длиной 65 м при высоте подвеса ее над уровнем воды в 18 м. Напряжение на цилиндр давалось в пределах от 320 до 400 вт.

Установленная связь 24-го июля по беспроводному телефону между пароходом «Радищев» и радиостанцией 2-й Базы поддерживалась непрерывно вплоть до Царицына, начиная же с этого пункта телефонная связь носила односторонний характер: Казань разговоров передаваемых с парохода «Радищев» не слышала, на пароходе же все разговоры Казани были слышны вплоть до конечного пункта — пос. Оля ниже Астрахани, в 1010 верстах по прямой линии от Казани. При испытании беспроводного телефона в районе Астрахань—Царицын 8—11 августа, ввиду того, что Казань разговоров с парохода «Радищев» по

беспроволочному телефону не слышала, на последнем пришли к работе незатухающими колебаниями путем включения передающего ключа в цепь сетки 2-го каскада, что дало вполне удовлетворительные результаты: Казань работу незатухающим слышала и понимала. Для сравнения результатов работы затухающими и незатухающими колебаниями было передано несколько записок при помощи имевшейся на пароходе однокиловаттной радиостанции Морведа и этой работы Казань не слышала. В деталях результаты испытания беспроволочного телефона сводятся к следующему.

24 июля. Прочная телефонная связь на детектор до г. Тетюши. В Тетюшах перешли на шестикратный усилитель. Через час после отхода из Казани установили телефонную связь с Симбирской радиостанцией. В Симбирске в 160 верстах от Казани по прямой слышимость прекрасная.

26 июля. Самара. 285 верст от Казани по прямой. Слышимость прекрасная. Посетили пароход «Радищев» Скарад Туркфронта т. Вашар и проф. Смирнов, которые говорили по телефону с Начбазы т. Угловым. Испытаны разные голоса мужские и женские, давшие прекрасные результаты. Ниже Самары у с.с. Спасское и Вавильевское в 170 верстах по прямой от Симбирска получены сообщения Симбирской радиостанции: разговор с парохода принимается его на детектор. У с. Черный затон в 120 верст от Самары получено сообщение Самарской радиостанции: разговор с парохода принимал его на детектор.

27 июля. Вольск. 415 верст от Казани по прямой. Слышимость очень хорошая при сильном мешающем действии Саратовской радиостанции и атмосферных разрядов.

28 июля. Саратов. 485 верст от Казани по прямой. Слышимость Казани очень хорошая. Говорили по беспроволочному телефону для Саратовской радиостанции Наркомпочтеля.

30 июля. Царицын. 830 верст от Казани по прямой. Слышимость Казани хорошая. Нас Казань не слышала.

31 июля. У г. Енотаевска слышимость Казани прекрасная. Нас Казань не слышала. Около Тюменьки на нашу работу по беспроволочному телефону ответили Элленская радиостанция в Астрахани и сообщила, что нас слышит она и Астраханская 10-ти киловаттная радиостанция с 10 час. утра, когда пароход находился около г. Енотаевска.

1 августа. Астрахань. 960 верст по прямой от Казани. Слышимость Казани хорошая. Нас Казань не слышала.

3 августа. Между Астраханью и пос. Оля. Слышимость Казани прекрасная. Нас Казань не слышит.

5 августа. Тот же район, те же результаты.

8 августа. Между Астраханью и Царицыном. Казань слышно хорошо. Нас Казань не слышит.

9 августа. Царицын. Слышимость Казани хорошая. Для Казани работали ключом незатухающими колебаниями, Казань слышит хорошо.

10 августа. Селение Быковы Хутора выше Царицына. Слышимость Казани великолепная. Наш разговор Казань слышит слабо. Работаем ключом незатухающими колебаниями.

11 августа. Селение Каменный Яр. Слышимость Казани хорошая. Для Казани работаем ключом незатухающими колебаниями.

12 августа. Астрахань. Слышимость Казани хорошая. На обратном пути телефонная связь установилась с Царицыном. У гор. Тетюши стали принимать Казань на детектор.

Данные установки беспроволочного телефона в Казани. Максимальное число ламп — 103, средняя высота подвеса антенны 60 метров.

## Флаград

*Штаба В. К. В. Флотилии: Нигай.*

*Представитель Базы: Шмидт.*

*Радиотехник для поручений при Радиотелеграфной Штафлот Ченыжников.*

*С подлинным верно: делопроизводитель по технической части Управления 2-й Базы Радиотелеграф. Формиров. Евдокимов.*

*Копия*

**Акт № 6551/ТО**

Согласно телеграмме Наштамора за № 75507/7741, Комиссия, назначенная приказом Командиром Нижегородского Военно-Морского Порта от 23 октября за № 2397 в составе: Председателя Радиотехника Порта И. С. Гусева, членов: Уполномоченного Моррада Радиотехника Мрачковского техника Радиотелеграфной части ПОРТА А. М. Кугушева при участии представителя от Штакоморси т. Павлинова и представителя от 2-й Радиобазы Радиотелеграфных Формирований инженера А. Г. Шмидта, произвела испытание опытной радиотелефонной установки системы А. Т. Углова на п/х «РАДИЩЕВ».

Комиссия установила нижеследующее:

**I. Технические данные на п/х «Радищев».** Телефон системы Начальника 2-й Базы Радиотелеграфных формирований А. Т. Углова осуществлен по прилагаемой при сем схеме: в качестве лампочек использованы усилительные французские лампочки, число их в 1 — каскаде — 3 лампы, во 2 — 12 и в третьем — 70; накал нити был от 5 шестивольтовых аккумуляторов «Бета» соединенных параллельно, напряжение накала поддерживалось равным 5 в. Напряжение на цепь цилиндра бралось от машины постоянного тока и поддерживалось равным 320 в, общий ток в цепи цилиндра при этом был 1,6—1,7 а.

Сеть Г-образная из четырех лучей, длиной 60 м при расстоянии между лучами равным 0,5 м, высота подвеса сети над уровнем воды равнялась 15—16 м. Рабочая волна — 860 м. Разговорный ток в антенне был равным приблизительно 5 а.

**II. Технические данные установки в г. Казани.** По сведениям, данным А. Т. Угловым и А. Г. Шмидтом:

Телефон собран по той же системе с общим числом ламп 94, напряжение накала тоже 5 в, напряжение на цепь цилиндра бралось от городской сети около 300 в. Сеть Г-образная, 4 луча, длиной около 100 м с высотой подвеса 55—60 м. Емкость сети 1600—1700 см. Рабочая волна 1500 м. Ток в антенне около 3,5 а.

**III. Результаты испытания.** Комиссия поставила себе задачу определить:

1. Дальность действия установки или минимальная энергия для данного расстояния.

2. Громкость, ясность и чистота передачи речи.

3. Надежность передачи.

4. Влияние мешающего действия.

5. Простоту или сложность управления установкой.

По пункту 1. Определение дальности действия установки на предельное расстояние не могло быть произведено, т. к. ввиду настроившихся заморозков и прекратившейся навигации пароход мог перемещаться только в пределах 10—15 верст около Н. Новгорода. Таким образом испытание было произведено на расстоянии Н. Новгород—Казань.

Для определения минимальной мощности, необходимой для покрытия этого расстояния, Комиссия уменьшала число ламп до 48 (общее число их), при этом в третьем каскаде оставалось 28 ламп, дальнейшее уменьшение не производилось, т. к., по заявлению А. Т. Углова, данная установка отрегулирована на известное число ламп и допускает изменение его только в известных пределах. При этом изменении числа ламп в г. Казани изменялась сила приема: данные этих изменений приведены в следующем пункте.

По пункту 2. В Казани были произведены измерения силы приема разговора с парохода «Радищев»: данные сообщенные А. Т. Угловым следующие: при работе с «Радищева» 85-ю лампами и приеме на шестикратный усилитель (изготовленный 2-й Казанской Радиобазой), при одном французском телефоне сопротивлением 4000 ом звук слышался еще хорошо, в пределах 50—60 ом, начиная с 10 ом и ниже звук становился неясным и исчезал при одном оме, хотя отдельные гласные были еще слышны. При работе на 54 лампы сила приема измерялась так: можно было разобрать при 150—100 ом и при 10 ом слышимость исчезала. При 43 лампах сила приема не измерялась, но разговор был слышен вполне ясно.

По сообщению Начальника Нижегородской Радиостанции словесный разговор по радиотелефону из Казани был им слышен, но слабо при приеме на детектор без усилителя. На п/х «Радищев» разговор из Казани принимался на шестикратный усилитель (выработки 2-й Радиобазы) и на три-тер, причем во втором случае слышимость несколько понижалась. В обоих случаях громкость была такова, что без всякого напряжения каждое слово принималось свободно: передача речи была чиста без примеси посторонних шумов.

По пункту 3. Для проверки надежности в г. Казань была передана радиотелефонограмма в течение 4 мин 10 сек, состоящая из 60 групп по 5 цифр в каждой, которая была полностью повторена обратно без ошибок.

Кроме того надежность характеризовалась разговором представителя Штакоморси т. Павлинова с А. Т. Угловым о передаче п/х «Радищев» в Казанскую Радиобазу, причем переговаривающиеся вполне понимали друг друга и вполне выяснили интересующий их вопрос.

По пункту 4.

Временами переговоры велись при работе посторонних радиостанций, что мало мешало: и даже при работе Нижегородской радиостанции с некоторым напряжением можно было принимать речь из Казани.

По пункту 5.

Управление сей установкой несложно: члены Комиссии с первого раза сами настраивали, вели переговоры на своих настройках и получали ответы.

IV. Заключение.

Общее заключение Комиссии таково: что эта установка при данных условиях (т. е.) расстояние Н. Новгород Казань и приведенные выше технические данные вполне обеспечивали надежную радиотелефонную связь.

*Председатель Комиссии Гусев*

*Члены: Мрачковский*  
*Кугушев*

*Участвующие:*

*Представитель Штакоморси Павлинов*

*Представитель 2-й Казанской Радиобазы Шмидт*

Как видно из приведенного отчета, пароходная установка из 35 франц. ламп (большого количества ламп в это время в Базе не было) давала возможность полностью принимать в Казани разговор парохода на шестикратный усилитель (конструкция А. В. Дикарева модель 1 2-й Радиобазы), при сравнительно небольших мачтах парохода, до 500 верст. Та же пароходная установка, но уже на сто ламп, давала возможность принимать пароход из Нижнего за 300 верст с запасом слышимости.

Особенностью испытанной схемы и ее большим достоинством является чрезвычайная четкость передачи голоса, если, конечно, установка правильно отрегулирована. Чувствительность этой схемы настолько велика, что мне из Казани удалось слышать свистки пароходов, стоящих около «Радищева». Все это объясняется особенностью схемы, которая позволяет, с одной стороны, использовать всю колебательную энергию антенны и с другой — чрезвычайно легко отвечает на все оттенки голоса. Этим и объясняется большая дальность действия, так как разговор остается понятен и ясен до тех пор, пока он слышен.

Здесь весьма уместно будет установить терминологию: во всех актах и отчетах, где говорится о том, что разговор слышен, нужно считать, что он был и понятен полностью, ибо мы имеем пример с телефоном Нижегородской Лаборатории, о котором писалось, что он слышен в Ташкенте, но который понять и в Казани не представлялось возможным даже на усилитель. О такой «слышимости» в нашем случае не может быть и речи. Ясность передачи разговора по этой схеме в общем выше ясности городского телефона, что можно видеть из опыта, описанного в акте по приему в 250 сек 300 цифр, прочитанных лишь один раз и при том с такой скоростью, что их едва было можно записать, что легко проверить, попробовав записать под диктовку такую подачу. Четкость передачи по этой схеме вполне удовлетворительная, можно видеть еще из нижеприведенного акта испытания авиационного телефона, сконструированного З. В. Виткевичем по моей схеме.

### Копия Акт

На основании приказания Врид. Начальника Воздушного Флота в Радиолaborатории Летного Отдела Главвоздухфлота представителями Штавоздух старшим Инспектором Красвоенлетом тов. Владимировым, Инспрадио тов. Калининим, специалистами Летного Отдела Радиоинженером тов. Коваленковим, радиотелеграфистом Волковым и техником-инструктором тов. Геперозовим было произведено испытание 10-ти лампового радиотелефона, изобретенного и сконструированного Начальником 2-й Радиобазы тов. Угловым. Радиотелефон демонстрировал инструктор Базы тов. Виткевич. Испытываемый радиотелефон основан на принципе генерации незатухающих колебаний с помощью катодных ламп, коих в указанном радиотелефоне имеется 10 штук; все лампы французские маломощные, марки «Металл». Микрофон помещен в замкнутом контуре. Телефон для своей работы требует напряжение постоянного тока для целей цилиндра 340 в и 6 в для цепей накала при 6,5 а. Прибор снабжен реостатом накала, потенциометром цепи цилиндра и катушки связи. Радиотелефон испытывался неоднократно. Первое испытание производилось 23 декабря 1920 г. Телефон работал на антенну радиокабинета Летного Отдела; ток в антенне достигал до 0,8 а, чувствительность настройки была хороша, разговор принимался



на расстоянии одной версты приемной радиостанции Московской авиашколы прямо на детектор без усилителя, причем весь разговор был слышен отлично без пропусков, искажения и треска, тембр голоса передавался прекрасно.

Для последующих испытаний радиотелефон был установлен в радиолaborатории ГВИУ, откуда разговор принимался хорошо без усилителя на расстоянии 8 верст радиокабинетом Летного Отдела Главвоздухфлота. Кроме того несколько дней подряд разговор по испытываемому радиотелефону принимался Информационной Приемной Радиостанцией Реввоенсовета, причем слушал Врид. Начальника Воздушного Флота как на усилитель, так и прямо на детектор.

По мнению участников испытания, радиотелефон системы Углова в его настоящем виде вполне удовлетворителен и при условии переконструирования его в целях уменьшения размеров, веса, упрощения настройки может быть применяем для передачи разговора с самолета.

Произвести испытание радиотелефона в полете не представлялось возможным ввиду большого веса источника постоянного тока, которым является батарея аккумуляторов напряжением 340 в, а также в силу значительных размеров самого передатчика.

Участники испытания находят вполне целесообразным поддержать конструктора указанного радиотелефона тов. Углова в его дальнейшей работе по переконструированию радиотелефона в целях его использования для переговоров с самолетов.

31 декабря 1920 г.

Москва

*Старший Инспектор Штавоздух Красвоенлет ВЛАДИМИРОВ*

*Инспектор по радио Штавоздух Калинин*

*Радиоинженер Летного Отдела Главвоздухфлота Коваленков*

Все вышеизложенное приводит нас к выводу, что отныне радиотелефон, как средство связи, быстро войдет во всеобщее употребление. Подтверждением этому служат и опыты в Москве с телефоном Нижегородской Лаборатории. Первоначально весьма плохая ясность передачи ныне значительно улучшилась и теперь уже (начало февраля 1921 г.) в Казани медленную речь на усилитель можно принять полностью.

Возникает теперь вопрос — в каком направлении целесообразно идти. В частности, какими лампами пользоваться — большими или малыми, соединенными параллельно. По этому вопросу один наивный автор усмотрел даже два течения в России: одни, мол, за малые лампы (Казань), другие — за большие (Нижний). На это я отвечу, что причина здесь прежде всего в том, что в Казани имеются только малые лампы, а Нижний едва успевает строить для своих опытов большие лампы и, конечно, ему уже труднее строить много ламп средней мощности.

Во всяком случае я являюсь сторонником таких ламп, которые не требуют за собою никакого специального ухода, т. е. они не должны иметь, например, водяного охлаждения, как это имеется в нижегородских лампах; ведь имеются же и работают осветительные лампы накаливания до 3000 свечей без всякого охлаждения водою. Отсюда я заключаю, что при рациональном устройстве схемы вполне можно сконструировать усилительную лампу на один киловатт без всякого охлаждения водою. Для установок малых и средних мощностей до 5—10 *квт* это, конечно, большое удобство. Кроме того, при работе нескольких небольших (скажем, киловаттных или полукваттваттных) ламп в парал-

лель порча одной лампы не вызывает ни на минуту прекращения связи, а приводит лишь к уменьшению энергии. Для практики это весьма важно. Правда, что у отдельных больших ламп есть и свои преимущества — это возможность регулировать схему точно по данной лампе, при нескольких же лампах вместе регулировка ведется на нечто среднее. Но это замечание имеет значение постольку, поскольку выделка ламп не достигла еще совершенства и однообразия.

Только для очень больших мощностей, свыше 20 киловатт, в стационарных установках может оказаться рациональным, например, строить большую лампу с ртутным при ней насосом, водяным охлаждением и т. д. Но этого, вероятно, не будет, ибо уже сейчас можно видеть, что лампа, как генератор энергии, останется лишь для небольших установок, где вопрос экономичности в использовании энергии не играет роли, а главное значение имеет удобство употребления. В больших же мощностях почти наверное лампы используют лишь, как регулятор главного источника энергии дуги или лучше всего машины высокой частоты. Таким образом, лампы будут лишь давать управляющий разговорный ток высокой или низкой частоты в зависимости от схемы включения регулятора. В этом направлении у нас в Радиобазе намечены опыты с установленным ныне дуговым генератором. В таком же роде, по сведениям американского журнала «Беспроволочный Век» за август 1920 г. в Америке делали опыты телефонирования с машиной высокой частоты.

Одним словом, т.т. читатели, совсем недолго то время, о котором я говорил в своем докладе «Будущее радиотелеграфии и радиотелефонии», прочитанном мною на Первом Всероссийском Съезде Военных Радиотелеграфистов в 1917 г. и напечатанном в № 4 «Радиотехника» за декабрь 1918 г.

Беспроволочный телефон идет, и он скоро завоюет весьма большую область народной связи, как телефон обыкновенный в свое время завоевал свое место наряду с телеграфом проволочным.

*ЧРОРИ      А. Углов*

# БИБЛИОГРАФИЯ

*Л. В. ЗАРЖИЦКАЯ, А. Ф. КОНОНКОВ*

## ЛЕНИН О ФИЛОСОФСКИХ ВОПРОСАХ ФИЗИКИ

Настоящая библиография представляет собой первую попытку собрать воедино и систематизировать наиболее распространенные вышедшие в советские годы издания периодической печати и статьи, опубликованные в тематических сборниках по философским вопросам физики.

Были просмотрены все работы В. И. Ленина, К. Маркса, Ф. Энгельса и выписаны наиболее крупные из них вопросы естествознания и техники. Карл Маркс, Фридрих Энгельс и Владимир Ильич Ленин научно доказали, что победа рабочего класса над буржуазией, освобождение всего человечества от ярма капитализма даст широкий простор для подлинного расцвета науки и всех видов духовной жизни человечества, «только социализм освободит науку ... от ее порабощения капиталом, от ее рабства перед интересами грязного капиталистического корыстолюбия»<sup>1</sup>.

Ленин неоднократно подчеркивал, что без техники, построенной по последнему слову новейшей науки, социализм немислим. Поэтому он высоко ценил и всемерно поддерживал творческую инициативу ученых, инженеров в развитии советской науки и техники.

Ленин пристально следил за развитием естествознания и в своих философских и политикоэкономических произведениях дал непревзойденный образец гениального обобщения великих открытий и технических достижений конца XIX и начала XX веков.

Помимо сотен трудов по физике Ленин проанализировал многие произведения химиков, биологов, физиологов и вслед за Марксом считал, что именно естественные науки составляют основу всех научных знаний.

Ход развития науки, а также революционная деятельность пролетариата поставили перед Лениным новые задачи как в развитии марксистской философии, так и в обобщении данных естественных наук.

Начавшаяся в период империализма реакция захватывает философию, социологию и естественные науки. Ленин разрабатывает ряд важнейших теоретических положений философии, имеющих исключительное значение и для естественных наук. В «Материализме и эмпириокритицизме», в «Философских тетрадах» и других произведениях Ленин говорит о первичности материи и вторичности сознания, о познаваемости

<sup>1</sup> В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 36, стр. 381.

мира, о роли ощущений в процессе познаний. Обобщая новые данные науки, в частности данные физики, он дает классическое определение материи, указывая, что материя есть философская категория для обозначения объективной реальности.

Ленин дал наиболее полное определение закона науки, раскрыл его конкретное содержание. Ленин показал, что законы есть необходимость природы, они раскрывают существенные связи, они отражают последовательность процессов, повторяемость явлений в природе и обществе.

Ленин вскрыл глубокую связь между естествознанием и философией, показал их взаимовлияние, огромное значение естествознания для философии и руководящее значение философии для естествознания.

Ленин определил пути развития естествознания в новых условиях, и это подтвердилось всем дальнейшим ходом развития науки. Уже в тот период такие ученые-материалисты, как А. Г. Столетов, Н. А. Умов, Д. И. Менделеев, П. Н. Лебедев, вели борьбу против реакции в физике; И. М. Сеченов, К. А. Тимирязев, И. И. Мечников, И. П. Павлов боролись с реакцией в биологии. Горячо защищая передовую науку, разоблачая идеализм и метафизику, они становились на позиции диалектического материализма.

Ученый-физик Дж. Бернал в своей книге «Наука и общество», оценивая роль В. И. Ленина в истории мировой науки, писал: «Ленин был величайшим среди крупнейших ученых своего времени по интеллектуальной силе своего мышления, по широте своего кругозора. Там, где другие великие люди видели лишь тот или другой аспект деятельности, он видел все. Он видел действительность не как нечто статическое, а в движении; он понял силы, которые определяли это движение и научился управлять ими.

... Ленин обогатил методологические основы естественных наук, он глубоко понимал все значение естественных наук как в критическом, так и в теоретическом отношении»<sup>2</sup>.

С первых дней социалистической революции В. И. Ленин — вдохновитель советской науки. Он привлекает ученых к строительству новой жизни, всячески поощряет работу тех из них, которые стали на сторону советской власти, упорно и настойчиво убеждает колеблющихся.

Ленин уделяет много внимания организации науки как общенародного дела. Он намечает планы научных исследований, издает ряд декретов об организации лабораторий, институтов и университетов. Он направляет внимание ученых на исследование природных богатств, на изучение ископаемых Урала, руды и каменного угля Сибири, нефти на Кавказе и в центре России, на изучение речных и водных ресурсов.

Идеи В. И. Ленина о науке в условиях социализма были им обобщены в его «Наброске плана научно-технических работ». Этот план стал перспективной программой исследований на многие десятилетия, сохранив свое важное значение и до настоящего времени.

По инициативе Ленина к разработке знаменитого плана ГОЭЛРО были привлечены все лучшие научные и технические силы страны.

По предложению В. И. Ленина 26 октября 1917 г. был учрежден Народный комиссариат по просвещению во главе с первым наркомом А. В. Луначарским. Народный комиссариат по просвещению РСФСР был призван возглавить руководство всей культурой социалистического государства.

В составе Народного комиссариата по просвещению наряду с другими был создан научный отдел для руководства развитием науки, по-

<sup>2</sup> Дж. Бернал. Наука и общество. М., Изд-во АН СССР, стр. 107—108.

лучивший впоследствии название Главнаука, а также Государственный ученый совет. В Петрограде продолжительное время существовал отдел для руководства научными и учебными заведениями Петрограда.

Народному комиссариату по просвещению были подчинены все учебные и научные заведения Российской Федерации и в том числе Российская академия наук и культурно-просветительные учреждения. В. И. Ленин поручил Народному комиссариату по просвещению всю работу по созданию советской культуры в нашей стране. Для работы в Народный комиссариат по просвещению были направлены лучшие революционеры-профессионалы: А. В. Луначарский, К. П. Штернберг, М. Н. Покровский, Н. К. Крупская и другие. Именно первые коммунисты, посланные в Наркомпрос В. И. Лениным, сыграли исключительно важную роль в организации новых форм руководства научными и учебными заведениями первого в мире Социалистического государства рабочих и крестьян.

15 ноября 1917 г. Совет Народных Комиссаров впервые рассматривал вопрос о создании Высшего Совета Народного хозяйства. Декрет об организации ВСНХ был подписан В. И. Лениным 2 декабря 1917 г. В первый год советской власти ВСНХ проделал значительную работу по осуществлению декрета о всеобщей национализации крупной промышленности и организации производства на социалистических началах.

Чтобы привлечь ученых к участию по восстановлению народного хозяйства, первоначально был создан так называемый Центральный совет экспертов при ВСНХ. Совет экспертов состоял из ряда комиссий, в которых были объединены лучшие ученые Российской академии наук и высших учебных заведений РСФСР. «Газета рабочего и крестьянского правительства» сообщила об учреждении при ВСНХ Совета экспертов, который «объединяет технические и научные силы России для содействия разрешению хозяйственных задач, стоящих на очереди». Основными задачами Центрального совета экспертов были поставлены:

- а) исчерпывающее и всестороннее обследование условий развития существующих и создания новых отраслей промышленности;
- б) выработка мер государственного руководства производительной жизнью страны и планомерного ее устранения;
- в) выработка программы производительной деятельности в разных отраслях промышленности, транспорта, сельского хозяйства и торговли и мер для проведения ее в жизнь»<sup>3</sup>.

Этим же постановлением было предусмотрено создание местных советов экспертов при областных отделах Совета Народного Хозяйства. В интересах укрепления и расширения связи с рабочими организациями в центральные и местные Советы экспертов делегировались представители от рабочих. В этом положении о Советах экспертов мы видим первые попытки советской власти привлечения научно-технических сил страны к переводу народного хозяйства на научную базу, широкого использования науки для перестройки экономики страны.

16 августа 1918 г. на базе Центрального совета экспертов был декретом за подписью В. И. Ленина учрежден научно-технический отдел при ВСНХ.

Декрет гласил: «В целях централизации всего научно-технического опытного дела РСФСР, сближения науки и техники с практикой производства, распределение между научными и техническими учреждениями

<sup>3</sup> «Газета рабочего и крестьянского правительства», № 35, 28 февраля 1918 г., стр. 1.

специальных заданий Советской власти, вытекающих из нужд Народного Хозяйства и контроля над этими заданиями, создать при ВСНХ Научно-технический отдел»<sup>4</sup>.

В задачу НТО ВСНХ входила организация новых научно-технических учреждений, помощь уже возникшим, координация их работы, организация лабораторий на крупных предприятиях для научного обслуживания и усовершенствования производства, содействие в изготовлении и приобретении научного оборудования. Во главе НТО ВСНХ был поставлен член КПСС, один из ближайших помощников В. И. Ленина Н. П. Горбунов.

В своих воспоминаниях Н. П. Горбунов в 1924 г. писал: «В августе 1918 г. Владимир Ильич одобряет проект учреждения Центрального научно-технического руководящего правительственного органа и ставит задачей этого учреждения организацию научно-технической работы в стране. В порядке дальнейшего обслуживания вместо Народного комиссариата науки и техники, как это первоначально мыслилось по проекту, образуется Научно-технический отдел при Высшем Совете Народного Хозяйства, намеченные за этим учреждением функции сохраняются и ему дается право вхождения непосредственно в Совет Народных Комиссаров. При неослабном содействии Владимира Ильича научно-технический отдел ВСНХ в чрезвычайных тяжелых условиях создает ряд крупнейших научно-исследовательских институтов»<sup>5</sup>.

С первых дней создания НТО к участию в его работе были привлечены ряд видных ученых: А. А. Эйхенвальд, М. Я. Лапиров-Скобло, А. Н. Реформатский и несколько позднее Д. С. Рождественский и др.

При НТО был создан вначале подсектор физики, позднее расширившийся в сектор прикладной физики, руководимый Г. В. Вульфом, членами его были И. В. Арбатский, Н. Е. Успенский, В. К. Аркадьев, И. П. Ветчинкин, В. И. Романов, А. П. Соколов и др.

В. И. Лениным был поднят вопрос о необходимости планировать и координировать изобретательскую деятельность в масштабе всей страны. Он предлагал навести порядок в таком важном деле, как рассмотрение и учет поступающих изобретений. В этом отношении значительный интерес представляет письмо «В отдел изобретений научно-технического отдела ВСНХ» от 13 ноября 1920 г., где В. И. Ленин ставит перед этим учреждением ряд конкретных задач по организации работы отдела.

Он просил ответить ему на следующие вопросы:

«1. Какое количество заявлений об изобретениях рассмотрено со времени образования отдела и какое имеется в настоящее время нерассмотренных.

2. Какое количество (1) признано полезным, 2) проведено в жизнь (назвать главнейшие).

3. Порядок и срок рассмотрения каждого изобретения и дальнейшее направление дела.

4. Может ли быть проведено в жизнь каким-либо учреждением какое-либо изобретение без заключения отдела изобретений Научно-технического отдела»<sup>6</sup>.

История хранит немало подобных писем, записок и других документов, ярко свидетельствующих о том пристальном внимании, которое Владимир Ильич лично, при всей его необычайной загруженности пар-

<sup>4</sup> ЦГАОР СС, ф. 429, оп. 60, ед. хр. 2, л. 6.

<sup>5</sup> Н. П. Горбунов. В. И. Ленин во главе великого строительства. М., Госполитиздат, 1960, стр. 178.

<sup>6</sup> В. И. Ленин. Полн. собр. соч., т. 52, стр. 8.

тийными и государственными делами, проявлял к научно-техническим достижениям.

При Научно-техническом отделе ВСНХ и его содействии возникло начиная с 1918 г. ряд научно-исследовательских институтов: ЦАГИ, ГИКИ (Керамический), Институт химических реактивов, Прикладной химии, Нижегородская радиолaborатория, организации которой деятельно и повседневно помогал В. И. Ленин<sup>7</sup>, и ряд других.

Вторым центром, при котором возникали в первые годы революции научно-исследовательские учреждения, был Комиссариат народного просвещения. Для координации контроля и помощи научным учреждениям, организованным при Наркомпросе, был создан Академический центр (Акцентр), председателем которого был известный историк М. Н. Покровский.

Маркс К. Математические рукописи. М., «Наука», 1968.

Маркс К. Различие между натурфилософией Демокрита и натурфилософией Эпикура. Из ранних произведений Маркса. М., Госполитиздат, 1956.

Энгельс Ф. Анти-Дюринг. Переворот в науке, произведенный господином Е. Дюрингом. Соч., т. 20.

Энгельс Ф. Людвиг Фейербах и конец классической немецкой философии. Соч., т. 21.

Энгельс Ф. Диалектика природы. Соч., т. 20.

Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., тт. 28—29, переписка.

Маркс К. Немецкая идеология. Соч., т. 3.

Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 24, стр. 531, 589, 591.

Ленин В. И. (Кризис в естествознании в конце XIX—XX века). Полн. собр. соч., т. 18, стр. 264—332, 379—380; т. 23, стр. 43—44; т. 45, стр. 28—31.

Ленин В. И. Государство и революция, гл. 5, раздел «Высшая фаза коммунистического общества». Полн. собр. соч., т. 33, стр. 83—102.

Ленин В. И. Главная задача наших дней. Полн. собр. соч., т. 36, стр. 78—82. Первоначальный набросок статьи «Очередные задачи Советской власти». Стеногр. записка, стр. 146—164.

Ленин В. И. Очередные задачи Советской власти. Полн. собр. соч., т. 36, стр. 165—208.

Ленин В. И. Набросок плана научно-технических работ. Полн. собр. соч., т. 36, стр. 231.

Ленин В. И. О «левом» ребячестве и о мелкобуржуазности. Полн. собр. соч., т. 36, стр. 300—301 (о роли техники в условиях социализма).

Ленин В. И. Речь на первом съезде Советов народного хозяйства 26 мая 1918. Полн. собр. соч., т. 36, стр. 377—386.

Ленин В. И. Речь на I Всероссийском съезде земельных отделов, комитетов бедноты и коммун. 11 декабря 1918 г. Полн. собр. соч., т. 37, стр. 357—358 (о технике и ее роли в условиях капитализма и социализма).

Ленин В. И. Успехи и трудности советской власти. Полн. собр. соч., т. 38, стр. 39—73.

Ленин В. И. Проект программы РКП(б). Полн. собр. соч., т. 38, стр. 81—124.

Ленин В. И. Отчет Центрального Комитета 18 марта (1919 г.) VIII съезду РКП(б). Полн. собр. соч., т. 38, стр. 131—152. Доклад о парт. программе (VIII съезду РКП(б) 19 марта 1919); т. 38, стр. 152—186.

Ленин В. И. Ответ на вопросы америк. журналиста. Полн. собр. соч., т. 39, стр. 113—117.

Ленин В. И. Экономика и политика в эпоху диктатуры пролетариата. Полн. собр. соч., т. 39, стр. 271—282.

Ленин В. И. Доклад о работе ВЦИК VII созыва 2 февраля 1920 г. Полн. собр. соч., т. 40, стр. 87—110.

Ленин В. И. А. М. Бонч-Бруевичу. Полн. собр. соч., т. 51, стр. 130. Письмо содержит оценку значения радиовещания.

Ленин В. И. Ответ на вопросы корреспондента англ. газеты «Daily Express» 18 февраля 1920 г. Полн. собр. соч., т. 40, стр. 148—149.

Ленин В. И. Речь на III Всероссийском совещании заведующих внешкольными подотделами губернских отделов народного образования 25 февраля 1920 г. Полн. собр. соч., т. 40, стр. 160—165.

<sup>7</sup> А. М. Николаев. Ленин и радио. М., Госполитиздат, 1958.

Ленин В. И. Первоначальный набросок тезисов по аграрному вопросу (для Второго съезда Коммунистического интернационала). Полн. собр. соч., т. 41, Ленин В. И. Задачи Союзов молодежи (речь на III Всероссийском съезде молодежи 2 окт. 1920 г.). Полн. собр., соч., т. 41, стр. 298—318.

Ленин В. И. Наше внешнее и внутреннее положение и задачи партии (на Москов. губер. конференции РКП(б) 22 ноября 1920 г.). Полн. собр. соч., т. 42, стр. 17—38.

Ленин В. И. Доклад Всероссийского Центрального Исполнительного комитета и Совета Народных Комиссаров о внешней и внутренней политике. Полн. собр. соч., т. 42, стр. 128—162.

Ленин В. И. Проект резолюции по докладу об электрификации. Полн. собр. соч., т. 42, стр. 196—197.

Ленин В. И. Управляющему делами СНК. Полн. собр. соч., т. 50, стр. 212. Директивы ЦК Коммунистам — работникам Наркомпроста. Полн. собр. соч., т. 42, стр. 319—321.

Ленин В. И. Об едином хозяйственном плане. Полн. собр. соч., т. 42, стр. 339—347.

Ленин В. И. О продовольственном налоге. Полн. собр. соч., т. 43, стр. 205—245.

Ленин В. И. Наказ от СТО (Совета Труда и Оборона) местным советским учреждениям. Проект. Полн. собр. соч., т. 43, стр. 266—291.

Ленин В. И. Тезисы доклада о тактике РКП на III конгрессе Коммунистич. интернационала (первоначальный проект). Полн. собр. соч., т. 44, стр. 3—12.

Ленин В. И. Доклад о тактике РКП 5 июля (III конгресс Коммунистич. Интернационала 22 июня — 12 июля 1921). Полн. собр. соч., т. 42, стр. 34—54.

Ленин В. И. О внутренней и внешней политике республики. Отчет ВЦИК и СНК Всероссийскому съезду Советов 23 дек. 1921 г. Полн. собр. соч., т. 44, стр. 291—329.

Ленин В. И. Наказ по вопросам хозяйственной работы, принятый IX Всерос. съездом Советов 28 декабря 1921. Полн. собр. соч., т. 44, стр. 335—338.

Ленин В. И. Предисловие к книге И. И. Степановой «Электрификация РСФСР в связи с переходной фазой мирового хозяйства». Полн. собр. соч., т. 45, стр. 51—52.

Ленин В. И. Письма И. В. Сталину для членов Политбюро ЦК РКП(б) о развитии радиотехники. Полн. собр. соч., т. 45, стр. 194—195.

Ленин В. И. Лучше меньше, да лучше. Полн. собр. соч., т. 45, стр. 389—406.

Ленин В. И. (Об естеств. и обществ. науках). Полн. собр. соч., т. 1, стр. 137—144, 274—276, 414; т. 2, стр. 200—201; т. 4, стр. 36—38; т. 18, стр. 81—82, 187—188, 347—349, 362—364; т. 23, стр. 40, 43; т. 25, стр. 40—42, 44—45, 49—50; т. 26, стр. 54—55, 57—59, 249—250; т. 39, стр. 67—68; т. 45, стр. 28—31.

Ленин В. И. (Забота о развитии науки и деятелях науки). Полн. собр. соч., т. 42, стр. 262—263, 342—344; т. 45, стр. 194—196; т. 51, стр. 121—122, 130, 176—185, 192, 312—313; т. 52, стр. 54, 198—199, 238; т. 53, стр. 160—161; т. 45, стр. 224.

Ленин В. И. (Об электрификации). Полн. собр. соч., т. 36, стр. 228, 231, т. 35, стр. 274—275, т. 36, 303—305, 342—343, 344, 348—349, 354—355, 378—380; т. 41, стр. 306—307, 317—318, 337, 344—345; т. 42, стр. 41—42, 70—71, 110—111, 155—161, 196—197, 198; т. 43, стр. 60—61, 69—70, 99—100, 101, 172—173, 200, 382—383, 221—222, 228—229, 269—270, 270—271, 305—307, 334—335; т. 44, стр. 8—10, 49—52.

Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 18, стр. 71—75, 76—80, 85—87, 88—89, 94—95, 96, 130—131, 187—188, 190—191, 218—219, 235—237, 333—335, 336—338, 367—378, 379—380 (естествознание); т. 20, стр. 128—129, 61, 45—46, 84—85, 274—276, 85—86, 111, 112, 104, 312—315.

Абрамян А. О. Некоторые вопросы ленинского учения о материи и их значение для современного естествознания. Труды Новочеркасского политехн. ин-та им. С. Орджоникидзе, т. III, серия экономич., 1960.

Абрашнев М. М. В. И. Ленин о сущности и значении естественноисторического материализма. «Вопросы философии», 1965, № 8.

Алексеев П. В. В. И. Ленин о союзе философии и естествознания. М., «Знание», 1964.

Алексеев П. В. Ленин о значении союза марксистской философии и естествознания. «Вестн. Моск. ун-та», экономика, философия, 1962, № 3.

Алексеев П. В. Ленинская идея союза философии и естествознания и борьба за ее осуществление в СССР. Научные доклады высш. школы, филос. науки, 1964, № 2.

Андренко С. С. В. И. Ленин и некоторые вопросы философии естествознания. «Вестн. Моск. ун-та», биология, почвоведение, 1960, № 3.

Архипцев Ф. Т. В. И. Ленин о научном понятии материи. (Философия естествознания). М., Госполитиздат, 1957.



Баженов Л. и Слупкий М. Ленинские принципы критики идеализма в естествознании. «Коммунист», 1963, № 9.

Бетаки Л. М. Нерушимый союз марксистской философии и естествознания. Л., «Наука», 1964

Бондаренко П. П. и Рабинович М. Х. Знаменательная дата из истории борьбы за материализм в философии и естествознании. «Вестн. АН СССР», № 9, 1959.

Бублий М. З. В. И. Ленин о связи философии и естествознания. В кн.: «В. И. Ленин и некоторые вопросы совр. философии», М., «Знание», 1960.

Вавилов С. И. Собр. соч., т. 3. Работы по философии и истории естествознания. М., Изд-во АН СССР, 1956.

Вдохновляющие идеи великого Ленина (90 лет со дня рождения). «Природа», 1960, № 4 (Статья о роли Ленина в разрешении важнейших проблем в естествознании).

Готт В., и Кавецкий Р. Ленин и некоторые философские вопросы соврем. естествознания (к 50-летию выхода в свет книги В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм»). «Коммунист Украины», 1959, № 4.

Гурвич С. С. В. И. Ленин о естественнонаучной пропаганде. «Врачебное дело», 1960, № 4.

Гуцол А. З. К вопросу о значении философских работ В. И. Ленина для развития науки. Одесса, 1960.

Деборин А. М. Ленин — воинствующий материалист. «Под знаменем марксизма», 1924, № 1, 2; Двадцать лет советского естествознания, «Природа», 1937, № 10.

Долгих Ф. И. Марксистско-ленинская философия о материальном единстве мира и современное естествознание. «Московский пропагандист», 1956, № 10.

Дурмишьян М. Ленин и современное естествознание. «Медицинский работник», 1952, 20 января.

Егоршин В. Энгельс и естествознание. «Фронт науки и техники», 1935, № 8.

Ершов А. Д. Борьба В. И. Ленина за материализм в естествознании и достижения советской физики. Тезисы докладов 5-й научной конференции Дальневосточного ун-та. Владивосток, 1960.

Естествознание и марксистско-ленинская философия (к 31-й годовщине со дня смерти В. И. Ленина). «Наука и жизнь», 1955, № 1.

Жданов Ю. Ленин и естествознание. М., Госполитиздат, 1959.

Жданов Ю. Ленин и развитие естествознания. Ростов-на-Дону, 1957.

Жмудовский А. З. В. И. Ленин о временных кризисах в естествознании. Изд-во Киевского ун-та, 1960.

За поворот на фронте естествознания. Дискуссия на заседаниях Президиума Комакадемии с 23/XII 1930 по 6/I 1931. М.—Л., Соцэкономиздат, 1931.

Звенигородцев Н. Ленин и диалектика. «Под знаменем марксизма», 1924, № 8—9.

Идеи Ленина — великий источник творческого вдохновения (о значении работ В. И. Ленина для развития естествознания. Передовая. Изв. АН СССР, сер. биол.), 1960, № 3.

Исаков П. К. Маркс и современное естествознание. Алма-Ата, 1934.

Каганов В. М. В. И. Ленин о значении диалектического материализма для развития естествознания. «Наука и жизнь», 1957, № 4.

Каганов В. М. Энгельс и естествознание. К 140-летию со дня рождения Ф. Энгельса «Экономическая газета», 1960, 24 ноября.

Каплуненко Ф. Н. В. И. Ленин и развитие советского естествознания. Уч. зап. Кишиневск. ун-та, 1959, т. 40 (по общественным наукам).

Карпов М. М., Потемкин А. Диалектический материализм и естествознание. М., «Наука», 1964.

Карпов М. М. В. И. Ленин и революция в естествознании. В кн.: «Всепобеждающие идеи». Ростов-на-Дону, 1960.

Карпинский А. П. Неопубликованная статья А. П. Карпинского о Ленине. Вестн. АН СССР, 1962, № 4.

Кедров Б. М. Ленинский анализ революции и современного естествознания. В сб.: «Ленин и наука». М., изд-во АН СССР, 1960.

Кедров Б. М. О произведении Ф. Энгельса «Диалектика природы». М., Госполитиздат, 1952.

Кедров Б. М. Ленин о связи между диалектикой и естествознанием. «Под знаменем марксизма», 1944, № 1.

Кедров Б. М. Предмет и взаимосвязь естественных наук. М., Изд-во АН СССР, 1962.

Кедров Б. М. О взглядах Энгельса на классификацию наук. «Наука», 1946, № 3.

Кедров Б. М. О соотношении форм движения материи в природе. М., «Знание», 1958.

Кедров Б. М. В. И. Ленин и естествознание. «Природа», 1964, № 4.

Кедров Б. М. Ленин и Энгельс о кризисе естествознания. «Природа», 1934, № 1.

Князев Г. А., Корявов П. Н. В. И. Ленин и работы академической комиссии по изучению естественных производительных сил России. «Природа», 1945, № 3.

Кольман Э. «Энгельс и естествознание». «Сов. наука», 1940, № 11.

Кольман Э. и Максимов А. Современное естествознание и философские работы Ленина. «Правда», 1934, 13 января.

Кольман Э. Ленин о преодолении кризиса в естествознании. «Фронт науки и техники», 1938, № 1.

Кольман Э. Современное естествознание подтверждает предвидения Ленина. «Проблемы мира и социализма», 1960, № 4.

Комаров В. Л. Энгельс. «Вестн. АН СССР», 1940, № 11—12.

Кононков А. Ф. На заре советской науки. «Московский университет», 1963, 23 апреля.

Кубиашвили М. Л. В. И. Ленин и естествознание. Труды Ин-та философии АН ГрузССР, Тбилиси, 1957, т. VII.

Кузнецов И. В. Ленин и естествознание. «Наука и жизнь», 1951, № 1.

Кузнецов И. В. «Материализм и эмпириокритицизм». В. И. Ленин и естествознание XX века. «В помощь полит. самообразованию», 1959, № 5.

Кузнецов И. В. Философские идеи Ленина и познание природы. «Успехи физ. наук», т. 70, вып. 4, 1960.

Кузин А. А. История техники в работах Маркса. «Вопросы истории естествознания и техники», вып. 8, 1959.

Криницкий А. М. Работа К. Маркса над вопросами естествознания. Вопросы естествознания. «Вопросы философии», 1948, № 1.

Лепинь Э. Ф. Ленин и современное естествознание. «Природа», 1930, № 3.

Лешинер Б. И. Естествознание и производительные силы о-ва. Изд-во Томского ун-та, 1961.

Лихнер Е. А. Философия и современное естествознание. М., «Высшая школа», 1964.

Макаров А. Д. О произведении Энгельса «Анти-Дюринг». М., Госполитиздат, 1951.

Максимов А. А. Об отношении Ленина к естествоиспытателям. «Под знаменем марксизма», 1931, № 9—10.

Максимов А. А. Очерки по истории борьбы за материализм в русском естествознании. М., Госполитиздат, 1947.

Максимов А. А. Философия и естествознание за 5 лет. «Под знаменем марксизма», 1936, № 1.

Максимов А. А. К итогам успехов естествознания в СССР за 15 лет. «Под знаменем марксизма», 1932, № 9—10.

Максимов А. А. Ленин и естествознание. М.—Л., ГТТИ, 1933.

Максимов А. А. Заветы Ленина и естествознание. «Правда», 1937, 5 марта.

Максимов А. А. Ленин и кризис естествознания эпохи империализма. «Под знаменем марксизма», 1931, № 1—2.

Максимов А. А. К вопросу о диалектике в истории естествознания. «Под знаменем марксизма», 1924, № 4—5, 6—7.

Максимов А. А. Современное естествознание и «Материализм и эмпириокритицизм» Ленина. «Под знаменем марксизма», 1937, № 10—11.

Максимов А. А. «Материализм и эмпириокритицизм» — материалистическое обобщение данных естествознания. «Под знаменем марксизма», 1938, № 11.

Максимов А. А. В. И. Ленин и естествознание. «Природа», 1949, № 1.

Максимов А. А. Марксизм и естествознание. «Под знаменем марксизма», 1933, № 2.

Максимов А. А. и др. Очерки по истории физики в России. М., Учпедгиз, 1949.

Максимов А. А. Материалистическое обобщение естествознания XIX в. «Под знаменем марксизма», 1940, № 11.

Малаховский А. Я. Борьба В. И. Ленина за материализм в естествознании и достижения современной биологии. В кн.: Омский с.-х. ин-т им. С. М. Кирова. Теоретич. конф., посвящ. 90-летию со дня рождения В. И. Ленина. Сб. докладов, 1960.

Мариничев Э. А. Разработка Лениным некоторых философских вопросов естествознания. Учебн. пос. для студентов Л., «Наука», 1960.

Машталер Г. Диалектика природы в трудах классиков марксизма (Библиография. Ленин об естествознании). Одесса, 1936.

Меняйло И. Л. Кн. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» и революция в современном естествознании. В кн.: «Сб. работ, посвящ. 50-летию выхода в свет книги Ленина «Материализм и эмпириокритицизм». Днепропетровск, 1959.

Митин М. «Материализм и эмпириокритицизм» Ленина и борьба против современной идеалистической реакции. «Вопросы философии», 1949, № 1.

Миросхина Н. Энгельс о значении теоретического мышления в естествознании. «Изв. АН УзССР», 1941, № 2.

Мясников Л. Н. Лидер современного естествознания (о роли физики в развитии естественных наук). «Наука и жизнь», 1955, № 1.

Некоторые философские вопросы естествознания. Ред. коллегия: Каганов В. М. и др., М., Изд-во АН СССР, 1957.

Некоторые философские вопросы естествознания. Сб. аспирантских рефератов. Ред. коллегия: Коган С. Я. и др., Одесса, 1962.

Некоторые философские вопросы естествознания. Сб. статей. Ред. коллегия: Иванов А. И. (пред.) и др. Изд-во Саратовского ун-та, 1959.

Новинский И. И. В. И. Ленин и философские проблемы биологии. «Природа», 1962, № 4.

Новинский И. И. Ленин и вопросы естествознания (К 70-летию со дня рождения). «Медицинский работник», 1940, 22 апреля.

Новинский И. И. В. И. Ленин о партийности в естествознании. «Естествознание в школе», 1949, № 1.

Новик И. Б. «Вестн. АН СССР», 1965, № 4.

Новосельцев К. О работах прфс. Фаталиева Х. М. по философским вопросам естествознания. Махачкала, Дагестанское книжное изд-во, 1961.

Омельяновский М. Э. Маркс, Энгельс и естествознание. Тр. Воронежск. хим.-технол. ин-та, тт. III—IV, 1939.

Панчев И. Ленин и естествознание. «Природа», 1960, № 2.

Перетурин А. Ф. Энгельс о законе сохранения и превращения энергии. Уч. зап. Читинского гос. пед. ин-та, вып. 4, 1959.

Петрушевский С. Разгром В. И. Лениным субъективного идеализма в естествознании. «Медицинский работник», 1953, 29 января.

Пивцайкин Г. И. Энгельс и некоторые вопросы естествознания. «Изв. АН БССР», 1951, № 3.

Платонов Г. В. Ленин и советское естествознание. «Политическое самообразование», 1963, № 3.

Рябинин Л. Маркс и Энгельс об изобретательстве. «Фронт науки и техники», 1933, № 2.

Санкин Д. А. Ленинское учение о развитии естествознания и его значение для современной науки. Уч. зап. Куйбышевск. гос. пед. ин-та, вып. 33, часть философск. Куйбышев, 1960.

Сасховец Е. Л. В. И. Ленин и современное естествознание. «Доклады ТСХА», вып. 54, М., 1960.

Серова Т. А. и Гаврилина И. М. О взаимосвязи философии и естествознания. В кн.: «Развитие В. И. Лениным теории марксизма. Некоторые вопросы философии, политэкономии и истории КПСС». М., Госполитиздат, 1962.

Сисакян Н. М. Движущая сила научного творчества. «Природа», 1960, № 4.

Сифоров В. И. Общие тенденции развития Советского естествознания. «Вопросы философии», 1963, № 4.

Сифоров В. И. Идеи Ленина и современное естествознание.

Слуцкий М. С., Склярский В. А. В. И. Ленин и вопросы новейшего естествознания. Ростов-на-Дону, Ростиздат, 1940.

Склярский В. А. Материалистическое обобщение Лениным новейшего естествознания. В помощь изучающим марксизм-ленинизм. Ростов-на-Дону, «Молот», 1940, 18 июля.

Соболев С. Д. В. И. Ленин и естествознание. «Вопросы философии», 1960, № 7; «Культура и жизнь», 1961, № 4.

Тальгеймер А. Ленин как философ. «Под знаменем марксизма», 1924, № 8—9, 12.

Тимирязев А. К. Насущные задачи современного естествознания (с порт. автора и предисл. Л. Цетлина), изд. 4. М., «Книга», 1923.

Тимирязев А. К. Ленин и современное естествознание. «Под знаменем марксизма», 1924, № 2.

Типухин В. Н. Особенность ленинского подхода к обобщению достижений естествознания и критике идеализма в естественных науках. В сб.: «Тезисы докладов теорет. конф., посв. 50-летию выхода в свет книги В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм». Омск, 1959.

Трошин Д. М. Философская основа современного естествознания. «Природа», 1959, № 5.

Трошин Д. М. Ленин и современное естествознание, «Природа», 1954, № 1.

Трошин Д. М. Торжество идей Ленина в естествознании. «Естествознание в школе», 1954, № 1.

Туровец И. И. Энгельс и естествознание. «Изв. АН БССР», т. II, отд. № 1. общ. наук, 1941.

Уравносский Я. М. Идеи Маркса и современное естествознание. «За социалистическую науку», 1933, 29 марта.

Ферсман А. Е. Естествознание в СССР за 25 лет. «Под знаменем марксизма», 1942, № 10.

Философские проблемы современного естествознания. Труды Всесоюзного совещания по философским вопросам естествознания. Ред. кол.: П. Н. Федосеев и др. М., Изд-во АН СССР, 1959.

Фурман А. Е. В. И. Ленин о связи философии и естествознания. «Зоологический журнал», 1960, вып. 39, № 4.

Харламов Г. А. К вопросу о критике В. И. Лениным идеализма в естествознании после выхода в свет его работы «Материализм и эмпириокритицизм». (В сб.: «Философск. вопросы физики и химии»). Свердловск, 1959.

Царегороцев Г. Великий корифей науки. Ленинское философское наследие и развитие естествознания. «Медицинская газета», 1963, 22 апреля.

Чесноков В. И. Ленин и современное естествознание. «Вестн. АН СССР», 1959, № 5.

## ЛЕНИН О НАУКЕ И НАУЧНЫХ УЧРЕЖДЕНИЯХ

Амвросов А. Ленин и культура. «Клуб», 1962, № 4.

Арончик И. Л. Борьба В. И. Ленина против левачских извращений социалистической культуры. «Философские науки», 1964, № 2 (Науч. доклады высш. школы)

Асенин С. В чем смысл и значение ленинской критики Пролеткульта. «Политическое самообразование», 1965, № 8.

Бабин М. Ленин о научной организации труда. Научные доклады высшей школы. «Экономические науки», 1965, № 3.

Бахрах А. М., Князев Г. А. В. И. Ленин и план научно-технических работ. Известия высших учебных заведений. «Приборостроение», 1960, № 2.

Боголюбов Д. На фронте просвещения в 1920—1921 гг. «Фронт науки и техники», 1935, № 9 (Воспоминания о встречах с Лениным по вопросам реорганизации Моск. обл.).

Браславский И. Я. Сорокалетие первого декрета о высшем образовании. «Вестн. Высш. школы», 1958, № 8.

Великий друг науки. «Наука и жизнь», 1960, № 4.

Волгин В. П. Ленин и наука. «Изв. АН СССР», сер. истории и философии, 1945, № 2.

Гак А. М. В. И. Ленин и развитие международных культурных и научных связей Советской России в 1920—1924 годах. «Вопросы истории», 1963, № 4.

Гольцберг Б. Ленин и культурная революция. «Пропаганда и агитация», 1939, № 17.

Городецкий Е. Н. Из истории Московского университета. «Преподавание истории в школе», 1955, № 4.

Горбунов В. В. Ленин и проблема культурного наследия. «Советская культура», 1957, 19 января.

Горбунов В. В. Борьба В. И. Ленина с сепаратистскими устремлениями Пролеткульта. «Вопросы истории КПСС», 1958, № 1.

Горунов Н. П. Отношение Ленина к технике и науке. «Знание — сила», 1965, № 4.

Гумилевский Л. Русские инженеры, изд. 2. М., «Молодая гвардия», 1953.

Дворкина Е. По декрету Ленина (О роли В. И. Ленина в создании Среднеазиатск. гос. ун-та). «Звезда Востока», 1960, № 4.

Деменов Н. Корифей науки. «Научно-технические о-ва», 1960, № 4.

Денисова Л. Ф. В. И. Ленин и Пролеткульт. «Вопросы философии», 1964, № 4.

Елютин В. В. Ленинские указания о высшей школе претворяются в жизнь. «Правда», 1960, 15 апреля, № 106.

Жибарев П. Б. Ленин и электрификация Советской России. М., Соцэкгиз, 1960.

Зарубин Т. Большое сердце. «Советская Беларусь», 1960, 15 апреля (Забота Ленина об ин-те школьных инструкторов физического труда в Москве).

Зарецкий Ю. Ленинской мысли полет. «Известия», 1963, 20 апреля.

Заславский Д. Учитель ученых. «Фронт науки и техники», 1934, № 1.

Зверев А. С. В. И. Ленин и советская наука. В кн.: «Итоговая научная сессия, посвященная 90-летию со дня рождения В. И. Ленина». Л., Изд-во Гидрометеорологического ин-та, 1960.

Зильманович Д. Я. Против искажения фактов и распространения вымыслов. «Вопросы истории КПСС», 1965, № 6.

Исаль А. Н. В. И. Ленин — великий корифей науки. «Советское здравоохранение Киргизии», 1960, № 2—3.

Каржинский А. П. Неопубликованная статья А. П. Каржинского о Ленине. «Вестн. АН СССР», 1962, № 4.

Карпов Г. Ленин о культурной революции. «Народное образование», 1956, № 4.

Кафтанов С. Ленин и культура. «Советская культура», 1965, 20 апреля.

Кафтанов С. Высшее образование в СССР, М., «Молодая гвардия», 1950 (о создании ун-та в Свердловске, о декрете 1920 г., об указании Ленина о создании Среднеазиатского ун-та).

Ким М. Коммунистическая партия — организатор революции в СССР. М., Госполитиздат, 1955 (об организации ин-та Красной профессуры, о декрете 2 февраля 1921, СНК за подписью Ленина).

Клименко И. Е. Торжество Ленинских идей электрификации. Ярославль, 1960.

Климушев В. Я. Ленин и высшая школа. «Вестник высшей школы», 1960, № 4.

№ 4. Кольцов А. В. Из воспоминаний ученых о Ленине. «Вестн. АН СССР», 1960, № 4.

Кульков И. И. Ленин о науке и технике. «Атомная энергия», т. 8, вып. 4, 1960.

Куприкова Е. Великий корифей науки. «Туркм. искра», 1960, 13 марта.

Кутунцева Н. М. Возникновение рабочих факультетов и их роль в формировании кадров новой советской интеллигенции (1919—1925 гг.). В кн.: «Исторические записки». М., Просвещение, 1955, стр. 134 о декрете СНК от 2/VIII 1918 «О правилах приема».

Об учреждении Соц. академии (25 мая — 7 июня 1918). «Ленинский сборник», XXI, стр. 206—207.

Проект постановления по рассмотрению устава и организации академии.

Покровский М. Н. Воспоминания о Ленине: Сб. статей и воспоминаний. М., Партиздат, 1933, стр. 18—22. Ленин и высшая школа.

Покровский М. Н. Чем был Ленин для нашей высшей школы. «Правда», 1924, 27 января.

По ленинскому декрету. «Советская культура», 1954, 21 января (О создании Среднеазиатск. гос. ун-та в Ташкенте по декрету Ленина (7/X 1920).

По ленинскому декрету. «Комсомольская правда», 1955, 17 апреля (Об Уральском гос. ун-те).

Памятка на проекте положения о вузах (4 сент. 1921) «Ленинский сборник», XXIII, стр. 196.

Поправки к проекту преобразования научн.-технич. отдела. «Ленинский сборник», XX, стр. 198. Об объединении всех научно-исследовательских работ в стране.

Столяров Н. Вечно живой зодчий науки «Комсомольская правда», 1960, 6 апреля.

Сергиенко С. Р. В. И. Ленин о роли науки и техники в соц. о-ве. «Изв. АН ТуркмССР», сер. обществ. наук, 1960, № 3.

Синецкий А. Я. Профессорско-преподавательские кадры высшей школы. М., Госполитиздаг, 1950 (постанов. Народ. Комиссариата от 11 сентября 1919 г. об организации рабочих факультетов).

Смольянинов В. При участии Владимира Ильича. «Вестн. высшей школы», 1960, № 4.

Советские университеты. Беседы с министром высшего образования СССР С. В. Кафтановым. «Огонек», 1946, № 25—26.

Терпигорев А. М. Воспоминания горного инженера. М., Изд-во АН СССР, 1956, стр. 148 (декрет об учреждении Московской горной академии).

Трошин Д. М. Корифей науки. «Природа», 1960, № 4.

Шамшур В. Ленин. Декреты о радиостроительстве. «Радио», 1960, № 3.

Шевяков Л. Д. Мудрый наказ ученым. «Правда», 1960, 8 апреля.

Юхвец М. А. Борьба партии большевиков за создание сов. выс. школы (1917—1920). Автореф. дис. М., 1952.

## ЛЕНИН И НАУКА

Абдрахманов М. Ленин и современная наука. «Коммунистическая партия Татарии», 1962, 12.

Академик В. А. Столетов о Ленине (Из материалов архива АН СССР). «За социалистическую науку», 1934, 20 января.

Александров А. Д. Роль Ленина в развитии науки. «Вопросы философии», 1960, № 8.

Александров А. Д. Ленин и наука. «Известия», 1960, 21 апреля.

Александров Г. Великий преобразователь человеческого об-ва. «Комсомольская правда», 1940, № 93, 22 апреля.

Александров Г. Ленин и наука. «Вестн. АН СССР», 1949, № 1.

Александров Г. О некоторых задачах общественных наук в современных условиях. «Большевик», 1945, № 14.

Алексеева Г. Ленин и создание центров Сов. историч. науки (1918—1923). «Вопросы истории», 1960, № 4.

Арнольд А. И. Во имя коммунизма (О роли Ленина в развитии сов. науки). «Наука и жизнь», 1958, № 4.

Арнольд А. И. Ленин и наука. В кн.: «Некоторые вопросы философского наследия В. И. Ленина» (сб. статей), вып. 1. М., «Наука», 1958.

Артыков А. А. В. И. Ленин — великий корифей передовой науки. В кн.: «Среднеазиатский политехнич. ин-т», Труды, вып. 16, нов. серия. Ташкент, 1960, стр. 7—23.

Апресян. Верный пример (О внимании Ленина к изобретателю А. М. Игнатьеву). «Техника молодежи», 1960, № 4.

Ашурков Е. Д. Ленин о единстве науки и практики. В сб. «Материалы к истории медицины и здравоохранения Сибири». Томск, 1960.

Баевский Д. Ленинский план социалистического преобразования России и ГОЭЛРО. «Вопросы истории», 1947, № 3.

Баскин М. Ленин и наука. «Юный коммунист», 1933, № 7—8 (Ленин как теоретик и его отношение к вопросам науки и техники).

- Батикян Г. Г. Ленинские заветы и развитие науки в Армении. «Сталинец», Ереван, 1940, № 48.
- Бернал Дж. Ленин — величайший ученый. «Правда», 1953, 21 января.
- Бернал Дж. Наука и общество, М., Изд-во АН СССР, 1952.
- Бирюков В. Г. Электрспередики начинаются здесь. «Огонек», 1962, № 36 (О создании Всесоюзного научно-исследовательского электротехнического ин-та при содействии Ленина, 1921).
- Бонч-Бруевич В. Л. Это дело неотложное. «Наука и жизнь», 1960, № 4.
- Бонч-Бруевич В. Л. Ленин и мир ученых. «Красная газета», 1925, № 203, 6 сентября (О заботливом, внимательном отношении Ленина к миру ученых).
- Бонч-Бруевич В. Л. Ленин в Петрограде и в Москве. М., Госполитиздат, 1956.
- Бонч-Бруевич В. Л. Ленин и мир литераторов и ученых. «На литературном посту», 1927, № 20.
- Бонч-Бруевич В. Л. Ленин об изобретательстве. «Изобретатель», 1929, № 2.
- Быстрянский В. Корифей передовой науки. «Пропаганда и агитация», 1940, № 5—6.
- Вавилов С. И. Наука на службе Родины. «Красноармеец», 1946, № 2.
- Вавилов С. И. О путях развития сов. науки. «Природа», 1946, № 2.
- Вавилов С. И. Советская наука на новом этапе. М., Изд-во АН СССР, 1946.
- Вавилов С. И. 30-летие наказа В. И. Ленина Академии наук. «Вечерняя Москва», 1948, 13 апреля.
- Валескал П. Ленин и наука. «Фронт науки и техники», 1935, № 1.
- Васильев В. Н. Выполняем заветы Ильича. «За социалистическую науку», 1935, 21 янв.
- Вдохновляющая сила Ленинской мысли. «Природа», 1961, № 4.
- Вейтков Ф. Л. Памятные даты ленинско-сталинской электрификации СССР (1917—1947) «Электрические станции», 1947, № 11.
- Вишеров Л. А. Ленин — великий корифей науки. Труды Московск. станко-строительн. ин-та им. Сталина. 1930—1940, вып. 9. М., 1960
- Волгин В. П. Ленин и наука. «Изв. АН СССР», сер. истор. и философ., 1945, т. 11, № 2.
- Воронков Г. З. Ленин о роли науки в развитии производства. Труды ЛПИ им. М. И. Калинина, № 213. Л., 1960.
- Всепобеждающая сила ленинских идей. «Физика в школе», 1955, № 2. Высказывания Ленина о науке. «За социалистическую науку», 1935, 21 января.
- Гагарин А. Революционер науки. «Учительская газета», 1939, 21 января.
- Генеральный вождь трудящихся и великий корифей науки. «Физика в школе», 1949, № 1.
- Генкин Е. Ленинские идеи о радио претворены в жизнь. «Радио», 1949, № 1.
- Георгиевский Б. В. И. Ленин о техническом прогрессе и овладении техникой. «Военный инженер», 1956, № 4.
- Гиринис С. Ленин о специалистах науки и техники. М.—Л., «Красная новь», 1924.
- Гладков И. А. В. И. Ленин и план электрификации России. М. Госпланиздат, 1947 (Ин-т экономики АН СССР). Рец.: Ханьковский А. И. «Советская книга», 1948, № 10.
- Горбунов Н. П. Великие планы развития науки и техники. В кн.: «Ленин во главе высшего строительства» (сб. воспоминаний о деятельности Ленина на хозяйственном фронте). М., Госполитиздат, 1960.
- Гордеев Д. И. В. И. Ленин и геология. «Бюл. МОИП», отд. геолог., т. 35, вып. 2, 1966.
- Горбунов Н. П. Поставить всех техников в условия, идеальные для их работы, — об этом мечтал Ленин. «Изобретатель и рационализатор», 1960, № 4.
- Грановский Г. А. Ленинский план электрификации страны и создание материальной базы коммунизма. «Вопросы экономики», 1949, № 1.
- Гращенко Н. Ленин и наука. «Медицинский работник», 1945, 21 апреля.
- Григорьев Б. С. Новые ленинские документы о радио (по мат-лам XXXVI Ленинского сб-ка). «Вестник связи», 1960, № 5.
- Грин М. Ф. Свет ленинских идей (О роли В. И. Ленина в развитии сов. науки). «Природа», 1963, № 4.
- Губкин И. М. Доклад на первом Всероссийском съезде административных и техн сил горного дела. «Горное дело», 1920, № 6.

Дерягин Г. В. Некоторые вопросы развития сов. науки в трудах Ленина после октябрьского периода. Сб. работ Ленингр. технол. ин-та пищевой промышленности. М., «Наука», 1958.

Доброгаев С. М. Последние дни. «Наука и жизнь», 1960, № 4. (О любви Ленина к науке. О посещении Лениным в 1923 г. Всесоюзной с/х выставки).

Дубовик Г. Л. Ленин — корифей революционной науки. Труды Омского мед. ин-та им. Калинина, 1961, № 32.

Ерохин А. Звездный путь. (Об отношении к проблемам космическ. полетов). «Молодой коммунист», 1962, № 4.

Ефимов В. И. и Гизитдинов Х. Х. Ленин и наука. Труды Самаркандского ун-та, 1960, вып. 108.

Жимерин Д. Г. Триумф Ленинского плана электрификации. «Электричество», 1957, № 11.

Жуков-Вережников А. Ленин и наука эпохи социализма. «Медицинский работник», 1961, 21 апреля.

Звонов Л. Ленинизм — идейная основа развития передовой науки. «Пропаганда и агитация», 1949, № 1.

Заплавный А. Я. В. И. Ленин и наука. В кн.: «Полит. экономия, философия и история КПСС». Красноярск, 1964.

Захарченко В. Об этом мечтал Ленин (роль Ленина в развитии сов. науки). «Советский флот», 1960, 17 апреля.

Зелинский Н. Л. Всемогущая сила науки (Ленин и науки). «Комсомольская правда», 1945, 2 октября.

Итоговая за 1955 г. научная конференция, посвященная XX-летию Новосибирского мед. ин-та. Тезисы докладов. Новосибирск, 1955 (на стр. 5—6. Золоторев М. Е. Ленин о задачах науки).

Казakov Дело гигантски важное. (Ленин и радиовещание). «Советская печать», 1960, № 5.

Кедров Б. М. Энгельс о познании основного закона физики. «Физика в школе», 1941, № 1.

Келлер Б. А. Научное наследие переглавим в пламени ленинизма. «За социалистическую науку», 1932, 1 мая.

Келлер Б. А. К новому подъему творчества. «За социалистическую науку», 1934, 20 января.

Келдыш М. Все силы науки — строительству коммунизма. «Вестн. АН СССР», 1963, № 7.

Князев Г. А., Кольцов Л. В. Краткий очерк истории Академии наук СССР, изд. 2, доп. М.—Л., АН СССР, 1957, (на стр. 65—89 1907—1928 годы. Повседневная помощь и внимание В. И. Ленина науке).

Кольман Э. Ленин, партия и наука. «Техника молодежи», 1963, № 7.

Кузнецов Ф. Н. Борьба ком. партии Сов. Союза за развитие науки в первые годы Сов. власти (1918—1920). Автореф., 1954 (на стр. 15 о декрете СНК за подписью Ленина 23/XII 1919 г. «О мерах, имеющих целью сохранения научных сил России»).

Кузнецов Ф. Н. О мерах привлечения буржуазных специалистов на службу Советской власти в 1918—1920 гг. Сб. научных трудов. Томский электротехнич. ин-т инженеров железнодорож. трансп. (работы каф. марксизма-ленинизма), т. 26, 1958.

Леонтьев Л. А. Ленин — величайший гений науки. «Вестн. АН СССР», 1945, № 1—2.

Лукашев К. Величайший мыслитель и корифей науки. «Советская Белоруссия», 1960, 19 апреля.

Луначарский А. В. Просвещение революции. М., «Красная новь», 1924.

Луначарский А. В. На фронте просвещения. Доклад о народном просвещении на 2-й сессии ВЦИК, 9 октября 1924.

Луначарский А. В. Ленин и его отношение к науке и искусству. «Народное просвещение», 1925, № 1.



Луначарский А. В. Ленин об Академии наук. «За социалистическую науку», 1934, 20 января.

Ляпунов Б. Великий друг людей смелой мысли. «Юный техник», 1960, № 4.

Майзель И. А. Ленин и наука. Труды Ленинградского ин-та водного транспорта, вып. 20, 1961.

Манеев А. К. Ленин о науке и техническом прогрессе. Инжен.-физ. журнал, т. 3, 1969, № 4.

Маньковская И. Л. Ленин и план электрификации России. «Вестн. Моск. ун-та», 1949, № 10.

Марахов В. Г. В. И. Ленин о роли техники и технического прогресса в строительстве социализма и коммунизма. Труды Ленинградского кораблестроительного ин-та, вып. 30, 1960.

Моштакoва К. Здесь решались вопросы радиостроительства. «Радио», 1960, № 4.

Мелюхин С. Т. Ленинская критика «физического идеализма» и ее значение для современной науки. «Пропагандист», 1955, № 6.

Менделевич Г. А. Беседа Ленина с Уэллсом об электрификации России. «Электричество», 1957, № 11.

Мерзон Л. С. Ленин о задачах советской науки. Уч. зап. Ленинградск. ун-та, т. 152, Межкафедральный сборник, 1958.

Мицц И. Ленин, Октябрь, Наука. «Правда», 1961, 14 октября.

Мицц А. Л. Газета без бумаги и расстояний. «Природа», 1960, № 4.

Моисеев Б. М. Ленин и передовая наука. «Изв. АН АзербССР», 1940, № 2.

Мушкетсв Л. И. Ленин и наука. «Петроградская правда», 1924, 27 янв.

Наан Г. Роль Ленина в развитии науки. «Коммунист Эстонии», 1960, № 4.

Наказ Ленина советским ученым претворяется в жизнь (К 25-летию со дня смерти В. И. Ленина). «Изв. АН СССР», отд. экономики и права, 1949, № 1.

Нехорошев Ю. Роль Ленина в организации и развитии советского изобретательства (в кн.: «Томский политехнический ин-т», 1958).

Никитин В. П. Советская наука служит народу. «Наука и жизнь», 1950, № 11.

Николаев А. М. У колыбели советского радио. «Советская культура», 1957, 22 апр.

Николаев А. М. Ленин и радио. М., Госполитиздат, 1958.

Николаев Е. Друг науки и техники. Л., «Правда», 1941, 21 января.

Николаенко А. С. Ленин — забота о советском радио. «Вестник связи», 1957, № 11.

Новый этап развития советской науки. «За социалистическую науку», 1933, 30 августа.

Ольденбург С. Ф. Ленин и наука. «Научный работник», 1926, № 1.

Ольденбург С. Ф. Две встречи. «За социалистическую науку», 1934, 20 января.

Пажитнов Л. Н. В. И. Ленин и вопросы культуры. «Вестн. истории мировой культуры», 1960, № 2.

Панкратова А. М. Ленин — величайший корифей науки. «Вестн. АН СССР», 1944, № 1—2.

Пинкевич А. П. Ленин и наука. М., «Молодая гвардия», 1924, № 2—3.

Писаржевский О. Зоркость гения. «Промышленно-экономическая газета», 1960, 22 апреля.

Писаржевский О. Как живей, с живыми говоря. «Новый мир», 1961, № 4.

Педосов А. Д. В. И. Ленин о техническом прогрессе, как важнейшем условии строительства социализма и коммунизма. В кн.: «Великое торжество идей Ленина». М., «Высшая школа», 1960.

Петров Ф. Н. Всегда с нами. Великий друг науки. «Наука и жизнь», 1960, № 4.

Петров Ф. Н. Друг науки. «Наука и религия», 1960, № 4.

Петров Ф. Н. Незабываемое. «Известия», 1963, № 89.

Петров Б. Уроки прошлого. «Вопросы литературы», 1964, № 8.

Под знаменем марксизма (передовая). «За социалистическую науку», 1933, 29 марта.

По заветам Ильича. «За социалистическую науку», 1934, 20 января.

Познанский В. С. Ленин и советское изобретательство. «Вопросы истории», 1962, № 4.

По Ленинскому пути. «За социалистическую науку», 1935, 21 января.

- Полосатов Е. Для счастья человечества. «Сельская жизнь», 1960, 21 апреля.
- Поляков В. И. Осуществление ленинских идей о техническом прогрессе. В кн.: «Ташкентский текстильный ин-т. Кафедра общественных наук». Сб., вып. 13. Ташкент, 1961.
- Почкай И. Б. и Чашников И. П. В. И. Ленин и научная информация. М., «Наука», 1965.
- Прокофьев В. С. В. И. Ленин о значении техники в строительстве коммунизма. В кн.: «Московский автомобильнодорожный ин-т». Труды, вып. 26, М., 1960.
- Проппирный Н. Н. Ленинская забота о техническом прогрессе. «Военный связист», 1956, № 4.
- Рубцов И. Е. Идеи Ленина о научно-техническом прогрессе претворяются в жизнь. Москва, 1960.
- Серлецкий И. Ленин и первый университет на Урале. «В помощь пропагандисту и агитатору», 1945, № 4.
- Середенко М. В. И. Ленин о техническом прогрессе как об одном из главных условий перехода к коммунизму. «Экономика Советской Украины», 1960, № 2.
- Сергеев А. Л. Черты великого человека. «Радио», 1963, № 4.
- Сифоров В. И. Ленин и радио. «Изв. АН СССР», отд. технич. наук, 1960, № 2.
- Сифоров В. И. Ленин и радиотехника. «Радиотехника и электроника», 1960, т. 5, вып. 4.
- Скочинский А. Для народа, с народом. «Труд», 1960, 22 апреля.
- Смирнов И. С. Ленин и первые мероприятия Советской власти в области науки. «Вестн. Моск. ун-та», 1949, № 1.
- Смирнов И. С. Ленин и советская наука. «Вестн. Моск. ун-та», 1955, № 4—5.
- Смирнов И. С. Ленин и советская культура. М., Изд-во АН СССР, 1960.
- Соболов С. Л. Ленин и наука. «Изв. Сиб. отд. АН СССР», 1960, № 5.
- Солопов С. Г. В. И. Ленин о техническом прогрессе. М., «Знание», 1960.
- Степанов П. Н. В. И. Ленин и электрификация СССР. «Вестн. Моск. ун-та», сер. 5, география, 1960, № 3.
- Столеров Н. Великий друг науки. «Техника молодежи», 1960, № 4.
- Топчиев А. В. Ленин и наука. «Вопросы философии», 1960, № 5.
- Топчиев А. В. Ученые о Ленине. «Наука и жизнь», 1957, № 4.
- Топчиев А. В. Ленин и развитие советской науки. В сб.: «Ленин и наука». М., «Наука», 1960.
- Топчиев А. В. Ленин и советская наука. «Советская книга», 1950, № 4.
- Тымянский Г. С. Ленин и наука. «Природа», 1934, № 1. То же, «За социалистическую науку», 1934, 20 января.
- Федоровский. Ленин и научное исследование в СССР. «Хочу все знать», 1924, № 1.
- Федюкин С. Вдохновитель технического прогресса. «Труд», 1960, 14 апреля.
- Федюкин С. В. И. Ленин и техника. «Народ. хоз-во Казахстана», 1962, № 4.
- Федюкин С. Идеи В. И. Ленина о техническом прогрессе претворяются в жизнь. «Парт. жизнь Казахстана», 1959, № 4.
- Шевяков Л. Д. Исторический документ. Ленин «Набросок плана научно-технических работ». «Вестн. АН СССР», 1949, № 1.
- Шамшур В. И. Ленинская чуткость и внимание. «Радио», 1960, № 4.
- Шамшур В. И. Ленин и развитие радио. М., Связьиздат, 1960.
- Шамшур В. И. Первые годы советской радиотехники и советского радиолюбительства. М.—Л., Госэнергоиздат, 1954.
- Шехтер М. В. И. Ленин о техническом прогрессе. «Коммунист Украины», 1964, № 4.
- Чесноков Д. К новым успехам Советского радио и телевидения. «Советская культура», 1957, 12 сентября.

## ЛЕНИН И ФИЗИКА

- Александров Г. Ф. Развитие В. И. Лениным марксистского учения о законах диалектики, 1960.
- Андреев Н. Н. и др. Физика. В кн. «10 лет сов. науки». М.—Л., 1927.
- Аронов Р. С. Книга профессора Э. Я. Кольмана «Ленин и новейшая физика». В кн.: «Некоторые вопросы философии», Кишинев, 1961, стр. 123—130.

Афанасьев В. Г. В. И. Ленин о неисчерпаемости электрона и понятие элементарности. Научные доклады высш. школы. «Философские науки», 1959, № 2.

Блохинцев Д. И. Книга В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» и современные представления о структуре элементарных частиц. УФН, 1959, т. 69, 3.

Блюмберг В. Я. Некоторые методологические вопросы квантовой механики в свете ленинского философского наследия. В кн.: «По ленинскому пути — к победе коммунизма», материалы научн. сессии, посвящ. 90-летию со дня рождения Ленина. Ярославль, 1960.

Богачева И. Е. В. И. Ленин о неисчерпаемости электрона и современные представления об электроне. Труды Воронежского ун-та, т. 41, 1956.

Будрейко П. Работа В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» и борьба против «физического» идеализма. «Московский пропагандист», 1959, № 5.

Вавилов С. И. Ленин и физика. Сб. статей. М., Изд-во АН СССР, 1960.

Вавилов С. И. Новаторы советской физики. «Вестн. АН СССР», 1942, № 4.

Вавилов С. И. Пятый съезд русских физиков. «Научный работник», 1927, № 2.

Вавилов С. И. Физика в России и в СССР. «Природа», 1932, № 11—12.

Вавилов С. И. Ленин и современная физика. «Под знаменем марксизма», 1944, № 2—3; то же. Вестн. АН СССР, 1944, № 2—3; то же «Электричество», т. 144, № 4, № 5—6.

Вавилов С. И. Ленин и философ. проблемы современной физики. УФН, т. 38, вып. 2, 1949.

Вавилов С. И. Диалектика световых явлений. «Под знаменем марксизма», 1934, № 4.

Вавилов С. И., Максимов А. А., Миткевич В. Ф. «Материализм и эмпириокритицизм» и современная физика (сб. статей). М., Соцэкгиз, 1939.

Вислобовов А. Д., Перфильев В. В. Книга В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» и современная физика. Иркутск, 1960.

Гаврилина И. М. Критика В. И. Ленина «физического» идеализма. В сб.: «О книге В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» (к 50-летию выхода в свет). М., Госполитиздат, 1959.

Глухова А. А., Джигкаев А. М. Значение ленинского анализа революции в физике для борьбы против «физического идеализма и механицизма». М., Изд-во ВПШ и АОН, 1962.

Гольданский В. И., Жданов Г. Б. Образец научного предвидения. «Физика в школе», 1960, № 3.

Готт В. С. Ленин и некоторые философские вопросы современной физики. Автореф. дис. на соиск. докт. филос. наук. Киев, 1961.

Григонис И. К. Ленин и проблема реальности в современной физике. В кн.: «Борьба Ленина за воинствующий материализм и революц. диалектику». М., Изд-во ВПШ, 1960.

Григонис И. К. «Материализм и эмпириокритицизм» Ленина и современная физика. «Коммунист» (Вильнюс), 1959, № 5.

Григорчук Л. В. И. Ленин о причинах, сущности и путях выхода из кризиса физики. Киев, 1962.

Деборин А. М. Ленин и кризис новейшей физики. Речь, прочитанная на торж. годовом собрании АН СССР, изд. 2. Л., Изд-во АН СССР, 1930.

Диренок Е. Д. Книга В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» и некоторые философские проблемы современной физики. В кн.: «Информационный бюллетень по вопросам общественных наук» (материалы первой научной конференции кафедр. ин-та. Белорусск. Ин-т инженеров железнодорож. транспорта), Гомель, 1956.

Драбкина Е. Невозможного нет. Ленин и развитие физики. «Новый мир», 1961, № 12; то же. «Известия», 1961, 22 декабря.

Друянов Л. Диалектический материализм и современная физика. «Коммунист Советской Латвии», 1959, № 4.

Дышлевой П. С. В. И. Ленин и современная физика. «Правда Украины», 1964, 23 мая.

Егоршин В. Ленин и кризис физики XX в. «Революция и культура», 1930, № 19—20.

Ершов А. Д. Борьба В. И. Ленина за материализм и естествознание и достижения советской физики. Тезисы докладов 5-й научной конференции Дальневосточного гос. ун-та. Владивосток, 1960.

Ефименко В. Ф. В. И. Ленин и современное представление о пространстве и времени. Тезисы докладов 5-й научной конференции Дальневост. гос. ун-та. Владивосток, 1960.

Жданов Г. Б. В русле ленинских идей. «Наука и жизнь», 1960, № 4.

Жданов В. А. Философские вопросы квантовой механики в свете работы В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм». Труды Томского ун-та, т. 149, 1960.

Иоффе А. Ф. Развитие атомистич. воззрений в XX в. «Под знаменем марксизма», 1934, № 4 (25-летие выхода в свет книги «Материализм и эмпириокритицизм»).

Иоффе А. Ф. О положении на философском фронте советской физики. «Под знаменем марксизма», 1937, № 11—12.

Ирисов А. С. Ленин и развитие современной физики. В кн.: «Сб. статей Всесоюзного заочного политехнического ин-та», вып. 25. М., 1960, стр. 143—155.

Карасев М., Ноздрев В. О книге М. Э. Омельяновского «В. И. Ленин и физика XX века». «Вопросы философии», 1949, № 1.

Кедров Б. М. Ленинский взгляд на электрон и современная физика. «Большевик», 1948, № 2.

Кедров Б. М. Ленин за материализм в физике. «Огонек», 1949, № 4.

Кедров Б. М. В. И. Ленин о связи современной физики с философией. «Вестн. АН СССР», 1960, № 4.

Кольман Э. Я. Ленин и новейшая физика, изд. 2. М., Госполитиздат, 1961.

Копнин П. В. Философские вопросы физики. Киев, 1964.

Кузнецов И. В. Торжество ленинских идей в современ. физике. «Политическое самообразование», 1961, № 4.

Кузнецов И. В. Философские идеи Ленина и познание природы. УФН, т. 20, вып. 4, 1960, апрель.

Курсанов Г. Ленин и современная физическая картина мира. «Коммунист», 1960, № 6.

Липатов С. М. Энгельс и некоторые вопросы физики и химии, т. II, общественные науки, Минск, 1941.

Львов В. Ленин и физика. «Новый мир», 1934, № 1.

Максимов А. А. Борьба Ленина с «физическим» идеализмом. (В кн.: «Великая сила идей ленинизма»). М., «Мысль», 1950.

Мальцев А. В. Ленин и некоторые вопросы соврем. физики. Омск, 1960.

Мелюхин С. Т. Ленинский принцип неисчерпаемости материи и современ. физики. «Изв. Ленингр. электротехнич. ин-та», 1960.

Мелюхин С. Т. Ленинская критика «физического» идеализма и ее значение для современной науки. «Пропагандист», 1955, № 6.

Миткевич В. Ф. Значение книги Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» в современной борьбе с идеализмом в области физики. «Наука и жизнь», 1939, № 1.

Миткевич В. Ф. Письмо в редакцию журнала «Электричество». (По поводу доклада Вавилова С. И. «Ленин и современная физика». «Электричество», 1944, № 4—6), «Электричество», 1944, № 8—9.

Минаян А. К. Ленинская критика «физического» идеализма; философское обобщение Лениным великих открытий физики конца XIX — начала XX века. Научные труды Ереванск. ун-та, т. 45, серия истор. наук, 1954, вып. 1.

Михайлов Н. Ленин и культура. «Коммунист», 1960, № 6.

Мусатов А. ВУЗ, рожденный Октябрем. «Советское студенчество», 1926, № 8—9 (об ун-те в Ташкенте).

Мостепаненко М. В. Ленин и современная физика. Л., 1958.

Мякишев Г. Я. Ленин и современная физика. «Юный техник», 1960, № 4.

Мясников Л. Н. Лидер современного естествознания (О роли физики в развитии естественных наук). «Наука и жизнь», 1955, № 1.

Наан Г. Книга В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» и современная физика. «Коммунист Эстонии», 1959, № 4.

Ноздрев В. Ф. «Материализм и эмпириокритицизм» В. И. Ленина и современная физика. «Вестн. Моск. ун-та», 1949, № 5.

Омельяновский М. Э. Ленин и физика XX века. «Наука и жизнь», 1956, № 4.

Омельяновский М. Э. В. И. Ленин и борьба против идеализма в совр. физике. Стеногр. лекций. Киев, 1949.

Омельяновский М. Э. В. И. Ленин и философ. вопросы совр. физики. «Вопросы философии», 1958, № 1.

Омельяновский М. Э. Ленин о причинности и квантовая механика. «Вестн. АН СССР», 1958, № 4.

Пахомов Б. Я. Философская категория материи и некоторые вопросы физики. В сб.: «Книга Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» — важнейший этап в развитии марксистской философии». М., Госполитиздат, 1959.

Перфильев В. В. О книге М. Э. Омельяновского «В. И. Ленин и физика XX века» (М., 1947). «Вопросы философии», 1948, № 1(3).

Покотило П. П. Значение книги В. И. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» в современной борьбе с идеализмом в области физики. Архангельск, «Большевистская мысль», 1938, № 12.

Полак Л. Ленин и физика. «Что делать?», 1960, № 12.

Пугачев Е. М. Ленин и некоторые философские вопросы сов. физики. Уч. зап. Белград. пед. ин-та, т. 2, 1959.

Рабинович Ц. М. Развитие некоторых понятий современной физики в свете философских идей Ленина. Уч. зап. (Ульянов. гос. пед. ин-т им. В. И. Ленина), т. 17, вып. 2, 1961.

Растегаев Н. С. Критика Лениным «физического» идеализма и достижение советской физики. В сб. докладов теоретической конференции, посвященной 90-лет. со дня рожд. Ленина. Омск, 1960.

Румер Ю. Б. Единство движения, пространства и времени в свете советской физики. В кн.: «Великое произведение марксистской философии». Новосибирск, 1960.

Свечников Г. Ленинская критика индетерминизма в физике. «Политич. самообразование», 1959, № 4.

Скворцов Л. В. В. И. Ленин о единстве познания и практики. Изд-во МГУ, 1960; Основные положения физики в свете учения Ленина. «Под знаменем марксизма», 1935, № 5—6.

Спасский Б. И. Ленин и физика. «Вестн. Моск. ун-та», сер. математики, мех. астрономии, физ., химии, № 1, № 3, 1959.

Стародумцев С. В. В. И. Ленин и физика микромира. «Изв. АН УзССР», сер. физ.-мат., 1960, № 2.

Степанов Б. И. Ленин и современная физика. Уч. зап. Белорусск. ун-та, вып. 41, 1958.

Страшников В. М. Ленин о свойствах ограждения и некоторые вопросы техн. прогресса. Иркутск, 1959.

Суханов К. Н. Ленинский анализ кризиса в физике и некоторые философские вопросы в математ. Научные доклады высш. школы. «Философские науки», 1962, № 5.

Фурман А. А. Ленинская теория отражения и соврем. физика. Труды Томского ун-та, т. 149, 1960.

Фридман В. Г. Физика и философия. «Природа», 1938, № 2.

Фриш С. Э. Книга Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» и современная физика. «Вестн. Ленинградск. ун-та», 1954, № 2.

Хасхачик Ф. Борьба В. И. Ленина против махизма. «Советская наука», 1939, № 1 (О кн. Ленина «Материализм и эмпириокритицизм»).

Шахпаронов М. И. Диалектический материализм и некоторые проблемы физики и химии. Изд-во Моск. ун-та, 1958.

Шварцман Я. В. Ленинское положение о неисчерпаемости электрона в свете совр. достижений физич. науки. Тр. Томского ун-та, т. 149, 1960.

## СОДЕРЖАНИЕ

П. С. Кудрявцев. О некоторых проблемах истории науки . . . . .	3
Л. В. Заржицкая, Б. И. Спасский. Количественные методы исследования развития отдельных разделов физики . . . . .	10
Ц. С. Сарангов, Б. И. Спасский. О методе аналогий как закономерности развития физической науки . . . . .	15
Б. И. Спасский, З. У. Зубайдуллаев. О понятии структуры в современной физике . . . . .	29
Я. П. Терлецкий. Дополнительность в статистической физике . . . . .	38
С. Ф. Шушурин. Логическая природа понятия информации и смысл его обобщений . . . . .	44
С. Ф. Шушурин. Изучение свойств и явлений как путь познания структуры и процесса . . . . .	55
В. В. Максаков, Ц. С. Сарангов. Метод аналогий в теории субъядерных частиц . . . . .	63
Г. Г. Кордун. Развитие физики на Украине . . . . .	77

### *Персоналии*

М. Н. Свиридонов. Развитие понятия энтропии в работах Т. А. Афанасьевой-Эренфест . . . . .	112
Д. Д. Гуло. Работы Н. А. Умова по земному магнетизму . . . . .	130
Г. М. Тепляков. Николай Петрович Кастерин . . . . .	150
Р. Г. Бадальян. Первые научные исследования И. В. Курчатова . . . . .	164
П. Н. Княжеский. Работы учеников П. Н. Лебедева по исследованию разреженных газов . . . . .	171
А. Ф. Кононков. Владимир Константинович Лебединский . . . . .	175
А. Н. Осиновский, Ф. А. Уваров. Роберт Вуд . . . . .	179

### *Хроника*

Четвертая межвузовская конференция по истории физико-математических наук . . . . .	186
Л. Л. Величко, А. Н. Осиновский. Первая межвузовская украинская конференция по истории физики . . . . .	189

### *Публикации*

Б. Ф. Кононков, <b>А. В. Дикарев</b> . Работы Радиолaborатории 2-й базы радиотелеграфных формирований в Казани . . . . .	196
--	-----

### *Библиография*

Л. В. Заржицкая, А. Ф. Кононков. Ленин о философских вопросах физики . . . . .	243
--	-----



ИСТОРИЯ И МЕТОДОЛОГИЯ  
ЕСТЕСТВЕННЫХ НАУК, ВЫП. X  
Физика

Тематический план 1970 г. № 118

Редактор Ф. И. Горобец  
Технич. ред. Е. Д. Захарова  
Корректоры И. А. Большакова,  
Л. С. Клочкова,  
И. С. Хлыстова

---

Сдано в набор 28/VII 1970 г.  
Подписано к печати 7/V 1971 г.  
Л-115198                      Формат 60×90<sup>1/16</sup>  
  Бумага тип. № 1  
Физ. печ. л. 16,5              Усл. печ. л. 23,10  
Уч.-изд. л. 22,58              Изд. № 1137  
Зак. 796                              Тираж 1100 экз.  
  Цена 2 р. 45 к.

---

Издательство  
Московского университета  
Москва, К-9, ул. Герцена, 5/7.  
Типография Изд-ва МГУ.  
Москва, Ленинские горы