

Редактор Г. Н. Кольченко.

Тираж 4000 экз. Подписано к печати 8/II 1941 г. А 34976. Объем: 27¼ печ. л.
24,86 авт. лист. Тип. зн. в 1 печ. л. 36500.
Цена книги 10 р. 75 к. Переплет 1 р. 75 к. Заказ № 4932.

4-я тип. ОГИЗа РСФСР греста „Полиграфкнига“ им. Евгении Соколовой
Ленинград, Пр. Красных Командиров, 29.

**АЛЕКСАНДР ГРИГОРЬЕВИЧ
СТОЛЕТОВ**

**БИОГРАФИЧЕСКИЙ ОЧЕРК
К. А. ТИМИРЯЗЕВА**

АЛЕКСАНДР ГРИГОРЬЕВИЧ СТОЛЕТОВ

(Родился в 1839 г., умер в 1896 г.)

В ночь с 14 на 15 мая, когда по улицам Москвы шумно расходились веселые толпы народа и один за другим потухали огни иллюминации, в стенах университета угасала жизнь одного из преданнейших и незаменимых его деятелей — профессора А. Г. Столетова.

Вся эта жизнь была бескорыстным служением русской науке и университету — для того, чтобы в результате привести к ряду горьких разочарований. „В сентябре меня уже не будет в университете“ — были последние, как бы прощальные слова, которые я слышал от него за несколько дней до его неожиданной смерти, как громом поразившей не только его друзей, но и всех, кто в состоянии был оценить значение его университетской деятельности. Ни он, ни я не подозревали, конечно, в эту минуту, что не через несколько месяцев, а через несколько дней его уже не будет не только в университете, но и в живых — как будто ему уже не достало сил привести в исполнение свое намерение, как будто ему легче было расстаться с жизнью, чем с этим университетом, на который была растрочена вся его жизненная энергия. . .

Александр Григорьевич Столетов родился во Владимире (на Клязьме) в 1839 году. Происходил он от старинного новгородского купеческого рода, выселенного во Владимир после падения Новгорода. Картину мирной, патриархальной жизни, среди которой протекало его детство, он сам сохранил в детски наивных, безыскусственных дневниках, которые вел с девятилетнего возраста. На каждой странице этих дневников проглядывает глубокая привязанность к семье,

в особенности к матери, которая, повидимому, имела главное влияние на его воспитание, и к родному Владимиру. Эти привязанности А. Г. сохранил на всю жизнь, до последних лет, не упуская почти ни одних вакансий, чтобы не навестить свою престарелую мать (скончавшуюся 82 лет в 1889 году).

Благодаря этим дневникам, является возможность изо дня в день, за целые годы, следить за всеми маленькими событиями (до недоразумений с кошкой включительно) и маленькими радостями в жизни их автора — и за все это время приходится отметить только одну маленькую ссору — со старшим братом, но и здесь, как и во всех житейских столкновениях в зрелом возрасте, право было на его стороне: брат хотел нарушить его авторскую скромность и прочесть вслух тщательно скрываемые им стихи. Один товарищ детства А. Г. мог резюмировать свои воспоминания о нем одной фразой — „это был очаровательный ребенок“. Из того факта, что девятилетний мальчик, для своего личного удовольствия и скрывая от взрослых, писал стихи, а также на основании прекрасного, простого и правильного слога дневников, видно, как рано А. Г. овладел родной речью, о чистоте и красоте которой так заботился всю свою жизнь, испытывая почти нервное раздражение при встрече с небрежным к ней отношением. Читать он научился самоучкой, когда ему еще не было пяти лет. Благодаря заботам старшего своего брата Николая (будущего шипкинского героя Николая Григорьевича) в раннем возрасте он уже свободно владел и французским языком.

Но в чем же заключались первые его радости, что же привлекало внимание ребенка? С первых же страниц они вращаются около книг, особенно иллюстрированных. Не знаю, согласятся ли со мной присяжные педагоги, но, наблюдая за детьми, я всегда приходил к заключению, что отношение к картинкам едва ли не лучшее мерило умственного развития ребенка. Присмотритесь, как он перелистывает страницы какой-нибудь старой иллюстрации, и вы получите гораздо более ясное понятие о том, насколько в нем проснулась собственная мысль, чем выслушивая, как он, с чужого голоса, отбарабанивает басни или рапортует, оставляющий его совершенно безучастным, урок грамматики. Томы *Musée des familles* и в особенности *Живописное Обозрение*, получаемое из библиотеки одного знакомого, —

вот первые радости, первые впечатления, которые ребенок заносит на страницы своего дневника. Даже в последние свои годы А. Г. говаривал в шутку своим родным: „Хоть бы на Сухаревке отыскать эти номера *Живописного Обозрения*, которые доставляли мне такое наслаждение“. Однообразное течение жизни порой нарушалось и более крупными событиями, каковы: приезд в город зверинца или прогулки „за Лыбедью“; обстоятельному описанию того или другого посвящаются целые страницы, в которых сказывается неподдельная любовь к живой природе. Но рядом с этими, более или менее обычными вкусами в ребенке как будто уже проглядывает будущий физик. „Сегодня утром забавлялся, взвешивая у маменьки на весах разные вещи“, читаем мы в одном месте дневника, а в другом упоминается, как с одним товарищем он мастерил какие-то часы из свинца. Только раз, на первых же страницах дневника, девятилетний мальчик заносит, очевидно, поразившее его известие из далекого мира, который, он и не подозревал, на всю жизнь делается его миром, — из мира университетского. „Был сегодня у нас полицеймейстер, — пишет он, — и рассказывал, что в Московском университете 50 студентов разжаловали в солдаты“, — это был грозный сорок восьмой год.

При той подробности, которой отличается дневник, поражает почти полное отсутствие первых школьных, гимназических воспоминаний; все ограничивается упоминанием об экзаменах с неизменным припевом: „получил пять баллов“. Музыкальные успехи сестры Вареньки волновали маленького гимназиста более, чем собственные уроки. Повидимому, он сам начал учиться музыке самоучкой и тайком, пока его не захватил врасплох учитель сестры, похваливший его за сделанные успехи. В позднейшие годы музыка была чуть не единственным развлечением, которое он себе позволял в качестве отдыха от усиленных умственных занятий.

Какое влияние оказала на него гимназия, кто были его учителя, к сожалению, мы почти не знаем. По рассказам его родственников, он уже тогда обнаруживал страсть к физике, воспроизводя перед домашними, какие только мог, физические опыты, виденные в гимназии, при помощи самодельных инструментов. Учителем математики и физики был Бодров, человек, по отзывам знавших его, весьма

талантливый, но наибольшим влиянием пользовался учитель истории и географии А. Н. Шемякин, у которого он нередко бывал, получал от него книги и сохранил о нем самое теплое воспоминание. Но еще более плодотворно повлиял на развитие мальчика учитель местного духовного училища И. Г. Соколов, человек, несомненно, замечательных способностей, как можно заключить на основании следующего обстоятельства. Во Владимире жил врач, который, благодаря многочисленной практике, не успевал следить за своей наукой, и вот этот Соколов, несмотря на свое исключительно семинарское образование, взялся читать за него медицинские книги и сообщать ему новости по его специальности. Соколов, очевидно, привил А. Г. любовь к природе; с ним он делал экскурсии и по его указаниям, еще в гимназии, собрал довольно большой гербарий.

Как бы то ни было, гимназический курс был окончен блистательно, с золотой медалью, но находилось время и для литературных развлечений, о чем свидетельствуют несколько сохранившихся номеров рукописного учено-литературного журнала, в котором А. Г. редактировал и помещал свои произведения в стихах и прозе. В прозе проскальзывает скептический взгляд на медицину и медиков, сложившийся, быть может, под влиянием Соколова, а поэзия касается, между прочим, старого, но вечно юного школьного мотива:

Экзаменов обычный срок
Пройдет и... милосердый боже,
Опять садимся за урок
И целый год долбим все то же.

В Московский университет А. Г. поступил по примеру своего старшего брата. О годах, проведенных в университете (с 1856 по 1860 г.), этой самой важной эпохи в жизни, когда кристаллизуется будущий облик человека и ученого, к сожалению, не имеется у меня никаких письменных сведений; в результате их был кандидатский диплом и, что еще важнее, командировка в 1862 году за границу, где А. Г. пробыл три с половиной года.

Эти годы с их напряженной научной деятельностью, в благотворной атмосфере маленьких университетских горо-

дов, еще не объединенной, но зато и не заразившейся повальным милитаризмом Германии, были, конечно, лучшими и самыми важными годами в его жизни. Всякий, кто испытал на себе влияние этой атмосферы, с ее исключительно умственными, идейными интересами, знает, какую печать она налагает на всю будущую деятельность ученого, надолго снабжая запасом энергии для сопротивления окутывающей тине житейских мелочей и дрязг. О пребывании А. Г. за границей сохранились отрывочные следы в его собственных письмах и рассказах его гейдельбергских товарищей.

Гейдельберг того времени был Меккой, куда стремилась, особенно после временного закрытия Петербургского университета, русская учащаяся молодежь, преимущественно натуралисты. На его Haupt-strasse тогда еще с гордостью показывали узенькое двухэтажное здание с фасадом в каких-нибудь двадцать окон, величая его Natur-palast. В то время еще далеко было до тех действительных дворцов, в которых расположилась наука нашего времени, но зато под одною крышей этого убогого дворца помещались Кирхгоф и Гельмгольц. Из многочисленных русских, поселившихся тогда в Гейдельберге, выделился, между прочим, кружок молодых ученых, посещавших лекции Кирхгофа по математической физике. „Хотя большинство из нас, — рассказывал мне один из участников этого кружка, В. Ф. Лугинин, — было старше Столетова и многие обладали очень основательным математическим образованием, но с первых же разов, как мы стали собираться для составления лекций, он резко выдвинулся вперед; то, чего мы добились с трудом, ему давалось шутя, и вскоре он сделался уже не простым сотрудником, а руководителем наших занятий“. Могу с своей стороны прибавить, что когда через несколько уже лет я в свою очередь провел в Гейдельберге несколько семестров, посещая, между прочим, и практические занятия у Кирхгофа, мне доводилось слышать еще свежее предание об одном молодом русском, с виду почти мальчике, изумлявшем всех своими блестящими способностями.

Сохранилось письмо Кирхгофа, в котором он называет Столетова самым талантливым из своих учеников. До какой степени был он расположен к А. Г., доказывает тот факт, что впоследствии он сообщал ему рукописи своих

неизданных трудов. Кроме Гейдельберга, А. Г. провел несколько времени в Геттингене, где занимался у В. Вебера. Но напряженный труд и поразительные успехи в избранной специальности не мешали ему выносить из своего пребывания на чужбине и другие, более общие впечатления. Европа с первых же шагов — в Берлине — приковывает его внимание широким разливом общего развития и просвещения в таких слоях народа, которые дома представляли картину темного невежества и чуть не поголовной безграмотности. Контраст чужого со своим, родным, поразивший впечатлительного юношу, заставляет его с тем большим жаром относиться к благим вестям, доходившим с родины, как, например, к слуху о скором введении суда присяжных. В этих строках его письма как будто слышится отголосок гейдельбергского студента того времени, когда русская молодежь без различия специальностей и факультетов толпилась в аудитории Миттермайера, где маститый юрист в увлекательном изложении знакомил с историей и практикой этого института, везде являвшегося как бы символом общественного возрождения, и приветствовал его скорое появление в молодой, многомиллионной стране. Любовь к природе, уже в родном Владимире находившая себе пищу в прогулках „за Лыбедью“, нашла себе более обильную пищу в мягких красотах окрестностей Гейдельберга и очаровательных картинах Женевского озера, описаниями которых наполнены некоторые из его писем домой.

Возвратившись в Москву, А. Г. с 1866 г. приступил к преподаванию математической физики и физической географии. В 1869 г. он защитил диссертацию *Общая задача электростатики и ее приведение к простейшему случаю*, получил степень магистра и утвержден доцентом. Через три года он защитил докторскую диссертацию *Исследование о функции намагничивания мягкого железа*; в том же году избран экстраординарным, а через год, в 1873, ординарным профессором.

Экспериментальная часть докторской диссертации была выполнена в Гейдельберге, во время полугодичной командировки в 1871 г., — обстоятельство, доказывающее, как всесторонне обсуждена была тема и как подробно обработан план исследования, если его возможно было осуществить в такой краткий срок. Но эта необходимость уезжать из

своего университета для того, чтобы работать, конечно, заронила мысль создать в Москве то, за чем приходилось ездить так далеко. Должно заметить, что если рабочие химические лаборатории, благодаря красноречивой пропаганде Либиха, уже с сороковых годов начали составлять необходимые условия преподавания химии, то рабочие физические лаборатории были еще недавним нововведением и в Германии, и во Франции. Хотя забота об устройстве физической лаборатории не входила собственно в круг его обязательных занятий, как преподавателя математической физики, А. Г. тем не менее со свойственной ему энергией и организаторским талантом, в жалком помещении, на нищенские средства создает физическую лабораторию, сделавшуюся центром целой школы русских физиков, занявших кафедры в университетах и других высших учебных заведениях. Имена Шиллера, Соколова, Колли, Зилова, Щегляева, Гольдгаммера, Михельсона известны ученому миру, к ним можно было бы присоединить еще не одно имя более молодых ученых, которые не замедлят последовать по стопам своих старших товарищей. Доставив своим ученикам, во время прохождения университетского курса и по окончании его, все, что только можно было доставить при скудности находившихся в его распоряжении средств, А. Г. в то же время не принадлежал к числу тех ученых, которые, руководясь узким, по большей части ничем не оправдываемым самолюбием и ложно понимаемой национальной гордостью, считают излишним, чтобы молодые люди после проделанной дома школы стремились для окончания своего образования в лаборатории Запада. Напротив того, он употреблял все старания, преодолевал нередко значительные препятствия для того, чтобы доставить своим ученикам этот случай воспользоваться общением с великими учеными Запада и более или менее продолжительным пребыванием в той атмосфере уважения к науке и ее представителям, которая невольно охватывает в западных лабораториях и аудиториях.

С другой стороны, он никогда не был сторонником того узкого взгляда — своего рода учения Монро: „Московский университет для своих питомцев“, — и гостеприимно открывал двери своей лаборатории тем молодым ученым, которые, проделав эту школу западных лабораторий, являлись на родину с готовыми знаниями и желанием посвятить

себя науке. Хотя ему приходилось иногда и разочаровываться, но зато он находил и высокое нравственное удовлетворение, привлекая в Московский университет молодые научные силы, подобные П. Н. Лебедеву. Заботам А. Г. Московский университет обязан и тем, что мог воспользоваться глубокими знаниями В. Ф. Лугинина, переселившегося в Москву с своей замечательной лабораторией.

Только через десять лет, т. е. с 1883 года, А. Г. переходит на освободившуюся кафедру экспериментальной физики и получает возможность поставить уже не только лабораторные занятия, но и все преподавание физики на ту высоту, на какой оно стоит в европейских университетах. Здесь, быть может, еще более, чем в создании лаборатории, доказал он свою удивительную организаторскую способность, свое умение, не затрачивая сотен тысяч, а на самые скромные средства достигать замечательных результатов. Только тот, кто припомнит старую физическую аудиторию с ее почти беспросветным мраком, вытянутую в длину, со скрипучим, уходящим в пыльную высь помостом для слушателей, только тот, кто припомнит это помещение, пригодное для чего бы то ни было, только не для чтения экспериментальных курсов, может оценить вполне все достоинства прекрасной, одной из лучших в Европе, физических аудиторий, которой обладает теперь Московский университет благодаря энергии и таланту А. Г. И не забудем, что это не было новое здание, где строителю оставалось бы только справляться с современными требованиями преподавания, — приходилось считаться с условиями старого, неуклюжего здания, втискивая в него новую часть, удовлетворявшую совершенно новым потребностям. Соответственно с помещением, и экспериментальная часть была сразу поставлена на высоту, не уступавшую лучшим западным образцам. Не только учащиеся в университете, но вся образованная московская публика могла не раз в стенах этой аудитории знакомиться с великими научными открытиями через несколько месяцев, через несколько недель, после их появления, и в такой обстановке, какой могли бы позавидовать Берлин, Париж или Лондон. Опыты Герца и Тесла, фонограф Эдиссона и спектры Роланда, цветная фотография Липмана и радиография Рентгена, со всеми этими открытиями могли своевременно ознакомиться университет и

Москва, не затрачивая на то миллионы, благодаря энергии А. Г., не жалевшего ни времени, ни трудов, ни хлопот. Это было красноречиво засвидетельствовано во время IX съезда естествоиспытателей, когда профессор Боргман благодарил А. Г. от лица членов съезда „за беспримерно блистательную организацию заседаний“.

Но университетом не ограничивалась деятельность А. Г. Выбранный в 1881 г. председателем отделения физических наук в обществе Любителей естествознания, он с первых же своих шагов не только вдохнул новую жизнь в это отделение, но, можно сказать, что его появление было сигналом к оживлению деятельности общества и в новых, до тех пор не проявлявшихся, направлениях*. Физическое общество сделалось сборным местом для всего молодого, живого, интересующегося успехами точного естествознания в области механики и математики, физики и астрономии, химии и физиологии. Собирались сюда для обмена мыслей, для сообщения о своих текущих трудах или для доклада о новых крупных приобретениях науки; собирались и для того, чтобы доставлять московскому обществу возможность знакомиться в общедоступном изложении с теми завоеваниями человеческой мысли, которые привлекали в данный момент внимание ученых, так как и в этом отношении А. Г. разделял с самыми выдающимися научными деятелями Запада мнение, что наука путем серьезной популяризации должна идти навстречу обществу, приобщая его к своим интересам, — мнение, которое в то время далеко нельзя было считать укоренившимся, — еще очень распространено было воззрение, что наука и ученые только выигрывали, скрываясь в глубине своих святилищ. В течение почти десяти лет (до 1889 г.) А. Г. оставался душой физического общества, обнаруживая во всем, до чего касался, неутомимую деятельность, обо всем заботясь, все налаживая, ободряя одних, понукая других и всех заражая своей неутомимой энергией и желанием, чтобы физическое общество оставалось верным своей основной идее: с одной стороны, служить центром для обмена мыслей между представителями науки, а с другой

* А. Г. был некоторое время и членом общества Испытателей природы. Причины, побудившие его и нескольких других членов покинуть общество, были мною в свое время разъяснены в статье *Вынужденное объяснение*, помещенной в *Русских ведомостях*.

стороны, — источником, из которого и все московское образованное общество могло черпать строго научные знания в доступной ему форме.

Посвящая, таким образом, все свои силы научным трудам и организации преподавания, заботясь о том, чтобы под его руководством молодые физики могли испытывать свои силы на самостоятельных исследованиях, — за чем прежде приходилось ездить на чужбину, — уделяя, наконец, остальное время более широкому распространению знаний в обществе, А. Г. искал отдыха исключительно в почти ежегодных летних поездках за границу, где поддерживал сношения с великими учеными века и выдающимися деятелями в области физики — Кирхгофом, Гельмгольцом, Томсоном, Максвеллом, Кундтом, Липманом, Больцманом и др. Уважение, которым он пользовался в среде своих западных товарищей, обнаруживалось при его появлении на съездах и конгрессах, как, например, в избрании его вице-президентом международного конгресса электриков во время всемирной выставки в Париже в 1889 г. На всех торжественных заседаниях и приеме у Карно в Фонтенбло А. Г. можно было видеть рядом с В. Томсоном (лордом Кельвином), президентом конгресса. Напомним, что в 1889 г. почет, оказываемый русскому, еще не имел под собой дипломатической почвы, а относился непосредственно к лицу, да к тому же и съезд был международный.

В 1893 г., когда в Императорской академии наук открылась вакансия по физике, А. Г. был извещен, что комиссией, которой поручено было рассматривать права кандидатов, он был признан единогласно и единственным кандидатом. При таких условиях избрание его представлялось настолько очевидным, что он получил даже приглашение осмотреть академическую лабораторию и высказать свои соображения относительно ее изменений и улучшений. Но через несколько месяцев кандидатура его была устранена, а избранным оказался князь Б. Голицын, магистерскую диссертацию которого незадолго перед тем А. Г. признал неудовлетворительной*. Никогда не забуду выражения лица покойного, когда он молча подал мне письмо из Петербурга, извещавшее о таком исходе его кандидатуры, а после того как я озна-

* Этот отзыв, как и все обстоятельства, его сопровождавшие, изложены в *Ученых записках Московского университета* за 1893 г

комился с его содержанием, только произнес: „не правда ли, что-то сказочное, что-то фантастическое“. Конечно, придет время, — ведь на страницах *Архива* или *Старины* история наступает очень быстро, — когда мы узнаем подробности этого неожиданного исхода кандидатуры, которая, отметим это, была ему предложена без всякого с его стороны искания. Одно только очевидно и в настоящую минуту, что причина такого неожиданного исхода лежала не в научных достоинствах кандидата. Научные достоинства не падают и не возвышаются с головокружительной стремительностью биржевых курсов. Незадолго перед тем в Москве разыгралась одна из так называемых „студенческих историй“ и был распушен слух, что подстрекателем в этой истории был Александр Григорьевич Столетов. Чудовищность этой клеветы была очевидна всякому, кто знал Столетова и его отношение к студентам, но золотое правило житейских мудрецов: *Calomniez, calomniez, il en reste toujours* — и на этот раз увенчалось успехом.

Во время Московского съезда естествоиспытателей, в январе 1894 г., А. Г. проявил особую энергию и показал, чего может достигнуть, даже при самых неблагоприятных условиях, талантливая, упорно преданная делу науки деятельность одного человека. Я упомянул выше, как отнеслись к ней члены физической секции. Всем, конечно, памятна та овация, которая была сделана А. Г. на последнем общем заседании съезда: громадная зала благородного собрания в течение нескольких минут дрожала от аплодисментов двух тысяч русских ученых, руководившихся единодушным желанием выразить чувства благодарного уважения неутомимому ученому за все, что им было сделано для русской науки, для русского просвещения. Это была чуть ли не последняя светлая минута в его жизни. Какая-то печать гнетущего, глубоко затаенного нравственного страдания легла на все последние годы его жизни, как будто перед ним вечно стоял вопрос: почему же это везде, на чужбине и в среде посторонних русских ученых, встречал он уважение и горячее признание своих заслуг и только там, где, казалось, имел право на признательность, там, где плоды его деятельности были у всех на виду, ему приходилось сталкиваться с неблагодарностью, мелкими уколами самолюбия, оскорблениями. Но он еще крепился, пытаясь стать выше „позора мелочных обид“, и это ему удавалось, пока

не изменили физические силы, но когда, едва оправившись от тяжелой болезни (рожистого воспаления), он снова столкнулся с теми же житейскими дрязгами, прежней выносливости уже не оказалося. „Бывали у меня неприятности и похуже, — говорил он в последние дни окружающим, — да и силы были не те“, и это сознание выразилось в решимости подать в отставку, уйти, наконец, из той среды, которая омрачила последние годы его жизни, — решимости, бесповоротно высказанной при той встрече со мной, которой суждено было оказаться последней. Но было уже поздно — смерть сторожила его.

Умер А. Г. от инфлуэнцы, которой не выдержал организм, подорванный недавней болезнью, угнетенный нравственным страданием, истощенный непосильным утомлением от государственных экзаменов, к которым он и в последний раз в своей жизни отнесся с обычной добросовестностью. По настоятельному требованию врачей, он собирался ехать в Крым. Укладывая уже свой чемодан, в день, назначенный для отъезда, почувствовал он первый приступ болезни, которая развилась с поразительной быстротой, усложнившись воспалением легких и упадком деятельности сердца. В час пополудни 15 мая его не стало.

Отпевание тела происходило 18 мая в университетской церкви, откуда несколько друзей и немногочисленные студенты, которые могли собраться в это время года, проводили гроб до станции Нижегородской железной дороги — по желанию родственников, тело было предано земле на родине покойного, во Владимире. Молча проводили его на вечный покой университет и Москва; не нашлось ни одного слова признательности или сожаления над гробом человека, потратившего на них столько сил, столько таланта. Впрочем, нет, мне привелось услышать несколько бесхитростных слов благодарности, стоящих длинных холодных панегириков. „Даже в гробу покойник порадел за нас, — невольно сорвалось у одного из университетских сторожей, — не соберись мы его хоронить, сколько из нас, может,

Не сложились в последние годы все обстоятельства таким роковым образом, наука и русское просвещение, быть может, еще надолго сохранили бы этого неопределенного деятеля, так как все его предки отличались, по словам его родственников, замечательной долговечностью, чем и объясняется происхождение самого прозвища — Столетовы.

лежало бы теперь на Ходынке". Похороны совпали с ужасной катастрофой. Не угадывал произносивший эти слова, сколько было в них горечи; не подозревал он, как отозвались на собственной жизни Александра Григорьевича его заботы о слабых и обездоленных

The rest is silence...

Такова несложная внешняя рамка этой жизни, полной талантливого неутомимого труда на пользу науки и просвещения: жизнь ученого всегда немногосложна в своих внешних событиях; все богатство ее содержания заключается почти исключительно в умственной деятельности, не выходящей за пределы кабинета, аудитории или лаборатории. Попытаюсь заполнить эту рамку чертами, дорогами для всякого, кто знал и был способен оценить этого замечательного научного деятеля, эгого идеально благородного человека. Люди более компетентные выскажут о нем мнение, как о специалисте, я попытаюсь охарактеризовать его как натуралиста-мыслителя вообще и как человека, каким я его знал в течение двадцатипятилетней дружбы, неизменно соединявшей нас, for better and for worse.

Он был физик, т е представитель самой совершенной области естествознания, — я готов сказать знания вообще, — так как ни одна область человеческого знания, конечно, не открывает такого простора для применения всех познающих способностей человеческого ума, начиная со свободного полета творческой фантазии, проходя через горнило опытной индукции и завершаясь строгой дедукцией математического анализа. Недаром же на языке соотечественников Ньютона, и по его примеру, даже не существовало и слова физика, а только Natural Philosophy, т. е. философия природы. И притом, как тот гениальный ученый, величавый образ которого он не раз с таким талантом воссоздавал, — он был физик по призванию, по всему складу своего ума, а не в силу служебных случайностей, его не удовлетворяли одни отвлеченные области мысли, его влекла к себе и „радовала“, выражаясь словами Гельмгольца, „только полная действительность“ физики. Вынужденный в течение долгих

лет сосредоточивать свою педагогическую деятельность на математической физике, он тяготится этой односторонностью и, создав рабочую лабораторию, открывает себе и другим доступ в область той опытной науки, которая одна может воплотить в осязаемую форму гипотетические создания научной фантазии, доставить прочные посылки или конечную санкцию дедукции математика. В первом же из своих литературных опытов, посвященном памяти учителя (Кирхгофа), рисует нам А. Г. этот идеальный тип современного физика, равно избегающего исключительного эмпиризма экспериментатора и оторванной от почвы опыта теории математика, но стремящегося к гармоническому слиянию этих двух равно могучих путей исследования. Но много ли найдется физиков, которые в действительности осуществляют этот идеал? Одним из этих немногих, несомненно, был Столетов. Живое помню, как, возвращаясь из этой самой залы с Ф. А. Бредихиным, после одного из блестящих общих заседаний физического отделения, я восхищался изяществом экспериментальной обстановки и изложением реферата А. Г. На что Ф. А. мне ответил: „Заметьте, что вы можете судить только о половине его достоинств. Если бы вы могли только оценить, какой это математик. Да, А. Г. это гордость нашего университета“. Владея в совершенстве этим орудием исследования, он глубоко возмущался, когда им злоупотребляли, пользуясь только для проявления технической виртуозности.

Собственные исследования А. Г. относились к обширной области электричества, и за целой категорией явлений сохранилось данное им название *актино-электрических*. Но и в других областях он известен как автор критических трудов, а этого рода научная деятельность, при современном быстром развитии науки и поспешности, с которой строятся иные теории, едва ли менее существенна для успехов точного знания, едва ли менее плодотворна, чем добывание новых фактов. Нельзя не пожалеть, что он не успел закончить задуманного им критического этюда об энергетике Оствальда, которого он укорял в поспешности и незрелости мысли и в отступлении от основной задачи физики и всего естествознания, — сведение явлений природы к простым законам механики. Как относились к его научной деятельности на Западе, мы уже видели из отношения к нему Кирхгофа. При открытии заседаний последнего съезда бри-

танской ассоциации, Томсон (J. J.), остановившись на двух утратах, которые понесла наука в лице Грова и Столетова, прибавил, что хотя имя последнего всем хорошо знакомо, но все же его работы еще не оценены так, как они того заслуживают. Но и помимо тех областей, в которых он сам работал или выступал как опытный, проницательный критик, сколько было отделов физики, которые он изучал с особой любовью. Укажем хотя бы на учение о звуке, привлекавшее его не только как физика, но и как музыканта и как мыслителя своими завоеваниями в пограничной области физических явлений и чувственных восприятий. И наконец, едва ли была такая область физики, которой он владел бы только в размерах, строго необходимых для университетского преподавания. Переходим к этой стороне деятельности А. Г., где он является уже не двигателем науки, а ее насадителем в России. Здесь прежде всего выступает вперед уже отмеченный нами неопровержимый факт, что он был центром школы и что его ученики занимают целый ряд университетских и иных кафедр. Он поставил сначала математическую, а затем экспериментальную физику на высоту, соответствующую их современному развитию. В последние годы он мне не раз говаривал: „А ведь пора бы, наконец, собраться написать учебник“, указывая при этом, что в противность доброму старому обычаю, когда составление учебника являлось результатом долгой преподавательской опытности, теперь оно нередко является делом чуть не дебютанта.

Началом осуществления этой мысли было прекрасное *Введение в акустику и оптику*, появившееся в 1893 г., а в 1895 г. вторым изданием. Но и ранее А. Г. постоянно заботился о снабжении своих слушателей пособиями по таким отделам науки, по которым их не имелось на русском языке, таковы снабженные его примечаниями и им отредактированные *Основы учения об электричестве* Жубера, выдержавшие также два издания. Даже по отношению к такому предмету, как физическая география, чтением которого он, очевидно, тяготился, он озаботился посмертным изданием *Лекций физической географии* Зворыкина. Книга эта вскоре сделалась библиографической редкостью. Все достоинства ее А. Г. бескорыстно приписывал умершему молодому автору, а между тем, по словам слушателей того времени, оказывается, что книга была обязана

своим происхождением главным образом лекциям самого Столетова. Но нигде талант изложения не обнаруживался в такой степени, как в его публичных лекциях и речах, представляющих образцы блестящего, изящного изложения самых сложных, трудно доступных пониманию публики, новейших завоеваний науки, или яркие, глубоко продуманные картины знаменательных моментов ее истории. Все, кому дорога память А. Г. и кто сохранил еще живое воспоминание о высоком наслаждении, вынесенном из этих лекций, получат возможность восстановить до некоторой степени в своей памяти эти впечатления, благодаря редакции *Русской Мысли*, предпринявшей издание *Сборника речей и публичных лекций* Александра Григорьевича. Конечно, на страницах немой книги трудно уловить то умение заставлять говорить за себя самые факты, то стройное слияние между словом и дополняющим его опытом, в котором выражалось особенное искусство лектора*. Но зато со страниц этой книги он выступает таким, каков он был, ученым-мыслителем, приглашающим читателя проникнуть с ним в глубину научной мысли, ученым-художником, развертывающим перед ним всю ее поэтическую ширь. Найдется немного книг, которые в таком малом объеме охватывали бы такой широкий кругозор идей. Солнце и атом; осязательная материя и незримый, но еще очевиднее заявляющий о своем существовании эфир; видимая звуковая волна и законы вызываемых ею ощущений, или таинственная, всеохватывающая электрическая волна, включающая, как частный случай, и волны света, — словом, все очередные вопросы науки, все ее новейшие завоевания встают здесь перед читателем. А чередуясь с ними, проходят художественно очерченные образы гигантов научной мысли: вот — Винчи, этот провидец, предвосхитивший открытия будущих веков, ослепительный метеор, блеснувший на едва занимавшейся заре естествознания, человек-миф, если б он не был исторической действительностью; вот — Ньютон, вечный, недостижимый идеал, явившийся словно затем, чтобы показать людям, чего может достигнуть чело-

* В этом отношении очень жаль, что не осталось письменных следов последней его *экспериментальной* публичной лекции *О цветной фотографии*, где замечательным подбором опытов он в течение какого-нибудь часа сумел осязательным образом объяснить самым неподготовленным слушателям трудно понимаемую сущность этого явления.

веческая мысль; вот — Кирхгоф, один из тех могучих умов, которые создали науку девятнадцатого века; вот, наконец, Гельмгольц, универсальный гений, вместивший почти все точное знание этого века науки, обнявший все явления природы в могучем синтезе своего закона. Я полагаю, что не ошибусь, сказав, что найдется немного книг, из которых образованный читатель мог бы в такой доступной, глубоко продуманной и в то же время художественной форме узнать, что такое наука, что такое великий ученый.

При оценке этих произведений, эпитет художественное невольно напрашивается рядом с эпитетом глубокое, и в этом выразилась богато одаренная природа А. Г., чуткая не только к красотам науки, постигаемым только путем глубокого изучения, но и к непосредственно воспринимаемым эстетическим впечатлениям, доставляются ли они красотой природы, музыкой или поэзией. Владея в совершенстве тремя европейскими языками, коротко знакомый с их изящной литературой, он всегда имел в своем распоряжении удачный образ, удачное сравнение, особенно охотно прибегая к своим любимым поэтам, творцам „Манфреда“ и „Фауста“. Что же касается до отечественной литературы, то он, очевидно, был с нею основательно знаком с самого детства, судя по тому, как в своих школьных попытках он свободно подыскивал вполне подходящие эпитафии, украшавшие каждую главу его литературных произведений. Это раннее знакомство с писателями родной земли отразилось и на изяществе и безукоризненной чистоте его литературной речи, полной меткими, удачными, словно выточенными определениями или характеристиками, которые хочется заучить, — словом тем, что французы называют *des phrases à retenir*.

Глубоко дороживший родной речью, привязанный к своей родине — Владимиру, он был прежде всего европеец. Как Лир был *every inch a king*, так Столетов с головы до пяток был европеец. Даже в его внешности, в его обращении было что-то сдержанное, как будто, напоминавшее холодный тип несколько чопорного англичанина. Не было в нем ни следа той внешней распушенности, в которой нередко думают видеть проявление широкой русской природы, души на распашку. Его просто коробило от той напускной простоты или искусственной патриархальной фамильярности в обраще-

нии, например, с учащимися, выражавшейся, между прочим, в пересыпании речи нелитературными словцами, примеры чего в его молодости, да и позже, можно было еще встретить в профессорской среде. Эта несколько сдержанная, строгая внешность была не случайной, в ней отражался нравственный склад человека.

С той поры, как в лице великого Бэкона озадаченное человечество увидало, по словам поэта, *The wisest, greatest, meanest of mankind**, — с той поры, а может быть и гораздо ранее, перед человеческой совестью не раз восставал вопрос: неужели умственное развитие не всегда идет рука об руку с развитием нравственным, неужели наука, знание не всегда облагораживают человека? И, к сожалению, ответ нередко получался отрицательный. Высокий умственный уровень нередко уживался с полной нравственной дрянностью. Бывали даже эпохи в истории, когда такое настроение делалось словно повальным. вспомним начальные годы первой империи, когда, казалось, в среде французской науки, французской литературы, предложение раблепия даже превышало спрос на него. Конечно, еще чаще умственная несостоятельность вступала в союз с несостоятельностью нравственной. Но зато история науки, по счастью, полна примерами обратного, когда умственное превосходство гармонически сливалось и с превосходством нравственным, и такие примеры, в малом или великом, люди запоминают с благодарностью, потому что без них можно было бы, наконец, усомниться в самом смысле жизни.

Такой пример в своей скромной сфере являл Александр Григорьевич Столетов. Мы могли бы очертить его нравственный облик двумя словами. Это был человек долга, — или, применяя к нему его собственные слова, которыми он очертил характер своего любимого учителя „сильная воля, чувство долга, высокое, чуждое высокомерия, самолюбие“, т. е. то самолюбие, которое выражается в требовательности по отношению к своим собственным действиям, то самолюбие, которое от самого себя требует большего, чем от других, — таков был Александр Григорье-

Мудрейшего, величайшего, подлейшего из людей — слова
Попа

вич. Раз начертав себе нравственный идеал, он не отступал от него ни в малом, ни в большом. Никогда у него дело не расходилось со словом, и, в сфере принятых на себя обязанностей, для него не существовало мелочей. Особенно чуток он был к своим обязанностям по отношению к слушателям, университетским или публике: здесь уважение к науке и к аудитории сливалось в одно общее чувство. Очень редкое равнодушие, выражающееся словами „сойдет и так“, было для него немыслимо. Никогда не забуду, как в этих самых стенах он распекал меня, как школьника, за один неудающийся в моем сообщении опыт. Тщетно представлял я себе в оправдание, что неудача произошла от того, что во время перерыва заседания сдвинут был прибор, а я это заметил, когда было уже поздно. Он только строго повторял: „Перед публикой не может быть удач или неудач. Понимаете — не может быть“. И, конечно, был прав, в его словаре этих слов не существовало.

Таким же он был и в вопросах нравственных признаний что-либо справедливым или натолкнувшись на несправедливость, он шел напрямик для достижения первого, для устранения второй. Не выискивая борьбы, он никогда не уклонялся от нее ради эгоистического желания спокойствия, достижения житейских благ или сохранения так называемого „мира и согласия“. *Fais ce que dois, advienne que pourra* — было его неизменным правилом. В этом потомке старых новгородцев было что-то гордое, непреклонное — полное отсутствие той податливости, той, так сказать, пластичности, готовой ко всему приспособляться, в которой некоторые готовы видеть национальную черту, но которая на деле, вероятно, только тяжелый след влияния наших учителей византийцев, наших властителей татар. Сам непреклонный в своих нравственных принципах, он и в других людях прежде всего, выше всего ценил нравственную устойчивость. Ни уважение к уму и заслугам, ни годы дружбы, никакие другие соображения не могли его вынудить отнестись уступчиво к человеку, по его мнению, уклонившемуся от требований нравственного долга. Такой человек, такие люди для него просто переставали существовать, хотя бы ради этого ему приходилось оказываться изолированным, восставлять против себя сильное большинство. В таких случаях он мог смело применять к себе слова Виллора Гюго „когда я бывал с большинством, меня это радовало, когда я оста-

вался в меньшинстве, я этим гордился^{*}, — потому что руководился он в своих поступках исключительно своим понятием о нравственном долге. Никто ревнивее его не отстаивал своих прав, личных и коллегиальных. Но зато ничто не оскорбляло его так, как смешение понятия о праве с безнаказанностью, он считал, что право там, где правда, а возможность безнаказанно совершить поступок еще не дает права на его совершение. Во всей своей общественной деятельности он всегда стоял за строгое исполнение закона. Таких людей обыкновенно называют бестактными, беспокорными.

Неукоснительно строгий по отношению к самому себе, он не только по праву, но просто, безотчетно был требователен по отношению к другим, да и, помимо всякой требовательности, одного его присутствия было достаточно для того, чтобы почувствовать потребность и самому как-то подтянуться; сравнение с ним выступало невольным укором.

Здесь необходимо коснуться вопроса, каковы были его отношения к учащейся молодежи. Пользовался ли он ее симпатиями? Ответить на этот вопрос невозможно, не вникнув глубже в дело. Не подлежит сомнению, что слава строгого, чуть не до жестокости строгого экзаменатора создалась у него в первые годы его преподавания на медицинском факультете и что причина этого явления лежит гораздо глубже, чем обыкновенно полагают, являясь результатом того архаического состояния, в котором находится преподавание естествознания на медицинских факультетах. Этот пережиток глубокой старины возбуждает и на Западе мысли о настоятельной необходимости реформы¹. Студент-медик первых курсов должен проглотить без малого все естествознание плюс еще известное число своих собственных специальных предметов. И учащие, и учащиеся давно сознавали невозможность этого положения, и вот с давних пор устанавливается какое-то немое соглашение, что это учение не настоящее, а так, для вида, для формы. Очень хорошо припоминаю слова одного зоолога «Да я ведь как их экзаменую? — спросишь шпанская муха — муха? Если скажет „да“ — ну,

^{*} Так, например, Гёксли в речи на одном медицинском конгрессе указывал, что полезно было бы освободить медиков от описательного естествознания (минералогии, ботаники, зоологии) с тем, чтобы усилить преподавание физиологии, химии и физики

значит, тройка, а скажет „нет“ — четверка». Сохранилось предание и о таком приеме экзаминатор прежде всего спрашивает экзаменуемого „с боем или без боя?“ „Без боя“ означало тройку без экзамена, а „с боем“ значило, что экзаменующийся желал подвергать себя всем случайностям экзамена. Понятно, что не только подобное, но и сколько-нибудь не серьезное отношение к экзамену, такое непедagogическое воздействие учащихся на учащихся при первых их шагах в университете, для Александра Григорьевича было немислимо. Положение еще ухудшалось недосгачной подготовкой, которую давала гимназия, на что А. Г. не упускал случая обращать внимание. Исход был роковым образом неизбежен студенческая голова не могла вместить всего требуемого программами, а Александр Григорьевич не мог понизить уровень своих требований ниже известного *minimum*'а и превращать экзамен в пародию. А что этот *minimum* не мог быть высок, я могу судить по сравнению с экзаменами на физико-математическом факультете, где мне не раз приходилось присутствовать и где требования были, конечно, гораздо строже. Во всяком случае, в своей оценке он никогда не был неровен, не руководился впечатлениями минуты. Как бы то ни было, он сам тяготился своим положением и при первой явившейся возможности отстранился от этого преподавания. Иногда спрашивают, зачем же не ушел он ранее с медицинского факультета? Признаюсь, я сам никогда не задавал ему этого вопроса, но полагаю, что в числе возможных соображений могло быть и убеждение, что он приносил пользу и что, наоборот, если бы он „без бою“ выпускал целые поколения медиков без знания физики, а следовательно, и без возможности знать физиологию, то едва ли бы мог сказать о себе *qu'il a mérité de la patrie* *. Таким же являлся он и при оценке диссертаций его суждения о представляемых на его рассмотрение ученых трудах не были результатом беглого, поверхностного знакомства, а плодом самого добросовестного, продолжительного и серьезного изучения и строгой, но всегда

* Не могу не отметить странной особенности случалось мне бывать на Западе и в среде учащихся, и в среде учащихся, и ни разу я не слышал, чтобы при оценке профессором шла речь об экзаминаторе. Напротив, существуют целые школы, славящиеся строгостью своих экзаменов, такова, например, знаменитая *École polytechnique*, и это только составляет предмет гордости ее воспитанников



Сидят слева направо профессор астрономии В. К. Цераский, ассистент физической лаборатории Столетова Е. И. Брюсов, профессор физики А. П. Соколов, А. Г. Столетов, профессор химии В. В. Марковников, профессор физики в Киеве, ученик А. Г. Столетова, Н. Н. Шиллер, профессор механики Н. Е. Жуковский, профессор ботаники К. А. Тимирязев, приват-доцент по физике П. В. Преображенский. Стоят слева направо: П. Н. Лебедев, Б. Б. Голицын, ассистент А. Г. Столетова И. Ф. Усасин.

(Группа снята 6 января 1892 г. на квартире А. Г. Столетова)

объективной, беспристрастной научной критики. И в том и в другом случае он руководился только сознанием своего долга — поддерживать уровень науки на должной высоте.

Но все же попытаюсь ответить на прямо поставленный вопрос каковы были отношения к нему учащейся молодежи, был ли он популярен? Если называть популярностью отношение учащихся к благодушно снисходительному экзаменатору, отношение слишком сбивающееся на куплю-продажу, где меновым знаком являются баллы, — отношение, в сущности, основывающееся на *взаимном презрении*, — то о такой популярности, конечно, не могло быть и речи. Но существует популярность и совсем иного рода — популярность, неразрывно связанная с содержанием преподаваемого предмета, популярность, доставляемая возможностью, налагаемая обязанностью откровенно, смело высказывать свои убеждения по самым животрепещущим вопросам, касающимся общественных идеалов, их проявления в истории, их проведения в жизнь, — но для такой популярности нет ни повода, ни места в аудитории физика, а отношения А. Г. к учащимся исключительно ограничивались его аудиторией и лабораторией. Есть, наконец, популярность третьего рода, популярность чисто академического свойства, основанная на *взаимном уважении* между учащим и учащимися. Этой популярностью А. Г. пользовался широко. Учащаяся молодежь не могла не сознавать присутствия сильного, строгого ума, широкой культуры и энергической воли, направляемой к тому, чтобы, ценой неустанных трудов, поставить науку на возможно высокий уровень, — а учащий всем своим, может быть, несколько сдержанным, но всегда безукоризненным отношением выражал ей не заискивающее, а действительное уважение. Это уважение выражалось прежде всего в строгом, до щепетильности, исполнении принятых на себя по отношению к ней обязанностей, в постоянной заботе о том, чтобы доставить ей все средства для приобретения знаний, выражалось оно и в готовности сказать в ее защиту свое веское слово в тех случаях академической жизни, когда он усматривал в том свой нравственный долг. Этот, казалось, суровый, холодный человек, неспособный даже стать на точку зрения увлекающейся молодежи, мог, однако, иногда заражаться этим увлечением. Помню, как однажды, когда по поводу одного сообщения находившаяся в зале молодежь шумно

выражала свое сочувствие, он заметил мне, улыбаясь „А ведь будто пахнуло чем-то молодым и в то же время очень старым, словно шестидесятыми годами“.

Говорить ли о более глубоких, симпатичных душевных качествах покойного?—не в его характере было выставлять их напоказ людям, как и то добро, которое он делал, он делал так, чтобы шуйца не ведала, что творит десная, но я полагаю многие из его факультетских товарищей вспомнят один случай, где своими более чем скромными средствами он подоспел на выручку серьезно нуждающемуся, когда этих средств не достало у более богатого, чем он, университета.

Жизнь прожита, и могила поставила свою точку. Но все ли этим кончается; точно ли могильный холмик на далеком кладбище, да несколько слов сочувствия, вскоре забытых, — весь след, который оставляет по себе эта жизнь? Конечно, нет; жизнь, полная мысли и труда, не может оставить по себе одну пустоту. *L'Humanité comprend plus de morts que de vivants**. Эта утешительная, гуманная мысль великого мыслителя, напоминая о преемственности умственных и нравственных благ, составляющих общее достояние человечества, напоминая о том, что тот, кого уже нет, продолжает жить между нами, в своих идеях, в своих делах, своим примером,—эта мысль относится, конечно, не только к тем великим гениям, которые озаряют путь для всего человечества, но и к более скромным деятелям, жившим жизнью мысли, поддерживавшим нравственный идеал на более ограниченной арене действия. Как всякое возмущение на поверхности стоячих вод вызывает, хотя постепенно ослабевающие, но зато все шире и шире расходящиеся круги, так и всякое умственное или нравственное воздействие, утрачивая, быть может, свой личный характер, не исчезает без следа, а только растет вширь и вдаль. „Эта жизнь идей, — скажем мы словами, которыми покойный заключил очерк жизни великого ученого, — эта жизнь идей учителя длится и теперь, когда умолкло слово того, кто ратовал и хлопотал за них“. „Семя, упавшее на добрую почву, взойдет и даст плод

* В состав того, что мы называем человечеством, входит более мертвых, чем живых.

сторицею“, а память о человеке, „посеявшем доброе семя на поле своем“, не умрет...

Да, такие люди, как Александр Григорьевич Столетов, дороги, когда своим строгим умом, своим неуклонным исполнением нравственного долга они, общими усилиями, способствуют поднятию умственного и нравственного уровня в периоды прилива; вдвойне дороги они, когда своими одинокими, разрозненными усилиями задерживают падение этого уровня в периоды отлива. Благо той среде, которая производит такие сильные и строгие умы, такие стойкие и благородные характеры, и горе той среде, где такие люди перестают встречать справедливую оценку.

К. Тимирязев.

**ОБЩЕДОСТУПНЫЕ ЛЕКЦИИ
И РЕЧИ**

Г. Р. КИРХГОФ *

Vollständig erreicht wird dieses Ziel der Naturwissenschaften (Zurückführung aller Naturerscheinungen auf die Mechanik) niemals werden; aber schon die Thatsache, dass es als solches erkannt ist, bietet eine gewisse Befriedigung, und in der Annäherung an dasselbe liegt der höchste Genuss, den die Beschäftigung mit den Erscheinungen der Natur zu gewähren vermag.

Kirchhoff. Ueber das Ziel der Naturwissenschaften, akademischer Vortrag, 1865.

I

Сороковые годы начинают собой блестящую эпоху в истории германского естествознания. Эта эпоха — прямое продолжение того энергического подъема точных наук, которым в конце прошедшего и в начале текущего столетия ознаменовала себя Франция. Было время, когда страна Коперника и Кеплера далеко уклонилась от пути, указанного великим учителем — Ньютоном. В то время как Франция, ранее утвердившаяся на этом пути, имела Лапласа, Лавуазье, Френеля, Ампера, немецкая наука еще сводила счеты с ложными притязаниями всем завладевшей философии, которой именно здесь, в сфере естествоведения, пришлось обнаружить свою слабую сторону. Но всякое увлечение, развиваясь до крайних пределов, вызывает реакцию. Начатый еще в двадцатых годах отпор против натурфилософии созрел, наконец, и принес плоды. Беспристрастное и терпеливое изучение природы, на время оттесненное задачами другого порядка, вступило вновь во все свои права. Много труда положили люди точного знания в этой своего рода „борьбе за независимость“. Гаусс, Бессель, Мюллер,

* Статья в журнале *Природа*, 1873.

Гумбольдт, Либих — вот ряд великих натуралистов, еще причастных борьбе и упрочивших победу.

В области физики, в тесном смысле слова, борьба находила себе всего больше пищи. Менее обработанная, чем астрономия, более разносторонняя, чем химия, физика особенно соблазняла натурфилософов. Какой благодарной темой для самых необузданных фантазий были явления электрические, с их полярной „любовью и ненавистью“, с их таинственным отношением к процессам животного организма! Красивые и туманные дедукции стояли на первом плане; кропотливый труд экспериментатора, точный анализ математика были не в чести: они казались лишними и вредными при изучении природы. Поэт-биолог Гете провозглашал, что математику „следует изгнать из многих отделов физики“ и что „природа немеет на пытке“. Его „учение о цветах“ характеризует эпоху. Нужна была особенная трезвость и ясность ума, чтобы устоять против общего течения. Два человека своей энергической пропагандой окончательно водворяют среди немцев методы точной физики. Это — покойный Гейнрих Густав Магнус (1802—1870) в Берлине и семидесятипятилетний старец Франц Эрнст Нейман (род. 1798 г.) в Кенигсберге.

Тот и другой становятся центром целой школы, и оба важны в истории науки не только по своим личным работам, но гораздо более по силе пропаганды, по количеству учеников. Отчасти различные по направлению, школа Магнуса и школа Неймана взаимно дополняют одна другую. Магнус — поборник более непосредственного эмпиризма. С недоверием, нередко преувеличенным, избегает он всякого „теоретизирования“ и неохотно терпит математические подмостки даже там, где они вполне уместны. Как можно скорее стать на почву опыта, как можно ближе ее держаться — вот его девиз. В глазах Неймана математика — мощное орудие изучения природы, необходимое звено между простым „элементарным законом“ и сложным явлением действительности; она проникает туда, где бессилен опыт, дает суждению отчетливость и общность. Своих учеников Нейман проводит прежде всего через длинную и строгую школу механики и математической физики и не спешит знакомить их с практикой лаборатории.

Совместная деятельность Магнуса и Неймана дала Германии целый ряд физиков. Знаменитости нашего времени:

Гельмгольц, Кирхгоф, Клаузиус — воспитались более или менее под их влиянием. Математико-физический семинарий Неймана приучает пользоваться анализом в вопросах физики, переносить в эту науку тот идеал точного измерения, какого достигла астрономия. Магнус — одновременно физик, химик и технолог — учит искусству экспериментировать, той практической сноровке, которая ускользает от вычислений; он вводит учеников в тот круг вопросов, где опыт — единственный руководитель. Домашняя лаборатория Магнуса — первый пример *физической лаборатории* — становится рассадником физиков-экспериментаторов *. Кроме того, Магнус (с 1843 г.) еженедельно собирает у себя молодых людей для беседы о важнейших новостях физической литературы. Так возникли известные *коллоквиум* Магнуса, которые вскоре (1845 г.) вызвали основание Берлинского физического общества **. Влияние Неймана ограничено более тесным кругом, за то оно еще глубже и прочнее.

Одним из самых замечательных талантов, прошедших школу Неймана и (отчасти) Магнуса, — гейдельбергский профессор Густав Роберт Кирхгоф. В открытии, обессмертившем его имя, мы видим, говоря словами Гельмгольца, „один из самых блестящих примеров слияния теоретической проныцательности с искусством экспериментатора“. Такое слияние составляет идеал современной физики.

II

Биографические сведения о знаменитостях, еще живущих, почти всегда скудны. Нашей темой будет не столько внешняя жизнь ученого, сколько характеристика его работ и значение их в науке.

Кирхгоф родился в Кенигсберге 12 марта (н. ст.) 1824 года. Блестяще обставленный университет родного города дал ему глубокое математическое образование. Бессель, Якоби, Нейман были его учителями, и под руководством последнего он стал специализироваться как физик. С 1847 г. доктор

* Только в 1853 г. она получает субсидию от правительства и обращается в публичную лабораторию. По смерти Магнуса, его преемник Гельмгольц перенес ее в здание университета. В апреле 1873 г. начата постройка нового обширного здания для физической лаборатории.

** Теперь оно насчитывает до ста членов, живущих в Берлине (не считая иногородних и иностранцев).

Кенигсбергского университета, Кирхгоф зачисляется в 1849 г. приват-доцентом в Берлине и здесь вступает как деятельный член в юное Физическое общество. Уже в следующем году он получает место экстраординарного профессора в Бреслау. Здесь сближается с ним его будущий друг и сотрудник по спектральному анализу, химик Роберт Вильгельм Бунзен (род. в 1811 г. в Геттингене). В 1852 г. Бунзен переходит в Гейдельберг; через два года приглашен туда и Кирхгоф в качестве ординарного профессора. Здесь он и остается, отказываясь от приглашений в Бонн (на место Плюккера) и в Берлин (на место Магнуса). С 1863 г. учебная обстановка Кирхгофа значительно улучшается. В новом здании университета (Naturwissenschaftliches Institut) ему отведена обширная лаборатория; тут же рядом помещается и его квартира: комфорт, существенно необходимый для того, чтобы без огромной траты времени руководить постоянными занятиями учащихся. Последнее время было несчастливо для Кирхгофа. В 1866 г. он сильно повредил себе ногу; хромота (теперь уже едва заметная) долго удерживала его от экспериментальных работ, требующих постоянного передвижения. В 1869 г. скончалась жена Кирхгофа (дочь одного из его кенигсбергских учителей, профессора Ришело). Между тем известность Кирхгофа, как ученого и как образцового преподавателя, росла более и более. С 1859 г. (время открытия спектрального анализа) имя его получило всемирную известность; в 1861 г. Кирхгоф сделан корреспондентом Берлинской академии, в 1870 г. — корреспондентом Парижской и действительным членом Берлинской. Его лекции и особенно практический семинарий привлекали и продолжают отовсюду привлекать в Гейдельберг молодых физиков.

Автор этих строк имел счастье несколько лет пользоваться и лекциями и частными беседами Кирхгофа, и мог пристально всмотреться в личность знаменитого учителя. Простота обращения и неутомимая внимательность в отношении к учащимся, постоянная деятельность и самообладание мысли, дар сжатой, но отчетливой речи — вот что поражало нас в Кирхгофе. Во всем сказывается сильная воля, чувство долга, высокое — и чуждое высокомерия — самолюбие. Мы мало привыкли соединять в уме понятия о гении и о любви к порядку; фраза, что „гений есть высшее терпенье“, также находит мало веры. Поучительно видеть ту аккуратность, с какой Кирхгоф ведет свои бумаги, красивым и неспешным

почерком записывает *in extenso* все продуманное и сделанное. Видишь, что эта глубина и точность мысли далась не вдруг и не даром: она — плод упорной работы над собой.

Главную особенность Кирхгофа, как преподавателя, составляет его практический семинарий. Цель его — служить переходом от прослушанных и прочитанных курсов к самостоятельной работе, знакомя учащихся с классическими методами физических измерений. Объясняется идея метода, устройство приборов, ведущих к цели, их особенности и ошибки, способ наблюдений и их вычисления; затем приборы (возможно просто и наглядно устроенные) передаются в руки учащегося, который и выполняет задачу. Результаты всех работавших сравниваются между собой и с цифрами, принятыми в науке. Темами для таких измерений служат, например: сила тяжести в месте наблюдения, сила земного магнетизма, число качаний данного камертона, показатели преломления данной призмы, длина волны светового луча, емкость лейденской банки, электрическое сопротивление проволоки, тепло, отделяемое при растворении соли, и т. п. Испытав свои силы над подобными классическими задачами, где методы выработаны и результаты часто заранее известны, начинающий физик уже с большой уверенностью может взяться за более оригинальные исследования.

Мы переходим к обзору ученых работ Кирхгофа. В краткой и возможно общедоступной статье весьма трудно вести речь об этих работах, касающихся самых глубоких вопросов науки. Попытаемся быть насколько можно ясными.

„Стремление свести все физические явления к основным принципам механики — вот девиз современной физики, мало того — всего естествоведения. „Эта цель естественных наук“ (говорим словами Кирхгофа) „никогда не будет достигнута вполне, но уже самый факт, что она признана, дает известное удовлетворение, и, приближаясь к ней, мы испытываем самое высокое наслаждение, какое могут доставить нам занятия наукой о природе“.

III

Первые исследования Кирхгофа относятся к области электричества. С небольшим двадцати лет от роду, еще на студенческой скамье, он делает работу „о распределении гальванического тока в пластинке“. Уже здесь сказывается

будущий мастер. Выбор задачи, изящество математической и экспериментальной обработки, убедительное сопоставление теории с опытом — замечательны в равной степени.

Теория гальванической цепи, предложенная Омом (1827 г.), занималась главным образом *линейными* составными частями цепи (проводами, тонкие столбики жидкости), где ток имеет *одно* данное направление. Более сложный случай представит пластинка, введенная в цепь; ток, входящий в нее через одну проволоку, разветвляется, так сказать, на струйки, которые, снова собираясь в один пучок, выходят в другую проволоку. Проследить это разветвление путем теории и опыта — в этом состояла задача.

В ближайшей затем работе (1849 г.) Кирхгоф касается самых основ теории тока. Омова теория этого процесса опиралась на аналогию с током теплоты в теле, неравномерно нагретом. В проволоке, постоянно нагреваемой с одного конца, происходит ток теплоты от частицы к частице, в силу которого температура на протяжении проволоки распределяется по определенному закону: она равномерно (поровну на каждый вершок) понижается от нагреваемого конца к холодному. То же самое происходит, по Ому, в проволоке, замыкающей гальваническую цепь: там в основе явлений лежит *обмен теплоты* между неодинаково нагретыми частицами, здесь — *обмен электричества*. С этой точки зрения Ому удалось вывести любопытные законы, подтвержденные опытом. Но исходный принцип теории стоит в стороне от другой, смежной области явлений, и в некоторой мере ей прогиворечит. Гальванический ток есть, несомненно, явление электрическое. Концы незамкнутой цепи всегда наэлектризованы: процесс, происходящий в цепи, когда она замкнута, во всем подобен разряду наэлектризованного тела (при соединении его с землей), только разряду не мгновенному, а как бы постоянно возобновляемому и неиссякающему. Явления, зависящие от наэлектризованных проводников, объясняются из весьма простого начала: надо принять, что различные точки таких тел становятся центрами сил притягательных и отталкивательных, действующих по известному закону квадратов расстояний. Это начало, как показывает вычисление, неразрывно связано с другим, еще более простым и вполне его заменяющим: некоторая величина, которую называют *электрическим напряжением* или *электрическим потенциалом* проводника, непременно

одинакова во всех точках этого последнего. Есть снаряд, который прямо дает нам меру этого напряжения, подобно тому, как термометр дает меру температуры тела: этот снаряд—*электроскоп*. Какую бы точку проводника мы ни испытывали электроскопом, всегда получим одинаковое действие.

Если процесс, происходящий в гальванической цепи, есть постоянный разряд, постоянное *перемещение* электричества, то объяснение этого процесса должно опираться на тот же принцип, к которому привело изучение тел в состоянии электрического *равновесия*. Только в том случае, если этот принцип окажется недостаточным, он должен быть обобщен, дополнен возможно отчетливо и ясно.

Теория Кирхгофа есть попытка вывести законы Ома, не вступая в разлад с электростатикой (учением об электрическом равновесии). Понятие о напряжении или потенциале электричества играет здесь главную роль. Сблизим до прикосновения два проводника электричества. Пусть эти проводники (назовем их *A* и *B*) суть два куска одного и того же металла. Соприкасаясь, они составят как бы один проводник, и во всех его точках установится одинаковое электрическое напряжение. То же ли будет, если проводники состоят из *разных* веществ, если, например, это — кусок цинка и кусок меди? Вообще говоря, будет не то же, что прежде; иначе, слагая несколько проводников в цепь, мы всегда получали бы электрическое равновесие, т. е. отсутствие тока. Допустим же, что, на переходе из одного вещества в другое, электрическое напряжение внезапно, скачком, изменяется: во всех точках тела *A* оно одинаково — назовем его *a*; во всех точках *B* оно опять одинаково, но уже равно *b*. Допустим, что разница напряжения (т. е. $a - b$) зависит *только* от вещества двух соприкасающихся тел, и назовем ее $a|b$.

В рассмотренном случае, когда мы имели только два проводника, равновесие электричества всегда возможно. Но пойдем далее. Возьмем *три* проводника из трех разных веществ и сложим их попарно в виде *цепи* (рис. 1); пусть это будет цинк, медь и железо. В такой системе электрическое равновесие возможно только *при известном выборе веществ*: необходимо, чтобы по свойству трех веществ сумма $a|b + b|c + c|a$ составляла *нуль*. Только под этим условием, напряжение, оставаясь одинаковым в каж-

дом проводнике порознь (что, как мы уже знаем, необходимо), может представлять на местах соприкосновения ту градацию, какой требуют три вещества нашей цепи. Такому условию равновесия действительно удовлетворяют многие тела, именно все металлы, уголь и др. Но заменим один из металлов (например железо) жидкостью (например серной кислотой) — и мы введем в цепь такое вещество, которое не выполняет сказанного условия. Электрическое равновесие станет невозможным, и электричество цепи будет в непрерывном *движении*. Мы получим простейший вид *гальванической пары*.

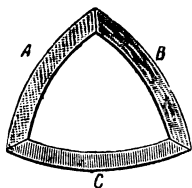


Рис. 1.

Такая точка зрения примиряет факт электризования через *прикосновение*, найденный Вольтою, с мнением тех, кто справедливо указывал на *химическое действие* как на необходимое условие тока в цепи. Всякие два проводника могут электризовать друг друга прикосновением; но мы имеем здесь лишь замену одного электрического *равновесия* другим.

Непрерывный ток получим лишь тогда, когда в цепи есть хоть один проводник *жидкий*. Такой жидкий проводник *разлагается* от действия вызванного тока. Всеобщее начало современной физики — начало сохранения энергии — остается и здесь ненарушимым. Цепь, составленная из одних металлов — тел, не изменяющих друг друга своим прикосновением, никогда не даст тока*: это значило бы из ничего созидать теплоту (всякий ток сопровождается нагреванием цепи). Во всякой цепи рядом с нагреванием идет химическое разложение: химическая энергия веществ переходит в форму энергии тепловой, и чтобы возратить продукты разложения в их первоначальное состояние, пришлось бы истратить ровно столько теплоты, сколько получено в процессе тока.

Развивая эти соображения (о которых мы могли дать только неточное понятие), дополняя их, где нужно, простыми и позволительными гипотезами, Кирхгоф впервые выражает точным математическим языком явление постоянного (стационарного) тока. Его теория еще примыкает к гипотезе о двух электрических жидкостях, но результаты ее подтверждаются всеми опытами, и кирхгофовы *уравнения тока*, как

* Мы говорим здесь все время о цепях, имеющих на всем протяжении *одинаковую температуру*.

общее выражение фактов, целиком перейдут во всякую новую теорию электрических явлений, основанную на иных началах.

В то же время (1849 г.) Кирхгоф предпринимает важную измерительную работу из области электричества. В выражении общего закона *наведения токов*, незадолго перед тем открытого Нейманом, входит некоторый постоянный фактор, имеющий важное значение. Кирхгоф определяет этот фактор. В его остроумно расположенной работе заключаются все элементы для так называемой „абсолютной меры“ гальванических сопротивлений, вслед затем предложенной В. Вебером (1850 г.) и окончательно утвержденной в науке особым комитетом Британской ассоциации (committee on electrical standards) в 1863—1864 гг.

Мы говорили о примирении между электростатикой и теорией постоянного тока. Но не прозрачна ли, не односторонняя ли такая попытка? Есть обширный круг явлений, тоже электрических, необъяснимых из основных начал электростатики. Это — взаимодействия между проводниками токов, в том числе и тех микроскопических токов электричества, которые, по всему вероятно, составляют причину магнитных явлений. Чтобы понять и эти явления, необходимо пополнить, обобщить тот простой закон, который лежит в основе электростатики. В 1846 г. Вебер дал свой знаменитый „общий электрический закон“, подводящий под одно начало как электростатику, так и теорию взаимодействия токов и магнитов. Пришлось допустить, что притяжения и отталкивания двух наэлектризованных частичек только тогда совершаются по простому закону квадратов расстояний, когда эти частички в *покое*; если они движутся, этот закон усложняется в зависимости от относительной скорости передвижения. Рассматривая всякую часть цепи как канал, в котором движется электричество, и принимая в расчет это движение при оценке электрических сил, Вебер выводит законы Ампера и Неймана о взаимодействии гальванических токов и магнитов.

Но теория Вебера касается лишь *дальнодействий* тока — действий его на отдаленные тела. Самый процесс, происходящий внутри цепи, принимается как факт, как нечто данное. Но понятен ли, возможен ли этот процесс с усвоенной нами точки зрения? Возникновение его согласно ли с основным законом о взаимных силах движущихся электричеств? Электрическое состояние каждой точки цепи должно обуслови-

ваться теми же силами. Отказавшись от прежнего простого закона об этих силах, мы должны посмотреть, согласен ли новый закон с явлениями внутри цепи и нет ли тут внутреннего противоречия. Вебер только слегка и намеками касается этой стороны вопроса. Кирхгоф идет глубже и осиливает задачу во всей ее сложности (1857 г.). Оказывается, что разница нового закона с прежним влияет при вычислении только на первые моменты тока: тот *постоянный ток*, который водворится потом, не зависит от введенной нами перемены, и для него прежние уравнения сохраняют свою силу. Новость заключается в исследовании *переходного* состояния. Это переходное состояние, когда ток еще не *установился* (не сделался постоянным), при известных условиях, имеет характер постепенно замирающих *волн*. В проволоке весьма длинной (например в телеграфной линии) движение электричества в переходную эпоху подобно движению тепла, какое произошло бы при нагревании одного конца проволоки. В проволоке менее длинной электричество образует волны, движение передается, как звук в упругом, как свет в прозрачном теле. Опыты (Вебера и Кольрауша) позволяют вычислить, какова должна быть *скорость* этой *электрической волны*. Эта скорость всегда одинакова; она *весьма близка к скорости света* (около 300 тысяч километров в секунду). Так обнаружена любопытная точка соприкосновения между областью света и тепла и областью электрических явлений. Опираясь на это, английский физик Максвелл (1865 г.) дал эскиз *общей теории* тех и других явлений как динамических процессов одной и той же всепроникающей среды (эфира).

Мы остановились с некоторой подробностью на работах Кирхгофа по теории электричества. Они всего труднее для изучения; местами, по самому свойству предмета, они имеют характер незаконченный, условный, и ждут дальнейшей разработки: это — первая попытка внести строгий метод в наименее понятную область физики. Перейдем к другим работам Кирхгофа.

IV

Теория упругости твердых тел есть один из основных отделов физики. Сопротивление, оказываемое такими телами, когда мы изменяем их форму: тянем, крутим, сгибаем их, — звучание и передача звука — все это результаты

особых сил, действующих между частицами тел, все это входит в названную теорию, имеющую обширное приложение в практической механике и акустике. В этой области Кирхгоф делает две классические работы. В одной (1850 г.) дается общая теория равновесия и колебаний тонкого упругого *кружка*, — до сих пор единственный вполне и строго решенный вопрос из теории упругой пластинки. Как и везде, Кирхгоф умеет выбрать задачу, доступную контролю опыта. Пластинка, приведенная в дрожание, движется различно в разных своих точках, что ясно видно из так называемых *хладниевых фигур*: мелкий порошок, набросанный на пластинку, располагается правильными полосками, слетая с мест наисильнейшего дрожания и накопляясь в местах покоя. Вид и размеры фигур стоят в связи с теми тонами, какие издает пластинка, и могут быть вычислены для данного тона. Такое вычисление для пластинки круглой делает Кирхгоф. С другой стороны, есть точные прямые измерения таких фигур (Штрельке): согласие теории с опытом поразительно.

Другая работа из области упругости (1859 г.) есть теория равновесия и движения тонкого призматического стержня или проволоки. Удачным применением так называемой „проблемы Сен-Венана“ Кирхгоф дает этой теории полную общность. И здесь теоретические выводы приложены к решению весьма важного практического вопроса. Когда металлическая проволока, укрепленная сверху, вытягивается от действия груза, привешенного к нижнему концу, то она *сжимается* в *поперечных* размерах. Прежде думали, что это сжатие, для проволок одинакового диаметра и при одинаковом грузе, не зависит от материала проволоки. Кирхгоф точными и остроумно расположенными измерениями доказал противное. Результат этот имеет важное значение для самых основ теории упругости, для понимания внутреннего строения тел. С тех пор он подтвержден разнообразными путями.

Третью категорию работ Кирхгофа составляют исследования, относящиеся к механической теории теплоты; сюда же можно причислить и тот закон, который составляет основу спектрального анализа, так как он непосредственно опирается на принципы названной теории.

Напомним два основных закона этой теории: они нам понадобятся. *Теплота эквивалентна механической работе,*

говорит *первый закон* (Майера и Джаула): всякая трата теплоты в природе сопровождается выигрышем работы, и обратно, по расчету 425 килограмметров работы за единицу тепла (калорию). *Невозможно, не потратив работы, перевести теплоту из тела более холодного в тело более теплое*, — такова основная идея *второго закона* (Карно и Клаузиуса). Отрицая ее, мы пришли бы к тому парадоксальному следствию, будто есть возможность прямо и безвозмездно нагревать паровики наших машин за счет того обширного запаса теплоты, какой заключен в окружающей атмосфере, воде или почве, и таким путем получать ничего нестоящий механический двигатель. Невозможность этого мы вправе считать за физическую аксиому.

Из двух указанных принципов развивается обилие самых разнообразных следствий. С помощью их, как показал впервые В. Томсон, можно вычислять так называемую энергию тел. Всякая данная масса вещества обладает определенным запасом *энергии*. Так называют полное количество работы, какое можно извлечь из этой массы, обращая в дело, с одной стороны, все присущие ей силы (силы упругости, сродства, электрические и магнитные), с другой — всю заключенную в массе теплоту (теплота тоже может дать работу и представляет часть энергии тела). Вообразим себе, что мы какими-либо путями привели сказанную массу в такое состояние, что все ее частицы пришли в совершенный покой и все междучастичные силы, так сказать, совершенно удовлетворены и не стремятся произвести никаких новых изменений. Тело в таком состоянии будет вполне *лишено энергии*; а вся та механическая работа, какую оно, в течение перехода в это недейтельное состояние, вызовет в телах окружающих (предполагаем, что и вся отданная им теплота обращена на работу), представляет полную энергию тела в его первоначальном состоянии.

Вычисление энергии вещества (воды) в его различных состояниях (лед, вода, пар насыщенный и перегретый) составляет начало небольшого мемуара Кирхгофа (1858 г.), где весьма изящно обобщен прием В. Томсона. Затем здесь рассматриваются изменения энергии тел, происходящих в процессах *растворения* (соли в воде) и *поглощения* (газа водой). Результаты исследования частью уже подтверждены опытом, частью еще ожидают экспериментальной разработки.

Основные принципы механического учения о теплоте помогут нам ориентироваться и в другом труде Кирхгофа — в самом важном из его исследований, сущность которого сообщена им впервые в заседании Берлинской академии 27 октября (н. ст.) 1859 г. Мы говорим о „законе взаимности лучеиспускания и лучепоглощения“ с его следствиями — теорией спектров и спектральным анализом.

V

Dieser Satz war wohl von Vielen schon geahnt; besonders nahe waren ihm Ängström und Balfour Stewart gekommen; aber er war nicht mit Schärfe ausgesprochen, noch weniger mit Strenge bewiesen. *Kirchhoff*. Untersuchungen über das Sonnenspectrum und die Spectren der chemischen Elemente.

Этот закон, открывший физикам и астрономам новый мир явлений, имеет, как и всякая великая идея, свою длинную историю. Как скоро идея выражена с полной ясностью, и во всем ее объеме, когда она приковала к себе внимание, то, оглядываясь назад, легко находим ее зачатки в истории науки. Прекрасным примером этого служит развитие механического учения о теплоте и начала сохранения энергии. Когда Майер, Джаул и Гельмгольц открыли золотую жилу, нетрудно было проследить ее отростки до самой глубокой старины; но лишь в сороковых годах текущего столетия темная догадка стала догматом науки. То же было и со спектральным анализом. „По моему мнению, — говорит Гельмгольц в письме к Тэту (*Tait, Sketch of Thermodynamics, preface*), — кирхгофовы открытия в этой области представляют один из самых поучительных примеров в истории науки уже потому именно, что и до Кирхгофа многие исследователи были на рубеже этих открытий. Эти предшественники Кирхгофа относятся к нему почти так же, как Р. Майер, Кольдинг и Сеген относятся к Джаулу“ (прибавим — Гельмгольцу) „и В. Томсону по вопросу о сохранении силы“.

Кирхгоф — в своих „Исследованиях о солнечном спектре и о спектрах химических элементов“ (1861 г.) и после, в особой исторической записке — подробно перечисляет

труды своих предшественников; но самые выдержки из них ясно говорят о том, какая разница между случайным наблюдением или смутной догадкой и всесторонней разработкой предмета с полным сознанием его важности. Тем не менее в последнее время некоторые из английских ученых непростительно умаляют значение Кирхгофа в истории спектрального анализа. Ссылаясь на личные воспоминания о *нигде ненапечатанных* беседах, В. Томсон в речи, произнесенной на Эдинбургском съезде Британской ассоциации (1871 г.), прямо приписывает заслугу открытия своему соотечественнику Стоксу. Когда-то, в частных разговорах, Стокс сообщал ему догадки о происхождении линий спектра и о присутствии разных металлов на солнце. „Кирхгофу принадлежит, — по мнению Томсона, — *только* та заслуга, что он первый искал и нашел в солнце другие металлы, кроме натрия“.

При всем уважении к Томсону, как одному из первых физиков нашего времени, нельзя не изумиться, видя, что так относятся к истории научных открытий. В своей эксцентрической книге „О кометах“ (Ueber den Bau der Kometen), недавно наделавшей столько шуму в ученом мире своими полемическими выходками, Цёльнер весьма метко издевается над заявлением Томсона, и на этот раз он прав вполне. „Итак, ясно, — говорит он, — что единственное преимущество, какое, по мнению сэра В. Томсона, имеет Кирхгоф пред Стоксом, состоит собственно лишь в *темпераменте* и *характере*. Если бы не эта непреодолимая флегма, которая мешает г. Стоксу посвятить несколько минут на простой опыт для поверки его „великого обобщения“, так *он* бы и стал творцом спектрального анализа!“ Кирхгоф, который семь лет спустя попадает на ту же, уже снова забытую г. Стоксом идею, — Кирхгоф не обладает этой английской флегмой. Он говорит с Бунзеном о том, как сделать отличный опыт, и вот — глядишь — спектральный анализ и открыт. Итак, не в теоретическом выводе спектрального анализа из общих механических начал и самых общих законов лучеиспускания, не в этом заслуга Кирхгофа сравнительно с английским физиком — ничуть не бывало! Все дело в различии темперамента между англичанином и немцем. Кирхгоф ищет и находит, Стокс *не* ищет и *не* находит, хотя он уже за семь лет до Кирхгофа владеет „великим обобщением“, — в этом вся разница“. Прибавим, что тот же Стокс, сделав немного ранее, тоже в области спектра,

открытие меньшей важности, нашел досуг и охоту разработать его самым исчерпывающим образом: мемуары его о флуоресценции занимают не одну сотню страниц.

Но покончим с этой грустной тяжбой (спешим заметить, что ни Стокс, ни Кирхгоф не принимают в ней личного участия). Постараемся, насколько можно, дать понятие о сущности того действительно великого обобщения, истинным автором которого, в глазах беспристрастного историка, будет не Стокс, ни даже Б. Стюарт или Ангстром (имеющие более прав на это), а Кирхгоф.

Соображения, служащие здесь основой, имеют довольно отвлеченный характер и требуют сосредоточенного внимания. Опытная и прикладная сторона кирхгофова открытия стала всеобщим достоянием; менее общедоступна та логическая цепь, которая связывает новое учение с основными началами механики и самыми общими законами о теплоте. Попытаемся дать понятие об этой *теоретической* стороне вопроса. Мы не беремся изложить весь вывод теоремы, но считаем возможным и уместным отчетливо отметить, какие *посылки* берутся здесь в основу и какие *следствия* выводятся.

Представим себе нагретое тело *A* среди безграничного пустого (т. е. одним эфиром наполненного) пространства. Тело испускает лучи тепла (либо темные, либо светящие) и через это лишается части своей энергии. Эта энергия не пропадает бесследно: то, что потеряно телом *A*, сполна передано окружающему морю эфира, распространяется в нем дальше и дальше, и если бы центральное тело лишилось всей своей теплоты, соответственная (эквивалентная) ей энергия продолжала бы существовать где-нибудь в эфире.

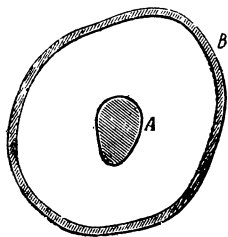


Рис. 2.

Теперь окружим мысленно тело *A* другими какими-нибудь телами, составляющими около него замкнутую оболочку *B* (рис. 2). Волны эфира, идущие из тела *A*, ударяясь в оболочку, претерпевают тройное изменение: часть их *отражается* назад (внутри); часть *проходит* сквозь оболочку до большей или меньшей глубины; наконец, остальная часть, как говорится, *поглощается* оболочкой, т. е. исчезает, отдавая свою энергию частям оболочки (нагревая, расширяя ее и пр.). Волны отраженные, встречаясь вторично с те-

лом A или с новыми частями оболочки, в свою очередь испытывают такие же процессы, и т. д. Смотря по свойству тела, встречаемого волнами, смотря по свойству самых волн, преобладает либо отражение, либо пропускание, либо поглощение волн. Есть тела, которые *почти сполна* отражают все падающие на них лучи; другие отражают их только *отчасти* и притом иногда *избирательно*, т. е. лучи *известного сорта* отражаются предпочтительно перед другими. То же надо сказать о пропускании и поглощении.

Допустим, что наша оболочка B настолько толста или непрозрачна, что *не выпускает наружу* лучей, полученных от A , и *не впускает* (во внутреннюю полость) тепла, идущего извне. Тело A в данный момент имеет определенную температуру. *Дадим ту же самую температуру* и оболочке и станем *охранять температуру оболочки от всякого изменения*. Для этого нам придется снабжать оболочку (откуда-нибудь извне) либо теплом, либо холодом, регулируя деятельность источников тепла и холода таким образом, чтобы не позволять оболочке ни нагреваться, ни охлаждаться. Нетрудно сообразить, что будет следствием таких условий: *центральное тело A будет само собой сохранять свою температуру*. В самом деле, допустим на время, что тело A охлаждается; теряемая им теплота необходимо в конце концов переходит в B , и мы получим два тела, из коих более теплое (B) нагревается на счет более холодного (A). Но такой переход тепла *невозможен без затраты работы*, говорит нам второй закон механической теории теплоты, а работы мы здесь никакой не тратим. К такому же парадоксальному выводу пришли бы мы, если бы допустили, что тело A нагревается (очевидно, на счет B). Итак, центральное тело не может ни нагреваться, ни охлаждаться и должно сохранять первоначальную температуру (ту же, какая поддерживается в оболочке).

Сохраняя таким образом полное *statum quo*, тело A необходимо *теряет* (через лучеиспускание) *ровно столько же энергии* (тепла), *сколько приобретает ее* в то же самое время (через поглощение). Полная энергия всех волн, испущенных телом в данную секунду, равняется полной энергии всех волн поглощенных.

Чтобы от этого простого соображения перейти к кирхгофовой теореме, нужно, повидимому, сделать один шаг; но в нем-то вся трудность. Требуется именно доказать,

что то равенство, какое существует между *полной* энергией всех лучей испущенных и полной энергией всех лучей поглощенных, *существует и отдельно во всяком пучке и для всякого сорта лучей*. Мы сейчас объясним, что разумеем под *пучком* лучей и на чем основываем их сортировку.

Мы не можем здесь проследить всего хода соображений, ведущих к такой специализации нашего вывода. Отметим, во-первых, те простые гипотезы, которые при этом берутся в помощь.

Мы уже заметили, что есть тела, *почти* вполне отражающие все падающие на них лучи света и тепла; другие тела почти вполне их пропускают, какой бы толстый слой тела мы ни взяли; наконец, некоторые тела—даже в форме самого тонкого слоя—почти вполне поглощают все лучи. Естественно допустить, что *возможны* и такие тела, которые не *почти*, а с *абсолютным совершенством* обладают тем или другим из указанных трех свойств. Вот единственная гипотеза, необходимая Кирхгофу при выводе его закона: он принимает возможность трех типов тел, которые мы назовем типами: *совершенно зеркальным, совершенно прозрачным и совершенно черным*. Нам нет надобности верить, что *есть* в природе хоть одно из таких тел: достаточно принять, что они *возможны, мыслимы*, т. е. что в идее о них нет внутреннего противоречия. *Близость* некоторых действительных тел к тому или другому из этих идеальных типов—уже достаточное ручательство в законности такой гипотезы. Подобные *идеальные тела* вводятся как важное логическое пособие и в других отделах физики: так, например, говорится о телах идеально твердых, идеально упругих, идеально проводящих теплоту или электричество, и т. д.

Изложив *премиссы* кирхгофова вывода, передадим окончательный *результат*, из них вытекающий, опустив промежуточные звенья силлогизма. Прежде всего объяснимся относительно введенных нами терминов.

Вообразим себе между телом *A* и оболочкой *B* (рис. 3 изображает только часть того и другой) две ширмы с весьма маленькими отверстиями *1* и *2*, какой угодно формы. Часть лучей, идущих из *A*, и часть лучей, идущих навстречу из *B*, проходит через оба отверстия; эту-то часть взад и впе-

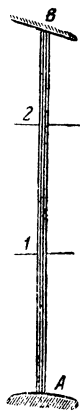


Рис. 3.

ред идущих лучей, выделяемую нашими двумя ширмами*, мы будем понимать под именем одного *пучка*. Упомянутая нами специализация состоит, во-первых, в том, что *во всяком из отдельных пучков*, на какие можем разложить сумму лучей нашей системы, энергия лучей, поглощаемых телом *A*, равна энергии лучей, им испускаемых.

Пойдем далее. Выделив один пучок лучей, выберем из него мысленно лучи одного определенного *сорта*. Два качества мы примем в основу такой сортировки: длину волны лучей и их поляризацию.

Внутри пучка могут встречаться лучи темные и светящие того и другого цвета, другими словами, — лучи с *различной длиной волны*. Выделим мысленно те из них, у которых длина волны одинакова или заключается между тесными пределами. На практике такое выделение может сделать *призма*: пучок разнородных лучей, пропущенных через нее известным образом, дробится на многие пучки, занимающие каждый свое место, соответственно той длине волны, какую он имеет.

Но и в отобранных нами лучах еще можно найти физическое различие: так называемое различие поляризации. Оптика учит, что размахи каждой частички эфира, застигаемой волной или лучом, совершаются перпендикулярно к направлению этого луча, но затем могут быть направлены весьма разнообразно. Поставим мысленно кусочек карты на пути луча и под прямым углом к нему (параллельно световой волне): любая из линий, начерченных на карте, может служить направлением размахов, совершаемых эфиром. Вообразим себе теперь, что некоторая часть эфира на пути луча потеряла способность колебаться по всем этим линиям, за исключением *одной*. Такой эфир профильтрует из нашего луча только некоторую долю; эту-то долю мы называем лучом *определенной поляризации*. Практически такую фильтрацию луча можно до некоторой степени осуществить, пропуская его сквозь пластинку турмалина. В обыкновенном пучке лучей есть лучи различной поляризации.

Мы окончили нашу сортировку лучей. Из пучка лучей, выделенного ширмами *1* и *2*, мы отбираем то, что имеет одинаковую длину волны и одинаковую поляризацию. Эту отобранную долю мы назовем *элементом пучка*.

* Эти ширмы — чисто *воображаемые*, так что не изменяют обмена лучей между *A* и *B*.

Для каждого элемента пучка существует равенство между энергией, поглощенной телом A , и энергией, им испущенной (в одно и то же время).

Вот к какому результату приводит Кирхгофа ряд строгих соображений, основанных на предыдущих началах. Тот же вывод нетрудно выразить в несколько иной форме.

Назовем *испускательной способностью* тела A то количество энергии, которое испускается им в течение одной секунды в отделенном нами элементе пучка. Обозначим ее буквой e . Во всяком отдельном пучке, во всяком элементе этого пучка изливается особая доля энергии, и соответственно ей есть особая испускательная способность тела. Назовем далее буквой f ту энергию, которая — в том же самом элементе пучка — *посылается* центральному телу частями оболочки, навстречу и взамен энергии, им изливаемой. Из этой энергии f некоторая доля поглощается телом A ; назовем эту долю через af . Число a (оно будет дробь, меньшая единицы или в крайнем случае единица), т. е. отношение энергии поглощенной к полной энергии падающих лучей *, мы назовем *поглощательной способностью* тела A . И она так же, как e , для всякого пучка и всякого элемента, будет особая.

По равенству двух энергий e и af (испущенной и поглощенной) заключаем, что отношение $e : a$ равняется f .

Повидимому, эта величина f зависит как от свойств оболочки, так и от свойств и положения центрального тела A . В самом деле, в числе лучей, падающих на тело A , есть лучи, испущенные самой оболочкой; могут быть и такие, которые идут от тела A , но возвращены ему отражением от оболочки. Нетрудно однакож убедиться, что эта зависимость величины f от названных обстоятельств есть только кажущаяся: на самом деле f зависит *только от температуры* взятых нами тел **.

* Из ста процентов падающей энергии поглощается $100a$ процентов.

** Что f не зависит от оболочки, видно уже из найденного выше: f есть то же, что $e : a$; но e и a от оболочки не зависят, они обуславливаются только особенностями центрального тела и его положения.

Далее, следует ли заключить из последнего замечания, что и отношение $e : a$ (т. е. f) зависит от свойств и положения тела A ? Нет, оно и от них *не* зависит. В самом деле, заменим прежнюю оболочку новой, составленной из одних только *совершенно черных*

Таким образом наш закон примет следующую форму:
Отношение между испускающей и поглощающей способностью (для какого-либо сорта лучей) одинаково для всех тел, взятых при одной и той же температуре.

Вот в чем состоит закон, который мы назвали *законом взаимности испускания и поглощения*. Посмотрим, к каким следствиям он приводит. Искусственная система, над которой мы доселе рассуждали, — центральное тело с оболочкой той же температуры, — уже не нужна нам более: мы пришли к результату, имеющему самое общее значение.

Если *отношение* между двумя величинами остается неизменным, то чем больше будет одна из них, тем больше должна быть и другая. Прилагая это к нашему случаю, заключаем, что в ряду *различных* тел, взятых при *одинаковой* температуре, „чем больше лучей определенного сорта испускает данное тело, тем больший процент падающих лучей того же сорта оно будет поглощать“.

Тело, которое при данной температуре *не испускает* лучей известной длины волны и потому не обнаруживает их в своем *призматическом спектре*, будет совершенно *прозрачно* для соответственных лучей всякого другого источника теплоты. Оно задержит, поглотит из лучей последнего только такие, какие есть в его собственном спектре. Поглотит больше или меньше по *абсолютному количеству*, — смотря по температуре другого тела, — но всегда *одинаковый процент* лучей данного сорта.

Спектр раскаленных твердых и жидких тел и *сильно сжатых* газов (или паров) вмещает лучи всевозможных длин волны. Спектр газа или пара, достаточно разреженного, составлен из отдельных светлых линий: частицы такого тела, как струны на унисоне, способны издавать лишь известные, всегда одни и те же *тоны* света. Пропустим лучи одного из тел *первой* категории через какой-либо раскаленный пар; в *совместном спектре* двух веществ могут оказаться раз-

веществ и имеющей ту же температуру, как и прежняя. Мы уже знаем, что от такой замены оболочки f не изменится. Но эта новая оболочка не отражает никаких лучей, идущих от A , она шлет *внутрь* лишь лучи ею самой испускаемые. Посылаемая ею энергия f уже не может зависеть от тела A . Следовательно, и при всякой другой оболочке с тою же температурою f не зависит от тела A , а может зависеть *только от температуры*.

личные явления. Пусть оба вещества имеют одинаковую температуру; тогда совместный спектр ничем не разнится от спектра *первого* тела, взятого отдельно: пар и по качеству и по количеству сполна вознаграждает то, что он отнял. Но повысим температуру *первого* тела: его спектр станет ярче, и более холодный пар, попрежнему отняв из этого спектра все, что может поглощать, уже не вполне вознаградит за отнятое, ибо собственные лучи пара не довольно сильны. При большой разнице температур вознаграждение будет ничтожно, и в совместном спектре, на месте *светлых* линий, составляющих отдельно взятый спектр пара, явятся *темные* линии.

В этом состоит опыт *обращения спектров*, замеченный относительно паров натрия уже в 1849 г. известным Фуко. Кирхгоф, независимо вновь открывший тот же факт, распространил опыт на множество других веществ и дал ему полное объяснение. Этим опытом обнаружена причина темных линий *солнечного* спектра: совпадение их со спектральными линиями тех или других раскаленных паров открыло Кирхгофу, что множество известных нам веществ содержатся в составе солнца. Отсюда — ряд блестящих приложений призмы к исследованию неба.

Еще одно последнее замечание.

Избирательное поглощение тел может относиться не только к лучам, различным по длине волны, но и к лучам различной *поляризации*. Наш закон говорит нам, что если какое-нибудь тело предпочтительно *поглощает* лучи одной определенной поляризации, то такие же лучи оно будет *испускать* (при той же температуре). Кирхгоф подтвердил этот вывод опытом над раскаленным *турмалином*.

Такова сущность одного из величайших открытий нашего века. Знаменитый опыт Ньютона стал исходной точкой целой новой науки, с объемом, столь же *всемирным*, как и наука о всемирном тяготении. Ревнивые опасения Гёте за природу, истязаемую „ухищренными“ (*verkünstelte*) опытами и затемняемую математическими фикциями, еще раз остались напрасными: природа дала ясный ответ и стала еще изумительнее. Из всех орудий „пытки“, призма Ньютона, это орудие посягательства на „единство вечного света“ (*Einheit ewigen*

Lichts zu spalten), была особенно ненавистна поэту; против нее он ратовал всю жизнь. Ныне, в руках одного из достойных преемников Ньютона, призма вознаграждает нас за *одно* „раздробленное“ единство, указывая на *другое*. Факты, открытые спектроскопом, не служат ли твердой опорой для одного из самых смелых синтезов нашего времени? Не говорят ли они красноречивее, чем что-либо с тех пор, как открыто всемирное тяготение, не говорят ли они о вещественном единстве и общем происхождении видимой нами вселенной?

ОЧЕРКЪ
РАЗВИТІЯ НАШИХЪ СВѢДѢНІЙ
О ГАЗАХЪ.

А. Столѣтова,

ПРОФЕССОРА МОСКОВСКАГО УНИВЕРСИТЕТА.

МОСКВА.

**Въ Университетской типографіи (М. Катковъ),
на Страстномъ бульварѣ.**

1879.

ОЧЕРК РАЗВИТИЯ НАШИХ СВЕДЕНИЙ О ГАЗАХ

Истекший год начался на Западе поразительным завоеванием в области физических наук: 10 января н. с. 1878 года (29 декабря 1877) на земле впервые увидели *твердый водород*. Этот легчайший из газов, этот газ по преимуществу, всех упорнее сопротивлявшийся сжижению, — потек жидкой струей, посыпался, как дробь. Незадолго перед тем удалось сгустить и заморозить остальные упорные или постоянные газы — кислород и азот, составные части воздуха. Название *постоянный газ* утратило свой точный смысл; всякий газ, при достаточном давлении и достаточном холоде, становится жидким, а потом твердым телом.

Этим важным (хотя давно предвиденным и подготовленным) результатом в известном смысле завершается ряд идей и учений, начавшихся с глубокой древности. Тела наиболее загадочные и неуловимые, тела, когда-то казавшиеся как бы переходом к миру сверхчувственному, окончательно приравнены к остальной материи. Мысль, что газ есть только случайная или временная форма вещества, получила окончательное оправдание.

Сперва только воздух был известен как представитель этой формы. Мало-помалу открыты различные газы. Затем стали догадываться, что всякое вещество может сделаться газом, что всякий газ может быть лишен воздухообразного состояния. Это состояние вещества характеризуется известными типическими чертами, которые постепенно выясняла наука. Газ есть вещество текучее, растяжимое и упругое; он обладает некоторыми простыми свойствами, каких не представляют тела в твердом и жидком виде.

Изобразить преемственность идей и изысканий, шаг за шагом приводивших к современному учению о газах, та-

кова избранная мною тема. Мне казалось, что *история газов* представляет одну из самых любопытных глав в истории физических наук. Разнообразные интересы — научные, философские, религиозные — едва ли где сплетаются между собой так тесно, так прихотливо. Я знаю, что тем труднее, тем требовательнее подобная тема; но постараюсь дать, что могу.

Итак, бросим взгляд на историю газов, от древнейших мыслителей, считавших небесный свод твердым кристаллом, до Каилете и Пикте, впервые получивших *твердый воздух*; от Анаксимена, провозгласившего воздух началом вещей, до Хеггинса, доказавшего газообразность „туманностей“ неба — этих зачаточных миров по идеям Канта, Лапласа и Гершеля.

Но интересы наши сосредоточатся преимущественно на физике новейшей, „возрожденной“. Здесь *две эпохи* остановят на себе наше особое внимание. Они разделены с лишком столетним промежутком. Одна (эпоха Торричелли, Гверике и Бойля) предшествует великой книге Ньютона, в которой находит свое завершение; другая — выражается в трудах Лавуазье.

Движение точных наук, начатое школой Галилея в Италии, сосредоточивается сперва на почве Англии, позднее — у французов. Эпоха Бойля и эпоха Лавуазье соответствуют великим общественным переворотам, разразившимся в этих двух странах в середине XVII и в конце XVIII веков.

Семнадцатый век выяснил в главных чертах *механику* газов, восемнадцатый создал газовую *химию*. Нашему столетию суждено было глубже проникнуть в то, что справедливо назвать *физикой* газов, в первоначальном смысле этого слова.

Не довольствуясь изучением, описанием свойств и законов вещества, наука старается *объяснить* их, т. е. свести к тем простейшим механическим представлениям, которые легли в основу естествознания*. Стремясь проникнуть в тайну строения материи, уразуметь возможно ближе ее *природу*, физика издавна задавалась вопросом: в чем основа

* Для выяснения того, как смотрел на механику Столетов, см его речь *Гельмгольц и современная физика*; кроме того, уже и в предыдущей фразе видно, что Столетов различал механику, химию и физику; следовательно, под словом „свести“ он не разумел отождествить. *Прим. ред*

того различия, какое находим между телами твердыми, жидкими и газообразными?

Эту задачу последние десятилетия озарили неожиданным и ярким светом. Гениальная по своей простоте, неотразимо убедительная гипотеза почти вполне решила одну часть вопроса и подготовила путь решения для остальных. Любопытно, что именно *газ* для современного физика представляет наименее загадок. Механический анализ газообразного строения материи — вот та часть нашей задачи, которой наиболее овладела наука. Новая гипотеза не только объяснила все или почти все, что мы знали о свойствах газа, но и подсказала новые факты, подтвержденные опытом. Гипотеза стала прочной теорией, одной из наиболее разработанных глав в учении о природе.

Краткий очерк этой теории, насколько она мирится с популярным изложением, будет представлен в конце нашего труда. Этот очерк даст понять, какие сокровенные тайны природы начала разоблачать новая физика газов: она уже пытается смерить и взвесить атомы вещества, определить их невыразимо малые расстояния.

I

Воздух, как нечто нераздельное, долго был единственным газообразным веществом, известным человеку. Понятие о различных воздухообразных телах, о сложном составе самого воздуха, утвердилось уже в новейшие времена.

Тем чудеснее, тем таинственнее должна была казаться человеку эта единственная субстанция, столь непохожая на все другие — тонкая, невидимая, едва осязаемая и вечно движущаяся, притом столь безусловно необходимая для дыхания и жизни. Весьма понятно, что уже на самом расвете философской мысли, едва освобождающейся от теологических воззрений, воздуху отведено исключительное место в наивных попытках физической космогонии. Любопытно остановиться на этих попытках.

Уже второй* из мудрецов древнейшего (ионийского) периода греческой философии, Анаксимен, провозглашает

Второй — следуя порядку, принятому у Риттера, Люиса и др. Анаксимен родился в Милеге в 529 или 548 г. до Р. X. (Lewes, *History of Philosophy*, 2 ed. 1871, I, p. 9)

воздух началом всех вещей Этот термин *начало* (ἀρχή) „в его ранних философских приложениях, заключал в себе темное и смутное указание на механические, химические, органические и исторические причины видимого порядка вещей“ . Не следует смешивать *начала* древних с современным понятием о химическом *элементе*, как веществе, не разложимом на дальнейшие разнородные части, но способном входить в соединения и смеси.

Факт так называемого изменения в *состоянии агрегации* тел (перехода твердых тел в жидкие, жидких в газы и обратно) лежит в основе древнейших космогонических систем. Понятие о химических превращениях веществ возникло уже позднее. К типам трех состояний агрегации (твердого, жидкого и газообразного) — земле, воде и воздуху — присоединился эфир (иногда заменяемый огнем) как нечто еще более тонкое, чем воздух. Эти четыре типа вещества, сохранившиеся и в физике новейшей, у древних вообще имеют значение начал или стихий *⁴.

Одной из четырех стихий в начале отдавалось первенство над прочими. Фалес считает *воду* абсолютным началом вещей; Анаксимен ставит на ее место *воздух*. Все происходит из сгущенного или разреженного воздуха: земля, вода, огонь, а из них прочие тела; все обращается в воздух при своем разрушении. Воздух бесконечен и постоянно в движении ***.

„И в самом деле, были, казалось, причины отдать такое предпочтение воздуху. Тем, кто не вникал пристально в дело, должно было казаться, что самая вода рождается из воздуха, когда образуются облака, а из них — капли дождя, источники, ручьи, реки и самое море. Анаксимен приписывает воздуху бесконечность — догмат, не требующий усилий воображения, скорее служащий выражением очевидного факта: кто, глядя вверх, может заметить границу атмосферы“ ****.

⁴ Whewell, *History of the Inductive Sciences*, 1837, I, p. 26.

^{*} „Мы имеем хорошие доказательства, что эта теория (четырех стихий) господствовала еще ранее XV века до Р. Х.; вероятно, она образовалась до разделения мидо-персидской и индусской ветвей арийского семейства“. (Rodwell, On the theory of phlogiston, *Philos. Mag.* (4), vol. 35, 1868, p. 2.)

[†] Mullachii *Fragmenta philos. graec.*, Paris, 1860, I, De Anaximene, p. 241—242.

^{††} Draper, *History of the Intellectual Development of Europe*, 1875, I, p. 98.

Тепло и холод, по Анаксимену, не что иное, как сгущение и разрежение вещества: когда мы дышим со сжатыми губами, выдыхаемый воздух холоден; он делается теплым, если дышать широко открытым ртом. При достаточном разрежении воздух может превратиться в огонь; так из паров земли возникли солнце, луна и звезды. Сгущенный воздух дает начало воде и земле.

С другой стороны, Анаксимен „чувствовал в себе самом нечто такое, что двигало, управляло им, — он не знал как, не знал почему, нечто высшее, чем он сам, невидимое, но всегда присущее; это нечто он называл своей жизнью. Он думал, что эта жизнь есть воздух. И вне себя, так же как внутри, не находил ли он этот вечно движущийся, вечно присущий, невидимый воздух? Воздух внутри себя он назвал жизнью; не есть ли это часть воздуха, существующего вокруг? И если так, то не этот ли воздух — начало вещей?

„Озираясь кругом, он думал видеть подтверждение своей догадки. Воздух казался вездесущим. Земля покоится на нем, как широкий лист. Все происходит из воздуха, все разрешается в воздух. Дыша, мы вдыхаем часть всемирной жизни. И нас, и все в природе питает воздух.

„Анаксимену, как и большинству древних, вдыхаемый и выдыхаемый воздух казался настоящей струей жизни, связующей все разнообразные вещества, из коих составлено тело, дающей им не только единство, но и силу, жизненность. Вера в жизнь мира, т. е. воззрение на вселенную как на организм, имеет весьма древнее происхождение; Анаксимен, делая обобщение от жизни личной к жизни мировой, считал ту и другую зависящими от воздуха“*. Этот воздух стал для него богом; из него произошли все боги и богини.

Такова философия Анаксимена. Его идеи развиты далее Диогеном Аполлонийским (около 460 до Р. X.). Диоген „принял учение Анаксимена о воздухе как начале вещей, но дал ему более широкое значение, указав аналогию воздуха с душой... Воздух есть душа, поэтому он одарен жизнью и разумом... Воздух как начало всех вещей по необходимости есть вечная, неразрушимая субстанция; в то же время как душа он необходимо одарен сознанием“**. „Ибо без разума

* Lewes, *History of Philosophy*, I, p. 9—10.

** Lewes, I, p. 11.

он не мог бы распределиться так, чтобы все сохраняло должную меру лето и зима, ночь и день, дождь, ветер и ведро; все, на что ни посмотришь, устроено наипрекраснейшим образом¹. Души животных суть не что иное, как воздух в различных условиях влажности и тепла. „Мир как живая единица должен почерпнуть свою жизненную силу из целого; поэтому Диоген приписывал миру дыхательные органы, которые воображал видеть в звездах. Всякое творение, всякое вещественное действие — не что иное, как вдыхание и выдыхание. В притяжении влаги к солнцу, в притяжении железа к магниту Диоген видел процесс дыхания. Человек выше животных по уму, потому что вдыхает более чистый воздух, чем животные, склоняющие голову к земле“^{**}.

Мы остановились с некоторой подробностью на этих наивных учениях юности человечества. Они любопытны для нас во многих отношениях. В них раннее свидетельство той ассоциации понятий, которая проходит через целые века и отражается донныне в языке и мысли; в них как бы неясное предчувствие открытий, которыми гордится современная наука.

Уже на этих первых ступенях философской мысли мы видим, какое глубокое впечатление на ум человека производила эта незримая, неосязаемая, подвижная „сфера паров“, представляющая как бы переход от телесного к невещественному, сверхчувственному. С этих пор или даже раньше примесь *воздушного* в понятии о *духовном*, примесь *духовного* в понятии о *воздушном* стали как бы неизбежны, неискоренимы.

Идея о дыхании как основном акте жизни, о воздухе как образе (или даже сущности) души — эта идея пустила вековые корни. Воздух как всеобщее начало вещей недолго сохранил свою монополию. Его сменили огонь Гераклита, гомеомерии Анаксагора, бескачественные атомы Демокрита, четыре равноправные стихии Эмпедокла и Аристотеля, еще донныне удержавшиеся в популярном языке, далее — три стихии алхимиков (соль, сера, ртуть); те и другие — скорее в смысле абстрактных качеств, чем в смысле мате-

¹ Mullachii, I, p. 254 (Diog. Ap fragmenta).

^{**} Lewes, I, p. 12.

риальных составных частей. Но идея о родстве *воздушного* с *духовным* пережила все эти метаморфозы мировоззрения. Этимологическое родство слов (воздух и дух, так же как spiritus от spiro, дышу πνεῦμα от πνέω) запечатлело эту идею навеки.

Представление о воздухе и родственные ему представления о паре, огне, эфире* часто служили опорой, иллюстрацией для понятий о невещественном, духовном Пифагор называет душу отрывком эфира (ἀπόσπασμα αἰθέρος)**. Огонь Гераклита, „тип самопроизвольной силы и деятельности, — не пламя, а теплый, сухой пар — эфир“***. У Эпикура душа есть тонкое вещество, рассеянное по всему телу, наиболее сходное с воздушным дыханием с примесью тепла****. Почти также определяет душу Гиппократ. Элеец Ксенофан, возвысившийся до весьма абстрактного понятия о едином божестве, считает нужным сказать, что „оно не сходно с человеком, ибо слышит и видит все вещи без помощи дыхания“*****.

В знаменитой поэме Т. Лукреция Кара „О природе вещей“ душа представлена состоящей из четырех элементов: тепла (calor), воздуха (aër), ветра или дыхания (ventus, aura) и некоторого четвертого, также материального, которому нет имени (nominis experts) и который превосходит все прочие по тонкости и подвижности.

„От умирающих отходит некоторое тонкое дыхание, смешанное с паром; пар влечет с собой воздух; нет тепла, к которому бы воздух не примешивался... Итак, мы уже нашли тройную природу души... Но необходимо приписать еще некоторую четвертую составную часть; ей совсем нет имени; нет ничего подвижнее и тоньше ее... Так слагаются в одно целое теплота и воздух, и слепая сила ветра, и то подвижное начало, которое наделяет движением остальные, отчего и происходят чувствительные движения в теле“*****.

* У Эмпедокла слова воздух (ἄήρ) и эфир (αἰθήρ) употребляются еще нередко безразлично. У Гераклита „смерть огня дает начало воздуху“. (Mullachii, I, p. 318.)

** Ibid, II, p. IX

*** Lewes, I, p. 72

**** Lange, *Geschichte des Materialismus*, 2 Ausg., 1873, I, p. 80.

***** Lewes, I, p. 46

***** Tenvis enim quaedam moribundos deserit aura
Mixta vapore; vapor porro trahit aëra secum;
Nec calor est quisquam, cui non sit mixtus et aër ..

В этой странной теории два элемента (аër и aura или ventus) почти тождественны, третий (nominis experts) — нечто придуманное по подобию их же.

„Душа“, говорит неоплатоник Порфирий (III в.), „соединена с некоторым тонким дыханием (πνεῦμα), благодаря которому возможно соединение невещественной души с вещественным телом“[†].

От подобных представлений не свободны и некоторые из христианских писателей первых веков. Душе человека, ангелам, как добрым, так и злым, приписывалась тонкая телесность наподобие воздуха, огня или эфира**. Так Тертуллиан (III в.), защищая вещественность души, уподобляет ее воздуху. „Ибо какой иной цвет припишешь душе, как не воздушный и прозрачный? Не то чтобы самой сущностью ее был воздух... Но как все тонкое и прозрачное подобно воздуху, так и душа, поскольку она есть сообщенное дыхание; по тонкости своей она даже не всегда признается вещественной“***. В другом месте он говорит: „что значит не жить? думаю, не издавать дыхания... Жить значит дышать и дышать значит жить“****. Августин (IV—V вв.), имеющий весьма возвышенные представления о душе человеческой, приписывает тонкую вещественность жизненному принципу животных и растений. Он говорит: „телесным духом называю воздух, или лучше огонь, который по тонкости

Jam triplex animi est igitur natura reperta...
Quarta quoque his igitur quaedam natura necesse est
Attribuatur: ea est omnino nominis experts,
Quâ neque mobillius quidquam, neque tenuius exstat...
Sic calor atque aër et venti caeca potestas
Mixta creant unam naturam et mobilis illa
Vis, initum motûs ab se quae dividit ollis,
Sensifer unde oritur primum per viscera motus.

(Т. Lucretii Cari, *De rerum natura*, lib. III, vv. 232—272)

* Hoefel, *Histoire de la Chimie*, 2 éd. 1866, I, p. 242.

†¹ Макария *Православно-догматическое богословие*, 1856, I, p. 289, 346.

*** Quem igitur alium animae aestimabis colorem, quam aëreum ac lucidum? Non ut aer sit ipsa substantia ejus... Sed quoniam omne tenue atque perlucidum aeris aemulum est, hoc erit anima qua flatus est et spiritus tradux. Siquidem prae ipsa tenuitatis subtilitate de fide corporalitatis perlucitur (Tertulliani *Opera omnia*, Wirceb. 1781, II, p. 340, De animâ, cap. IX)

**** Quid est non vivere? flatum, opinor, ex semetipso non agere... At enim vivere spirare est, si et spirare vivere. (*Ibid.*, cap. X, p. 343.)

своей не может быть видим и который внутренно растит и живит тела: иные только растит, не оделяя чувством, как, например, деревья, травы и все на земле произрастающее; иные же оделяет и произрастанием и чувством, каковы все животные* . Или еще: „жизнь зверей есть жизненный дух, состоящий из воздуха и крови, животный, невидимый, но подлежащий чувству, имеющий память, но лишенный понимания, умирающий вместе с телом, рассеивающийся в воздух“ ** .

Много раз подобные мнения возникают в философии и науке средних веков и даже нового времени, чередуясь с идеей о невещественном начале жизненных процессов. У Парацельса „человек есть сгущенный пар, он возвратится в пар, из коего вышел“ ***. *Архей* (archeus) ван-Хельмонта есть материальный дух (aiga corporealis), живущий в теле; он напечатлевает каждому живому существу его отличительный характер и управляет пищеварением. Жизненный дух (spiritus vitalis) ван-Хельмонта есть род газа, зарождающегося в сердце; он управляет дыханием, биением сердца и артерий, мускульной и нервной силой. При дыхании он притягивает внешний воздух; газы сильно и мгновенно действуют на него, ибо он сам имеет природу газа ****.

Знаменитый провозвестник индуктивного метода Франсис Бекон приписывает все процессы природы тонким вещественным духам (spiritus). „Во всем осязаемом есть дух, заключенный в более грубом теле“, говорит он, поясняя, что „этот дух не есть какая-либо сила или энергия, или энтелехия, или призрак, но просто тонкое тело, невидимое, но имеющее место и размеры, реальное; с другой стороны, это не воздух (так же как виноградный сок не есть вода), но тонкое тело, сродное воздуху, хотя и весьма от него

* Spiritum corporeum voco aerem, vel potius ignem, qui prae sui subtilitate videri non potest, et corpora interius vegetando vivificat. Quaedam autem vegetat tantum et non sensificat, sicut arbores, herbas et universa in terrâ germinantia Quaedam vegetat et sensificat, sicut omnia bruta animalia. (*De spiritu et animâ*, cap 33, S. Augustini *Opera*, ed. Migne, Patrol. Cours. Compl, ser. lat XL, p 803)

** Vita brutorum animalium est spiritus vitalis constans de aere et sanguine, animalis, invisibilis, sed sensibilis, memoriam habens, sed intellectu carens, cum carne moriens, in aera evanescens. (*De cognitione verae vitae*, cap IV, t cit, p 1009.)

*** Hoefler, *Histoire de la Chimie*, II, p. 17.

**** Ibid, II, p 155

отличное“... „Во всех одушевленных существах два рода духов: духи смертные, присущие и неодушевленному, и, кроме того, дух жизненный. Духи смертные по существу всего ближе к воздуху, духи жизненные более подходят к существу пламени“ *

Современник Ньютона и Лейбница, Фридрих Гофман проводит почти ту же мысль в своей биологической системе. „По его мнению, большая деятельность организованных тел зависит от влияния вещественной субстанции, крайне тонкой, летучей и энергической. Она не что иное, как эфир. Рассеянный по всей природе, он производит в растениях образование почки, выделение и движение соков; в животных он выделяется из крови и помещается в мозг. Мозг, действуя при посредстве нервов, производит все действия органов животного“ **. Эта теория *жизненной жидкости* (*fluidum vitale*) пользовалась большим кредитом во всей Европе, тем более, что хорошо мирилась с философией как Лейбница, так и Ньютона; сам Ньютон и указал на тождество жизненной жидкости с эфиром ***. Позже та же мысль специализируется в применении к нервной деятельности (гипотеза нервной жидкости). С открытием гальванизма нервную жидкость отождествляли с электрической.

Так в целом ряде веков идея о воздухе, паре и т. п. была либо исходной точкой, либо уяснением, материальной подкладкой, понятий о живом и духовном.

Наоборот, привычка спиритуализовать неодушевленную природу, населять ее невещественными деятелями, ни к чему не обращалась так упорно, как к телам воздухообразным, особенно в их необычных проявлениях. У Пифагора, у нео-

* Inest omni tangibili spiritus, corpore crassiore obiectus et obsessus . Spiritus autem ille... non est virtus aliqua, aut energia, aut entelechia, aut nugae. sed plane corpus tenue, invisibile, attamen locatum, dimensum, reale; neque rursus spiritus ille aer est (quemodmodum nec succus uvae est aqua), sed corpus tenue cognatum aeri, at multum ab eo diversum... In omnibus animatis duo sunt genera spiritum: spiritus mortuales, quales insunt inanimatis, et superadditus spiritus vitalis. Spiritus mortuales aeri proxime consubstantiales sunt, spiritus vitales magis accedunt ad substantiam flammae (De duratione vitae et formâ mortis, *Bacon's Works*, ed. 1803, vol 8, p. 451 sq.)

** Whewell, *Philosophy of the Inductive Sciences*, 1840, II, p 21.

*** *Ibid.*, p. 22.

платоников воздух наполнен душами и демонами. В воздухообразных выделениях гниющих тел некоторые философы видели самые души умерших[†]. Единобожие не вытеснило вполне этих стремлений. Злой дух назван в новом завете „князем власти воздушные“^{††}. Атмосфера осталась областью духов по преимуществу; здесь, на этой как бы нейтральной почве между миром чувств и миром абстракции, они продолжают селиться с особенной цепкостью:

... die wohlbekannte Schaar,
Die strömend sich im Dunstkreis überbreitet,
Dem Menschen tausendfältige Gefahr
Von allen Enden her bereitet... (*Faust*).

В этих словах гётевского алхимика выражено верование, общее средним векам, его находим у христиан и сарацин.

Эта тенденция видеть *духовное* в *воздушном* проявляется с особенной силой, когда сперва случайные наблюдения, потом алхимические опыты, знакомят людей с какими-то особыми видами воздуха, которые впоследствии пришлось признать за самостоятельные вещества (газы).

„Подвергая различные тела действию огня, арабские алхимики научились извлекать из них наиболее утонченные части, где, казалось, особенно сосредоточивались те качества, которые в более рассеянном виде присутствовали в первоначальном веществе. Так как эти экстракты часто были невидимы при своем первоначальном выделении и между тем могли разрывать самые крепкие сосуды, иногда исчезая с треском и пламенем, то их считали за внутренний дух, или душу, того тела, откуда их извлек огонь... Алхимия, с ее эссенциями, квинтэссенциями и спиртами, или духами, была материализованным пантеизмом“...

„Не одни магометане предавались этим мистическим самообольщениям: и христианство было к ним подготовлено... Если воды источника периодически вспенивались от углекислого газа — это ангел возмущал их. Если какой-нибудь несчастный спускался в яму и задыхался от мепитического воздуха — это было делом скрытого демона. Если факел рудокопа производил взрыв — этот взрыв при-

* Hoefler, *Histoire de la Chimie*, I, p. 77, 242.

** Ефес, II, 2.

писывался злomu духу, стерегущему сокровище и разгневанному тем, что потревожили его уединение... Испорченный воздух стоячих болот олицетворялся в виде отвратительных демонов; взрывчатые газы рудников принимали форму бледнолицых злых карликов, с ушами, висящими до плеч, и в одежде серого цвета*.

„По учению Парацельса и его школы, кроме существ материальных и нематериальных, есть элементарные духи, которые занимают промежуточное место: *сильваны, нимфы, гномы, саламандры* и пр.; с помощью их можно совершать различные чары, объяснять вещи, повидимому, сверхестественные** . Операции с *газами* (*spiritus*), без сомнения, сильно содействовали такому мистицизму. Им заражен и ван-Хельмонт (XVII в.), впервые различивший газы от воздуха и давший им имя, которое сохранилось и теперь. Это имя (*gas*)—германский синоним латинского *spiritus****. Газообразный архей ван-Хельмонта имеет характер гения или демона.

Так проходит через длинный ряд поколений та связь понятий о духовном и воздушном, которой ранее свидетельство мы нашли в учениях Анаксимена и Диогена Аполлонийского. Спиритуализация материи и материализация духа находят как бы точку соприкосновения в понятии о газе, стремятся сойтись еще теснее в догадке об эфире.

Мы уже заметили, что и в другом отношении любопытны для нас древнейшие учения Греции. Любопытно сопоставить их с результатами нового естествознания.

„Наука доказала нам, — говорит Либих, — что человек состоит из сгущенного воздуха, что живет он воздухом как несгущенным, так и сгущенным; сгущенным воздухом

* Draper, I, p. 405—406.

** Whewell, *Philosophy of the Ind. Sc.*, II, p. 9.

*** „Откуда первоначально взято слово *gas* — неизвестно; по мнению Юнкера, известного ученика Штала, оно произведено от *Gäsch* (пена, отделяющаяся при брожении)“. (Kopp, *Geschichte der Chemie*, 1843—1847, II, p. 178) Во всяком случае родство слов *Gas* или *Gäsch* с *Geist* (англосакс *gäst*) несомненно. („Ces mots ont trop de rapport avec celui du *gas*, pour qu'on puisse douter qu'il ne leur doive son origine“ [Эти слова слишком тесно связаны со словом *gas*, чтобы можно было сомневаться в его происхождении] Lavoisier, *Précis historique sur les émanations élastiques*, *Oeuvres*, I, p. 447.)

одевается, при помощи сгущенного воздуха готовит себе пищу и им же передвигает величайшие тяжести с быстротой ветра“*.

„Разложенный химией на свои составные начала, воздух уже не считается, как прежде, телом однородным: не только выделены его составные части, но и определены их отправления. От одной из них, углекислоты, происходят все различные формы растений: это вещество, разлагаемое лучами солнца, доставляет растениям углерод — их главный твердый ингредиент. Все эти прекрасные, разнообразные органические произведения, от мхов ледяного пояса до пальм, характеризующих тропический ландшафт, — все то, что мы бросаем как негодный плевел, и то, что возделываем в поте лица, — все это без исключения производится атмосферой под действием солнца. И так как без растений не могла бы поддерживаться жизнь животного царства — они представляют средство, с помощью которого воздушный материал, оживленный, так сказать, лучами солнца, переходит в организм человека... Воздух есть источник, откуда произошли все организмы, и в него же все они возвращаются. Его части возбуждаются к жизни не какой-либо скрытой силой или началом земного происхождения, как полагал Диоген, но влиянием светила, удаленного на двадцать миллионов (географических) миль, — прямого источника всех земных движений, подателя света и жизни“**.

Но далее. Наука показала нам, что самое это светило, по крайней мере в значительной части своей, не что иное, как громадная масса раскаленных газов, частью тех, какие в виде газов же встречаем и на земле (водород, кислород), частью знакомых нам более как твердые тела (железо).

Наука показала нам, что газ есть одна из *форм* материи и что эту форму способны принимать *все* вещества или их составные элементы. Космогоническая гипотеза Канта и Лапласа подсказывает нам, что эта форма есть первобытная форма мироздания. Обнаружив спектроскопом газообразность многих „туманностей“ неба, мы видим в этих воздушных массах как бы зачатки будущих миров, с солнцами, планетами и спутниками. Такую роль заняло в науке по-

* Liebig, *Chemische Briefe*, ed 1865, p. 38.

** Draper, I, p. 102 — 104.

нятие о газах. Внутреннее им понятие об эфире обещает в будущем открыть еще более широкие горизонты.

Из числа многих так называемых *невесомых жидкостей*, придуманных по типу воздуха и под влиянием вековых преданий, с целью объяснить процессы природы, — одна за другой отбрасывались по мере успехов науки. Так исчезли жизненная и нервная жидкости из биологии, теплород, магнитные и электрические жидкости из физики. Но одна подобная жидкость, повидимому, окончательно утверждается как необходимый постулат, как крайний предел, далее которого не может идти упрощение науки. Эта всемирная жидкость (эфир) покамест допускается вместе с обыкновенными видами материи. Быть может, со временем она окажется *единственной* материей, и все разнообразие знакомых нам *веществ* объяснится как разнообразие механических *процессов*, происходящих среди эфира*.

II

Мысль о том, что есть существенно различные между собой воздухообразные вещества, лишь поздно и с трудом утвердилась в науке. Ясные понятия о химическом различии веществ вообще были чужды древним. Правда, уже в древности нередко смотрели на атмосферу, как на общий резервуар, куда истекают испарения земных тел: эту мысль находим у Эмпедокла*, Аристотеля**, Лукреция***. Но

* Остроумная гипотеза В Томсона (без сомнения, еще далеко не имеющая прочного значения в науке) рассматривает вещественные атомы как разнообразные вихри некоторой тонкой среды, быть может, эфира

** Mullachii *Fragmenta philos. graec* I, p. 10 (v. 337).

*** Aristot *Meteorol*, lib. I, cap IV и др.

**** Semper enim quodcumque fluit de rebus, id omne
Aeris in magnum fertur mare, qui nisi contra
Corpora retribuat rebus, recreetque fluentes,
Omnia jam resoluta forent, et in aera versa
(Lucretii *De rerum natura*, lib. V, vv 275—278.)

(Все, что истекает из вещей, постоянно вносится в великое воздушное море, и если бы оно не восстанавливало потерь и не воссозидало истекшего, то все разрешилось бы и обратилось в воздух.)

Эта мысль дошла до новых времен: так Гверике признает воздух „запахом или телесным исгечением земного шара“ (aërem esse terraquei globi odorem seu corporale effluviium, *Exper. nova de vacuo spatio*, 1672, p. 84.)

отсюда до действительного анализа воздуха, до признания химически различных газов — шаг огромный, и этот шаг сделан не ранее XVII и XVIII веков.

Газы, случайно наблюдаемые в пещерах, шахтах, минеральных источниках, газы, выделяющиеся при химических операциях, считались как бы *испорченным воздухом*; эта порча приписывалась либо примесям мелких частиц или испарений (о натуре которых не имелось ясного представления), либо изменению физических свойств воздуха (например разрежению, уменьшению подвижности). Иногда, наконец, явления рассматривались как сверхъестественные.

Особые „роды воздуха“, то горючие, то вредные для дыхания, местами встречаются в природе в большом количестве и не могли ускользнуть от внимания древних наблюдателей. Вулканическая почва южной Италии особенно богата такими „мефитическими“ местностями словом *perphitis* (отсюда французское *tofette*) обозначались у римлян всякие вредные „испарения“ земли. Знаменитая *собачья пещера* (*grotta del cane*) близ озера Аньяно, в окрестностях Неаполя, и теперь привлекает туристов. В своей поэме „О природе вещей“ Лукреций (99—55 до Р. Х.) подробно описывает *авернские места*, где задыхаются птицы* (*loca Averna*, от *avis*, птица „ибо они вредны для всех птиц“)**. Он старается объяснить их действие материальным образом (вредными испарениями земли, разрежением воздуха).

В „Естественной истории“ Плиния Старшего (23—79 по Р. Х.) говорится о местах, где поднимаются из земли удушливые газы (*spiritus letales*), а также газы, способные воспламеняться. Эти „смертоносные испарения местами либо выходят из ям, либо действуют на самой поверхности земли; иные вредны только для птиц, как, например, близ горы Соракта (возле Рима); иные вредят животным, но не человеку, а иные и человеку, как, например, в окрестностях Синуэссы

* Sic et Averna loca alitibus submittere debent
Mortiferam vim, de terrâ quae surgit in auras,
Ut spatium coeli quâdam de parte venenet.
(*De rerum natura*, lib. VI, vv. 818—820)

(Так авернские места снизу шлют в пернатых смертоносную силу, которая поднимается из земли в воздух, отравляя некоторую часть атмосферы)

** „... quia sunt avibus contraria cunctis. (*Ibid*, v. 741)

и ПUTEОЛИ“ (города в Кампании) *. Известно, что Плиний пал жертвой своей любознательности желая наблюдать вблизи страшное извержение Везувия, погубившее Помпею (79 г.), он погиб, задушенный „смертоносными парами“.

Далее мы встречаем сведения о различных газах у арабов. „Арабы, — по мнению Гумбольдта, — должны считаться настоящими основателями *физических наук* в том значении, какое мы теперь привыкли давать этому слову“. После простого созерцания или наблюдения природы, после исследования и измерения *существующего*, наступает третья ступень изучения природы — *опыт*, как производительное *воссоздание* явлений. „На эту последнюю ступень, почти вовсе неизвестную древности, поднялись преимущественно арабы... Самое важное влияние, оказанное ими в деле всеобщего познания природы, обусловлено успехами *химии*. Арабы начинают как бы новый век для этой науки“ **.

Уже во второй половине VIII века в арабской высшей школе в Севилье мы встречаем исследователя, имя которого „отмечает в химии эпоху такой же важности, как эпоха Пристлея и Лавуазье“ ***. Это — Джафар или Джабир, известный у западных писателей под именем Гебера. Соотечественники называют его „царем арабов“, Роджер Бекон — „учителем учителей“ (*magister magistrorum*) ****.

Джафар уже имеет понятия о газах (*spiritus*), выделяющихся при химических реакциях. Он знает, что эти „духи“ входят в состав тел, теряя при этом свои обычные свойства, и могут быть снова выделены в прежнем своем виде „О сын науки! — говорит он, — если ты хочешь производить с телами различные изменения, ты достигнешь этого лишь с помощью духов. Когда эти духи утверждаются в телах, они теряют свою форму и природу; они уже не остаются тем, чем были. Когда ты принуждаешь их выделиться снова, вот что может случиться: либо улетят одни духи, а тела, в коих они были

* Spiritus letales, aliubi aut scrobibus emissi aut ipso loci situ mortiferi, aliubi volucris tantum ut Soracte vicino urbi tractu, aliubi praeter hominem ceteris animantibus, nonnunquam et homini ut Sinuessano agro et Puteolano, etc. (Plinii *Historiae naturalis*, lib. II, cap. XCIII, 95; ed. Sillig, 1851, I, p. 186. — О пламенных извержениях см. *ibid.*, capp. CVI, 110, CVII, 111, pp 199—201.)

** Humboldt, *Kosmos*, II, p. 248—256

*** Draper, *History of the Intellectual Development of Europe*, I, p 409

**** Копп, *Geschichte der Chemie*, I, p. 52.

заклучены, останутся неподвижными, или же исчезнут в одно время и души и тела“*.

Джафар, повидимому, заметил капитальный факт, который, долгое время спустя, послужил к ниспровержению теории флогистона. Это — факт *приращения веса* металла, когда его подвергают так называемой *кальцинации*, т. е. обжиганию в воздухе, причем металл теряет свои металлические свойства и превращается в „известь“ (calx), по-нашему, окисляется, соединяясь с кислородом воздуха. (Об этом процессе мы еще будем говорить подробнее.) Джафар находит, что свинец и олово при кальцинации становятся тяжелее (pondus acquirit in magisterio)**. У западных химиков факт этот замечен гораздо позже (Павел Экк около 1490 г., Кардан 1553 г., но особенно Рей 1630 г.), хотя высказан определительнее.

Факт, о котором идет речь, есть краугольный камень современной химии; но всеобщий предрассудок, побежденный лишь в конце XVIII века, мешал дать ему надлежащую оценку. Укоренившееся мнение, что металлы при нагревании разлагаются (а не *осложняются* через придачу кислорода, как толкуем мы теперь), не смущалось опытом, который прямо говорил противное. Факт, что металлы, при своем quasi-разрушении, в сущности становятся *тяжелее*, — этот факт либо опускали из виду, либо отделялись от него фантастическими объяснениями. Тысячу лет спустя после Джафара опыт кальцинации, со всей точностью обследованный гениальным Лавуазье, открыл дорогу полной реформе химии.

Позднейшие века алхимии и следующий затем период натрохимиков (химиков — врачей) мало обогатили наши све-

* Hoesfer, *Histoire de la chimie*, I, p. 331. Цитируя латинский перевод Джафара, Копп замечает: „такие места кажутся наиболее понятными, если под словом spiritus разуметь газы, как это и делалось; но такое толкование без сличения с арабским текстом весьма ненадежно, ибо под этим термином могли разуметься также кислоты или подобные тела“ (Корр, III, p. 177.) Во всяком случае у западных алхимиков спиртами назывались или собственно газы (например, spiritus минеральных вод, *ibid.*, II, p. 55), или жидкости с сильным выделением газа (например, spiritus vini, sp. salis ammoniaci). Одна из фаз вожденной *первичной материи* (materia prima) алхимиков, так называемый spiritus mundi, была эссенция, извлеченная различными путями из воздуха. (*Ibid.*, II, p. 230.)

** Корр, III, p. 119.

дения о газах. Натуральные газы делились на горючие и удушливые и считались испорченным воздухом; газы, обнаруживающиеся при химических реакциях, обозначались как выделение „воздуха“. Так, знаменитый мечтатель Парацельс (XVI век) говорит о „выделении воздуха, который вырывается, как ветер“*.

Больше света внес в изучение газов брабантец Иоанн Баптист ван-Хельмонт (1577—1644). Алхимик и врач, почитатель Парацельса, подобно ему поглощенный мыслью о реформе медицины, ван-Хельмонт полон энтузиазма и мистических идей. Он обладал частицей „камня мудрых“ и верил в алкахест (всеобщее растворяющее средство); во всех важных случаях жизни являлся ему гений с советом, и раз он видел собственную душу в виде ярко светящего кристалла**. Но в то же время он выказывает основательное научное образование и порой — здравый критицизм. Он отвергает ходячее в ту пору мнение о превращении воды в воздух, признает существование различных газов и ставит границу между газами и парами.

Ван-Хельмонт впервые ясно отличает от воздуха те тонкие воздухообразные вещества, которые появляются при горении, брожении, действии кислот на металлы и пр. Он первый употребляет для них особое имя, сохранившееся до сих пор — имя газов***.

У ван-Хельмонта воздух не причисляется к газам; газы составляют как бы промежуточную стадию между воздухом и парами. Под паром (vapor) у него разумеется собственно туман (пар осадившийся, т. е. жидкая вода в виде мелких частиц), то, что теперь называется паром только на популярном языке (например пар от самовара). Пары образуются и поддерживаются действием теплоты; при охлаждении они сгущаются в жидкость. Газы не могут сгущаться в жидкое

* Kopp, *Beiträge z. Geschichte d. Chemie*, III, p. 241.

** Kopp, *Geschichte der Chemie*, I, p. 118—119

*** Ideo, paradoxī licentiā, in nominis egestate, halitum illum Gas vocavi, non longe a Chao veterum secretum (по особенностям дела и за недостатком имени, я назвал это дыхание газом, что близко к хаосу древних). v. Helmont, *Opera omnia*, Francof. 1682, p. 69 (Progymnasia meteori, § 29). Также: Hunc spiritum, incognitum hactenus, novo nomine, Cas voco (*Ibid.*, p. 102. Complexionum atque mistionum elementalium figmentum, § 14) О происхождении нового термина мы уже говорили выше.

состояние и этим отличаются от паров (*gas est spiritus* по *coagulabilis*). Но газ может сделаться паром, а пар жидкостью. Из холодной воды отделяется газ, из теплой — пар; пар переходит в газ не от тепла (как ныне известно), а от холода: облака суть пары, при охлаждении они обращаются в газ и становятся невидимы. Превращение газа в пар тоже происходит в атмосфере, но, вероятно, „под влиянием созвездий“ (*Blas stellarum*)*: прискорбный диссонанс в рассуждении, слишком напоминающий эпоху.

Сортировка самых газов у ван-Хельмонта еще далеко не отчетлива. Он знает главным образом те две категории, которые замечались и прежде, но не были достаточно отличены от обыкновенного воздуха. Он говорит о *gas sylvestre* (или *g. carbonum*), называя этим именем газы, неспособные поддерживать дыхание и горение и неспособные воспламеняться (преимущественно нашу углекислоту); газы горючие он называет *gas pingue* или *g. fuliginosum* и т. д.**.

Идеи ван-Хельмонта долго не получали дальнейшего развития; напротив, они были частью забыты: различие газов от обыкновенного воздуха много раз опять теряется у позднейших ученых, и самый термин *газ* мало употреблялся до Лавуазье.

Этой неясностью понятий страдает даже знаменитый Роберт Бойль (1627—1691), начинающий новую эпоху химии, после периода алхимиков и иатрохимиков. „В Бойле мы видим первого химика, труды которого руководятся единственно благородным влечением исследовать природу“***; он „первый понял вопрос об элементарных составных частях тел совершенно в том смысле, как он рассматривается и теперь“****. В своем знаменитом сочинении „Скептический химик“ (*Chymista scepticus*), 1661 г., Бойль отвергает стихии Аристотеля и стихии алхимиков и настаивает на том, что мы должны искать не метафизических, а реальных элементов, т. е. таких составных частей тела, которые действительно могут быть из него выделены и окажутся практически недоступными дальнейшему разложению.

* Неясный и теперь совсем исчезнувший термин *Blas* (вероятно, от *blasen* — дуть) введен ван-Хельмонтом в параллель слову *газ* и употребляется у него очень часто.

** *De flatibus*, § 4 (*Opera*, p. 398).

*** Корр, I, p. 163.

**** *Ibid.*, II, p. 274.

Бойль много работал над газами и в деле физического изучения их сделал огромный шаг, открыв основной закон газов (обыкновенно приписываемый Мариотту); о Бойле как физике мы еще будем говорить далее. Но он, в противоположность ван-Хельмонту, как бы не видел существенной разницы между обыкновенным воздухом и другими газами, которые он называет „искусственным воздухом“ (*factitious air*). Бойль один из первых *собирает* газы над водой в особых сосудах (приемниках). В своих опытах он видит доказательство того, что „воздух может порождаться вновь“*. Он однакож заметил (1672 г.) горючесть того газа, который получается при растворении железа в серной кислоте (*водорода*)**. Он знал, что в воздухе есть нечто, потребляемое при дыхании и горении; подтвердил увеличение веса металлов при кальцинации (окислении); но до открытия состава воздуха и истинной теории названных процессов было еще далеко.

Обширный ряд исследований над газами предлагает Стивен Хельз (Hales) в своей „Растительной статике“ (*Vegetable Statics*, 1727). Он впервые делает количественные измерения газов, полученных им из самых разнообразных веществ. Но и Хельз смотрит на газы как на воздух, испорченный примесями. Его главный вывод тот, что воздух входит в состав большинства тел, принимая в них твердую форму, и что при разрушении этих тел он выделяется в различной степени чистоты и, смотря по этому, с разными свойствами. С тех пор много раз возникала мысль, что воздух есть как бы цемент, связующий составные части тел и предохраняющий тела от разрушения***.

Дальнейший шаг вперед делает шотландец Джозеф Блэкк (1728—1799), профессор в Глазго и в Эдинбурге, обессмертивший себя как физик учением о скрытой теплоте. Он обстоятельно знакомит нас с *углекислотой* в своих работах над щелочами и щелочными землями.

Издrevле известны вещества, имеющие свойства шипеть и пениться при обливании кислотами (например серной).

* *Aerem de novo generari posse* (Boyle, *Nova experimenta de vi aëris elasticâ*, 1659, exp XXII.)

** Факт этот еще ранее заметил Тюркэ де-Майерн (Turquet de Mayerne), но опубликовал позднее (Копп, *Beitrdge*, III, p. 242). Гёфер находит указание на тот же опыт еще у Парацельса (Hoefel, II, p. 12); Копп сомневается в этом (*loc. cit.*)

*** Fischer, *Geschichte der Physik*, 1801—1808, V., p. 155 и др.

Таковы: сода, магнезия, обыкновенный известняк и др. Эти тела, будучи прокалены, теряют указанное свойство и в то же время приобретают новое: они становятся *едкими*, разрушительно действуют на органические ткани. Так известняк превращается при этом в *едкую известь*. Иногда при смешении одного *едкого* вещества с другим, *слабым*, они обмениваются свойствами; так, едкий поташ и известняк дают слабый поташ и едкую известь.

Такие тела, в их едком виде, мы назывем теперь щелочами и щелочными землями; в *слабом* состоянии это — *углекислые щелочи, углекислые щелочные земли*, т. е. соединения предыдущих тел с *углекислым газом*. Переход в едкое состояние зависит от потери углекислого газа: выделение его и производит шипение и пену.

До Блалка слабые (углекислые) щелочные вещества считались *простыми* телами; их превращение в едкое состояние объяснялось как *прибавка* к ним чего-то (именно „огненной материи“), а не как *отнятие* (углекислоты). Блалк первый обличил несостоятельность такого взгляда. Он показал, что слабая известь становится *легче*, когда превращается в едкую, а эта последняя делается настолько же тяжелее при обратном превращении. Блалк заключил из этого, что слабое вещество *сложнее* по составу, чем соответственное едкое, именно: в первом содержится тот газ, который утрачивается при переходе вещества в едкую форму. Так, известняк есть сумма едкой извести + газ (углекислота). Едкая известь жадно вбирает в себя этот газ из органических веществ, и в этом состоит ее разрушительное действие.

Таковы мысли, изложенные Блалком в его первой диссертации (1755 г.). Здесь он впервые доказал, что газ может входить как составная часть в химическое соединение. Обращаясь за решением вопроса о составе тел к *весам*, Блалк делает весьма важный шаг: он антиципирует методу Лавуазье, в руках которого весы послужили орудием к полной реформе химии. Этот шаг был сделан (как увидим в истории кислорода) еще за 120 лет до Блалка (Реем), но в то время мало обратил на себя внимания.

Газ слабых щелочей и известняка назван у Блалка *закрепленным воздухом* (fixed air, air fixe): намек на его способность входить в состав твердых тел. Но Блалк считает его вполне отличным от обыкновенного воздуха: так, fixed air тяжелее воздуха и может быть переносим с места

на место в открытом сосуде. Название air fixe удержалось довольно долго, хотя отличие газа от воздуха оспаривалось и после Блэка

Так открыт *углекислый газ* Еще в 1750 г. исследователь минеральных источников Венель научил искусственно насыщать им воду *. Более подробным знакомством с углекислотой, а также с водородом мы обязаны Кавендишу.

Генри Кавендиш (1731—1810) принадлежал к одной из самых древних и богатых фамилий Англии **. До смерти отца он жил в довольно тесных обстоятельствах и в это время пристрастился к научным занятиям (особенно по физике и химии); эта страсть не покинула его и после, когда он стал обладателем громадного состояния ***.

Кавендиш обстоятельно исследовал **** газ неедких щелочей (fixed air Блэка) и тот горючий газ (водород), который, как заметил еще Тюрке де-Майерн и Бойль, развивается при растворении металлов в серной кислоте (Кавендиш называет его inflammable air). До тех пор первый из этих газов (углекислота) характеризовался только неспособностью поддерживать дыхание и горение, второй — тем, что он сам горит пламенем; естественно, что их смешивали с другими газами, имеющими такие свойства. Кавендиш дал для обоих точный физический критерий, определив их *удельный вес*: он нашел, что fixed air (углекислота) в полтора раза тяжелее воздуха, а inflammable air (водород) в одиннадцать раз легче его *****. Он доказал химически тожество „закрепленного воздуха“ с газом, развивающимся при горении и брожении органиче-

* Венель еще считал углекислоту за обыкновенный воздух.

** Его потомок, Вильям Кавендиш, герцог Девонширский, теперешний канцлер кембриджского университета, ознаменовал себя делом достойным своего предка, подарив Кембриджу роскошную физическую лабораторию (открыта в 1874 г. и состоит под ведением проф. Кларка Максвелла).

*** Как физик Кавендиш знаменит опытом, который впервые обнаружил на земных телах ньютоново всеобщее тяготение и послужил к определению плотности земного шара. В бумагах Кавендиша недавно найдены важные изыскания по части электричества.

**** *Experiments on factitious air*, 1766.

***** Более точные цифры плотностей углекислоты и водорода (по Реньо) суть 1,529 и 0,0693 (почти $\frac{1}{14}$). Легкий газ вскоре стали употреблять для наполнения аэростатов (воздухоплавание Шарля, 1783 г.; еще за два года до того Кавалло наполнял водородом мыльные пузыри и пытался, но безуспешно, сделать небольшой аэростат).

ских веществ. Он открыл, что водород, смешанный с воздухом (*гремучий газ*, *aria tonante* — название, данное Вольтою), производит взрыв при своем воспламенении. Позднее, уже по открытии кислорода Пристлеем, Кавендиш открыл (1781 г.), что водород и кислород при горении образуют *воду*, в количестве (по весу), равном весу исчезнувших газов*. Этим дан окончательный критерий для водорода; отсюда и самое имя (*hydrogène*, от *ὕδωρ*, вода и *γεννάω*, рождаю), данное ему Лавуазье. Сам Кавендиш в последние годы своей деятельности считал *inflammable air* за флогистон.

Что касается углекислоты, ее потом исследовали Бергман и Пристлей; Лавуазье признал ее за соединение кислорода с углеродом и дал ей соответственное имя (сперва *acide sapeux*, потом *acide carbonique*).

Такова в немногих словах история открытия углекислоты и водорода. Приступая теперь к тому газу, который составляет необходимое условие дыхания и горения, мы должны напомнить ту химическую теорию этих процессов, которая господствовала в XVII и XVIII столетиях (эпоха флогистона).

С незапамятных времен смотрели на *горение* тела как на его *разрушение*, в том смысле, что тело разлагается на составные начала, *лишается* чего-то и оставляет *остаток*. С такой точки зрения, тело простое, неразложимое, не может сгорать. С другой стороны, давно укоренившаяся вера в возможность превращать один металл в другой, через придачу или отнятие новых ингредиентов, приучила смотреть на металлы как на вещества сложные, составные**. В процессе кальцинации или ржавления металла, причем последний теряет металлические свойства, видели также разрушение металла — отдачу им чего-то. Так рассуждал еще Платон***. У алхимиков чистый металл в слитке называется *живым*, кальцинация оставляет труп его (Парацельс). Сход-

* Поводом послужило только что опубликованное письмо Уорлтайра (Warltire), который заметил, что при взрыве гремучего газа в сухом сосуде образуется влага. Уатт заключил из этого (1783 г), что вода *состоит* из дефлогистированного воздуха (кислорода) и флогистона (водорода), Лавуазье окончательно разъяснил дело.

** Мысль, снова возникающая в наши дни (опыты Локкьера).

*** Hoefel, *Histoire de la Chimie*, I, p. 97.

ство между горением и кальцинацией бросалось в глаза, тем более, что оба процесса производятся теплотой.

Эти идеи постепенно организовались к концу XVII века в стройную систему, более ста лет господствовавшую в химии. Это—теория флогистона, развитая преимущественно немцами Бехером и Шталем. Она была первой попыткой дать общее и рациональное объяснение большому классу химических процессов

То, что исчезает из горючих тел при горении, из металлов при кальцинации, есть одно и то же начало, общее всем этим телам. Бехер называет его горючей землей (*terra pinguis, t. inflammabilis*) или горючей серой (*sulphur ardens, sulphur—φλογιστόν*, от греческого φλογίζω—воспламеняю)*. Шталь удержал за горючим началом греческий термин Бехера, обратив его в существительное,—имя *флогистона*. Он представлял себе флогистон, как вещество весьма тонкое, невидимое и проникающее самые плотные тела. В горючих телах, в металлах есть флогистон; тело несгораемое не содержит его.

„Флогистон был новым именем для старого принципа. Мысль о существовании тонкого огня, прирожденного материи, проникала физическую философию с самых древних времен. Флогистон был другим названием для *чистого огня* Зороастра, для *ἀτεχνευόν πῦρ* Зенона, *subtilis ignis* Лукреция, *стихийного огня, астрального огня, серы и серного начала* алхимиков, *calor coelestis* Кардана, *звездной серы* Парацельса, *materia coelestis* Декарта, *terra inflammabilis* Бехера“* Но это были только зародыши научной идеи. В трудах Штала (с 1697 г.) мысль о горючем начале тел приняла отчетливую форму и выросла в стройную теорию.

Теория флогистона объясняла горение и кальцинацию как выделение флогистона из тел. Кальцинированный металл, при накаливании с углем, восстанавливается, т. е. приобретает металлические свойства (воскресает, говоря в духе алхимиков): это оттого, что уголь, тело горючее и, следовательно, обильное флогистоном, уступило металлу часть этого последнего. Процессы, отличные по виду от горения и кальцинации, объяснялись с той же точки зрения. Так, сера различными путями может быть превращена в купоросное

* Rodwell, On the theory of Phlogiston, *Philos. Mag.* (4), vol 35, 1868, p 22. Копп замечает, что тот же термин встречается еще ранее Бехера (Kopp, *Beiträge z. Geschichte der Chemie*, III, p. 218).

** Rodwell, *l. c.*, p. 26.

масло (серную кислоту); это считали разложением серы: одна из составных частей ее (флогистон) удаляется, другая (серная кислота) остается. Возвратив этой последней утраченный флогистон (через нагревание с углем), мы опять получим серу.

Признавая флогистон причиной всех этих явлений, флогистики не могли указать его как реальное вещество, полученное в отдельном виде. Флогистон, „начало горючести“, был идеей, абстракцией, так же как стихии древних и стихии алхимиков. Позже, когда открыт был водород, явилось искушение признать этот горючий газ за флогистон. Эта мысль объясняла многое, но не выдержала всех возражений новой теории, постепенно возникавшей на почве фактов, частью уже давно знакомых.

Что приток *воздуха* усиливает горение, знали с глубокой древности. Джафар предписывает кальцинировать металлы в *открытом* сосуде. Тот же химик, как мы видели, заметил, что от кальцинации металл становится тяжелее. В этих фактах таятся коренные доводы против теории флогистона; но их значение долго не было оценено.

Для нас немислимо считать *остатком* разрушенного тела вещество, которое *тяжелее* его. Мысль, что все вещественное имеет вес, что вес сложного тела есть сумма весов составных частей, в наше время стала аксиомой. Не так было двести лет тому назад. Анализ тел, как и во время Аристотеля, все еще был по счастливому выражению Юэла, „разложением тела на *прилагательные*, а не на *субстанции*“ (into adjectives, not into substances)*. С другой стороны, еще не вымерли следы аристотелева учения о телах *абсолютно-легких*, по самой природе своей стремящихся не падать, а подниматься и потому способных *облегчать* вес тяжелого тела, к которому они примешаны. Наконец, при взгляде на теплоту как на нечто вещественное и, может быть, тяжелое нечего было задумываться, видя, что нагреваемое тело становится тяжелее.

Французский врач XVII века Жан Рей (Rey) впервые взглянул на кальцинацию металлов с более правильной точки зрения (1630 г.); но его забытые доводы не помешали утвердиться учению о флогистоне — этом последнем

* Whewell, *History of the inductive sciences*, III, p. 105.

из *прилагательных*. Утверждая, что все вещественное имеет вес и не теряет его в процессах соединений и разложений, доказывая ясными опытами тяжесть воздуха, Рей задает себе вопрос: отчего металл при кальцинации становится тяжелее? Он отвечает: от *воздуха*, которым пропитан продукт кальцинации (известь — calx)*. Рей еще не понял, что этот продукт есть *соединение* металла с частью воздуха: он говорит только, что „известь“ металла, при своем образовании, насыщается воздухом, как песок водою.

У Рея воздух участвует в процессе как целое. В половине XVII века уже начинает высказываться мнение, что в воздухе есть какие-то особые составные части или примеси, которые именно важны для дыхания и горения. Свеча скоро гаснет в закрытом сосуде. Ван-Хельмонт, ставя свечу в сосуде, опрокинутом над водой, заметил, что вода поднимается в нем по мере того, как продолжается горение; воздух, оставшийся в сосуде, когда свеча погасла, негоден более для горения. Ван-Хельмонт не исследовал этого остатка; уменьшение объема воздуха объясняли сгущением, потерей упругости и т. п.

Друг Бойля, Роберт Гук (Нooke), чуткий и многосторонний ученый, полный оригинальных, но не довольно выдержанных идей, уже подозревает (1665 г.) в воздухе особое вещество, которое при высокой температуре *растворяет* горючие тела. Оно есть также в селитре, имеющей свойство поощрять горение. Мы знаем теперь, что селитра обильна кислородом и легко разлагается при нагревании; отсюда ее употребление для легко воспламеняемых составов, например, пороха. Джон Мейо (Mayow) определительнее развивает эту мысль (1669 г.): в воздухе есть частицы, родственные с селитрой, — некоторый *spiritus nitro-aëreus* (селитряно-воздушный спирт или газ). Горение есть поглощение этого вещества из воздуха, кальцинация — соединение его с металлом (а не с „известью“ металла, как у Рея). Этот же *spiritus* почерпается из воздуха при дыхании; он содержится в кислотах и действует при брожении. Это было предчувствием *кислорода*. Осторожный, скептический Бойль также признает, что нечто отнимается из воздуха при названных

* Je responds et soustiens glorieusement que ce sucroit de poids vient de l'air, qui dans le vase a esté espessi . . lequel air se mesle avec la chaux ets'attache à ses plus menus parties. (Цитата у Конна, *Geschichte*, III, p. 132.)

процессах — „какое-то рассеянное в нем жизненное вещество“ (some vitale substance diffused through the air)*.

Хельз, вероятно, первый добыл и видел это вещество. В своих многочисленных опытах (1727 г) он говорит о газе, получаемом через каление сурика (окиси свинца)**; но он не исследовал свойств этого газа и не понял его важного значения. Настоящее открытие кислорода принадлежит Пристлею.

Джозеф Пристлей (1733 — 1804) всю жизнь провел в довольно тесных обстоятельствах, большей частью в качестве проповедника диссентерской общины. Он горячо занимался религиозными, метафизическими и политическими вопросами, волновавшими эпоху; им посвящена большая часть его многочисленных сочинений. „Он был один из самых ревностных и неустрашимых пионеров религиозного рационализма“***. У соотечественников он слыл сторонником французской революции: не даром он получил звание французского гражданина и члена национального конвента. Эти отличия были губительны для Пристлея: в 1791 г, когда друзья его собрались праздновать годовщину разрушения Бастилии, дом и церковь Пристлея были разорены и сожжены толпой; сам он едва спасся и вскоре переселился в Америку****.

Свои досуги Пристлей посвящал естествознанию, в особенности физике и химии. Изучение электричества было для него школой экспериментальных работ. Но главная его заслуга — в исследовании газов (*Experiments on different kinds of air*, 1772—77). „Учение о газах Пристлей обогатил более, чем какой-либо другой естествоиспытатель“*****.

1 августа 1774 г. Пристлей получил кислород через нагревание красной окиси ртути. Он исследовал этот газ и нашел, что он сильнее поддерживает горение и дыхание, чем атмосферный воздух; впоследствии он показал, что эта составная часть воздуха при дыхании сообщает крови красный цвет.

* Корр., III, p. 195.

** Намек на подобный опыт с красной окисью ртути есть в писаниях Зосимы Панополитанского (III—IV вв.); см. Hoefel, *Histoire de la chimie*, I, p. 270.

*** Lange, *Geschichte des Materialismus*, I, p. 297.

**** Корр., I, p. 238; Hoefel, II, p. 475.

***** Корр., I, p. 239.

Но Пристлей не воспользовался своими открытиями для правильных выводов о сущности горения и дыхания. Он до конца оставался верен флогистической системе и в духе ее дал названия новым газам. Кислород был для него *дефлогистированным* (очищенным от флогистона) *воздухом* (dephlogisticated air); другая составная часть воздуха (азот) была воздух, насыщенный флогистоном (phlogisticated air). Роль воздуха при горении состоит в том, чтобы отвлекать и усваивать себе флогистон горящего тела. Растительный процесс, который, как показал Пристлей, служит как бы компенсацией дыхательного, дефлогистирует воздух, и благодаря этому состав атмосферы остается неизменным*.

Почти в одно время с Пристлеем и независимо от него, шведский химик Карл Вильгельм Шееле признает, что атмосфера составлена из двух упругих жидкостей; он называет их — одну (кислород) *огненным воздухом* (Feuerluft), другую (азот) — *испорченным воздухом* (verdorbene Luft). Шееле знает, что „известы“ (окислы) металлов суть соединения их с „огненным воздухом“ и из таких известей (из красной окиси ртути, из марганца) он добывает этот газ.

Такова история открытия *кислорода*. Это имя (сперва *grün-säure oxugène*, потом просто *oxugène*, от $\delta\acute{\alpha}\varsigma$ — кислый и $\gamma\epsilon\upsilon\gamma\acute{\omega}$ — рождаю) дал ему Лавуазье Лавуазье даже как бы присваивает себе открытие кислорода; но, несомненно, что он знал об опытах Пристлея.

Другая составная часть воздуха (*азот*) открыта собственно еще ранее кислорода. При горении в закрытом сосуде воздух лишается кислорода; в то же время он обогащается углекислотой, продуктом горения. Если извлечем углекислоту (например помощью веществ, соединяющихся с ней химически), то останется один азот. Таким путем уже Мейо (1669 г.) добыл этот газ. Хокзби (Hawksbee) в 1710 г. получал его из воздуха, пропущенного через раскаленные металлические трубки (кислород воздуха соединялся с металлом, азот же оставался в виде газа). Рудерфорд (Rutherford) в 1772 г. окончательно признал азот как особый газ. При-

* Уже в преклонных летах, видя умножение антифлогистиков, Пристлей предостерегает их от увлечений. „Не поступайте со мной по-робеспьеровски, — пишет он из Америки, — переносите терпеливо химическую Вандею. Отвечайте мне, убедите меня и не злоупотребляйте своей силой“. (Корр, III, р. 163)

сглей, Шееле и Лавуазье исследовали его, показали, что он несколько легче воздуха и определили его отношение к другим телам. Пристлей называл его флогистированным воздухом, Шееле — испорченным воздухом, когда открыли, что этот газ входит в состав селитряной кислоты. Шаптал назвал его *nitrogène* (селитрород), в новой химической номенклатуре Лавуазье (1787 г.) дано ему имя *азот* (*ἀζοτικός* — нежизненный)*.

Таким образом атмосферный воздух, — всеобщее начало вещей по Анаксимену, одна из четырех стихий по Аристотелю — оказался смесью двух существенно различных газов. Процентное содержание кислорода и азота в атмосфере старался определить уже в 1774 г. Фонтана. Долго думали — и это мнение разделял даже Лавуазье — будто это процентное содержание не всегда и не везде одинаково, полагали, например, что воздух больниц менее богат кислородом и что более или менее здоровый климат обуславливается отчасти количеством кислорода в воздухе. Кавендиш открыл источники ошибок в прежних опытах и старался доказать, что состав воздуха везде и всегда одинаков. Позднейшие точные исследования Буссенго и Дюма (1841 г.) подтвердили это постоянство состава атмосферы (20,85% кислорода и 79,15% азота по объему).

Аристотель, Лукреций, Гверике считали атмосферу испарением земли. Настало время формулировать эту мысль точнее. А priori, действительно, атмосфера „должна состоять из соединения всех веществ, способных оставаться в газообразном состоянии при обычных степенях тепла и давления“**. Но на деле азот и кислород далеко преобладают в известных нам слоях атмосферы: количества водяного пара, углекислоты, аммиака, азотной кислоты, крайне малы (хотя играют важную роль), остальные вещества едва могут быть обнаружены анализом.

Все значение новооткрытых веществ для химии уяснилось вполне лишь в трудах Лавуазье. „Заслуга Лавуазье — не в одном каком-либо открытии, но в сопоставлении

* Слово *azoth* или *азос* встречается еще у алхимиков как синоним „ртути мудрых“, из которого получался философский камень; корень этого термина неизвестен (Корр, III, р. 214; Ноефер, I, р. 235)

** Lavoisier, *Traité elem. de Chimie*, part. I, ch. III (*Oeuvres*, I, p. 35)

бесчисленного множества фактов в одну теорию“*. Новые вещества наименованы у Кавендиша, у Пристлея еще в духе теории флогистона. Сомнения в этой теории возникали, но были разрознены и лишены организации. Нужен был гений Лавуазье, чтобы вполне ниспровергнуть господствовавшую систему и заменить ее новой, более рациональной теорией.

„Со времени открытия кислорода, — говорит Либих, — в нравах и обычаях цивилизованного мира произошел переворот. Знание состава атмосферы, твердой земной коры и воды, их влияния на жизнь растений и животных последовало за этим открытием. Выгодная деятельность бесчисленных фабрик и промыслов, разработка металлов стоят с ним в самой тесной связи. Можно сказать, что материальное благосостояние государств с тех пор возросло во много крат, ибо увеличился достаток отдельного лица“**.

Любопытно то значение, которое получил кислород в натурфилософии того времени. Шеллинг признает его „принципом всякого химического притяжения, положительным принципом жизни“. С кислородом горят все земные тела: сам он не горит, он — принцип, чуждый земле, вытекающий со световым эфиром из солнца. Вся разница земных веществ зависит от того, что одни сгорели, другие восстанавливаются (раскисляются), третьи продолжают гореть. Свет есть произведение эфира и кислорода***.

Великое открытие, как мы видели, совершилось не вдруг: Гук и Мейо подозревали существование кислорода, Хельв впервые видел его, Пристлей и Шееле признали и исследовали новое тело, все его значение объяснил Лавуазье.

Антуан Лоран Лавуазье (1743—1794), сын зажиточного купца, рано обнаружил страсть к естествознанию и математике. Уже 26 лет он получил от Парижской академии золотую медаль за работу об освещении города; через два года академия признала его своим членом. Вскоре ему досталось выгодное место „генерального откупщика“. Свои большие средства он употреблял на научные изыскания. Заведывая фабрикацией пороха, Лавуазье принес большую пользу стране. Не мало важных вопросов технических и экономических прошло через его руки.

* Копп, I, p 305

** Liebig, *Chemische Briefe*, 1865, p 3—4

*** Schelling, *Ideen zu einer Philosophie der Natur* — Von der Weltseele (1797—1798) — Passim.

Показать все значение работ Лавуазье, начавших новую эру в химии, не входит в пределы нашего очерка. Для нас важно, что исходной точкой их было учение о кислороде. Преобразованную химию называли *пневматической* (т. е. газовой) или *кислородной*, ибо газы, и особенно кислород, играли в ней существенную роль. Лавуазье первый признал кислород элементом — простым веществом, входящим в состав множества тел: воды, кислот, металлических окислов (известей) и пр. Он окончательно определил его роль при горении и других аналогических процессах. Там, где флогистики, признавали отнятие флогистона, Лавуазье находит присоединение кислорода, и обратно. Новая теория, говоря языком математиков, отличается *знаком* одного из членов: там, где стоял флогистон с *минусом*, становится кислород с *плюсом*. Но это не есть произвольная игра в нововведения. Для решения вопроса, происходит ли прибавка или отнятие вещества в испытуемом теле, мы имеем верный и всеобщий критерий: *количественные измерения с помощью весов*. Эту истину, прежде только предчувствованную, окончательно водворил Лавуазье. Принцип *неразрушимости вещества*, почти одновременно провозглашенный Кантом*, стал основанием химии и одним из самых общих законов природы. Вес сложного тела есть сумма весов составных частей. Чтобы показать натуру химического процесса, недостаточно обнаружить, какие вещества действуют и какие получаются; необходимо проследить каждый гран материи, свести ее количественный баланс. Процесс изучен вполне лишь тогда, когда весовой итог продуктов равняется весу первоначально данного вещества. В этих количественных итогах доводы Лавуазье получают незыблемую опору, какой не знала прежняя химия. Самые элементарные опыты, при таком количественном исследовании, приводили к результату, что флогистон есть „вещество с отрицательным весом“; Лавуазье навсегда изгнал из науки такое представление.

Переворот в области химии, совершенный трудами Лавуазье, явился почти сто лет спустя после знаменитых „Начал естественной философии“ Ньютона (1686 г.) — этой „Великой хартии современного знания“, по выражению Юэла. Революция в химии совпала с великой социальной

* Kant, *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*, 1787

революцией конца XVIII века. Времена, окружающие эту эпоху, составляют блестящую страницу в истории науки. Тот подъем точного знания, который сто лет ранее проявился в Англии, повторяется с еще большей силой на французской почве. „В последней половине XVIII века французский ум с беспримерным рвением сосредоточился на изучении внешнего мира и таким образом помог тому широкому движению, для которого самая революция была лишь одним из последствий“ *. Каждая отрасль математики и естествознания имела представителей, которых деятельность глубоко чувствуется до сих пор. Стоит назвать Лапласа и Лагранжа, Кювьё и Бишэ; немного позже выступают Фурьё, Френель, Ампер и др.

Дух эпохи придал реформе Лавуазье характеристическую внешнюю окраску. „Тот же дух, который в конце прошлого столетия, возбудил в высокоцивилизованном народе безумное стремление уничтожать памятники своей славы и своей истории, воздвигать алтари богине разума и вводить новый календарь, подал повод к странному празднеству: на нем мадам Лавуазье, в одежде жрицы, на алтаре предала пламени флогистическую систему, при звуках торжественной музыки, игравшей реквием“ **.

Мы проследили историю открытия трех простых газов — водорода, азота и кислорода — и одного из сложных — углекислоты (соединения кислорода с углеродом — телом, в обыкновенных условиях твердым). Эти тела заслуживают особого внимания не только с исторической точки зрения как первые признанные представители газообразной материи, но и во многих отношениях они могут быть названы важней-

* Buckle, *History of Civilization*, ed 1873, II, p 405

** Liebig, *Chemische Briefe*, 1865, p 26. — Об этом курьезном празднике пишет некто Herr von E... из Парижа „Я был здесь свидетелем совершенно особенного зрелища, которое мне, как немцу, показалось неожиданным и необычайным. Я видел, как знаменитый г Лавуазье производил формальное auto-da-fé над флогистовом, причем его жена (которая имеет большие сведения в химии и перевела разные химические сочинения) играла роль жрицы; на защиту флогистона явился Шталь, как advocatus diaboli; при всем том, однакож, бедный Флогистон в конце концов был сожжен по обвинению Кислорода Не считайте этого за выдумку шутки ради все это верно буквально“ (*Crell's Chemische Anna'en*, 1789, Bd I, p. 519; также Gerding, *Geschichte der Chemie*, 1867, p. 140)

шими из газов. Их участие в составе воздуха и воды, их преобладающая роль в составе растительных и животных организмов, которые все построены главным образом из трех названных простых газов с прибавкой углерода, — все это дает рассмотренным нами газам особую первенствующую роль в земной химии. Позднейшие открытия, указывая присутствие водорода в солнце, звездах и туманных пятнах, расширяют еще далее значение этого вещества, как наиболее, повидному, распространенного в целой вселенной.

Все это позволяет нам ограничить наш очерк химической истории газов названными четырьмя телами. Кроме особой важности их и исторического первенства нас оправдывает и другое особенно важное обстоятельство. Эпохой Лавуазье не только завершается признание водорода, кислорода и азота как тел реальных, существенно различных и далее неразлагаемых, входящих в состав большинства известных нам веществ Лавуазье первый ясно понял, что *газообразность* не есть существенное свойство того или другого вещества, что *всякое* вещество может быть приведено в форму газа действием *теплоты*. Говоря, что водород есть газ, а железо и углерод (алмаз) — твердые тела, мы обозначаем только, что при *обыкновенных температурах* первое из этих тел является нам в форме воздухообразной, между тем как железо и углерод *при таких температурах* сохраняют свойства твердого тела.

Еще ранее (частью с древнейших времен) было признано, что теплота может изменять, как говорится, *состояние агрегации* тел, т. е. превращать твердое тело в жидкость, жидкое в пар. Но отношение между *паром и газом* выяснилось не вдруг. Сжижение (превращение в жидкость) веществ, признанных собственно газами (в противоположность парам), сделано еще позже. Тем не менее Лавуазье уже в 1776 г. настаивает на том, что „*слова газы (airs), пары, воздухообразные жидкости* выражают собой только временную форму (mode) материи“*. Вслед за тем он весьма картинно высказывает грандиозное обобщение, которое окончательно оправдано лишь в наши дни.

„Рассмотрим, — говорит он, — что случилось бы с различными веществами, составляющими земной шар, если бы внезапно изменилась его температура. Предположим, на-

* Lavoisier, *Oeuvres*, II, p. 783.

пример, что земля вдруг перенесена в гораздо более теплую область солнечной системы — в такую область, например, где обычная теплота гораздо выше температуры кипения воды вскоре и вода, и все жидкости, способные испаряться при температурах, близких к точке кипения, и даже многие металлические вещества, стали бы расширяться, превратились в воздухообразные жидкости и сделались частью атмосферы. Эти новые воздухообразные жидкости смешались бы с теми, какие уже были прежде; от этого произошли бы взаимные разложения, новые соединения... Можно вести эти рассуждения еще далее и рассмотреть, что случилось бы по нашей гипотезе с камнями, солями и большей частью плавких веществ, составляющих земной шар: понятно, что они должны бы были размягчиться, расплавиться и обратиться в жидкости . .

„Если бы, напротив, земля внезапно перенеслась в область весьма холодную, например в область Юпитера или Сатурна; тогда и вода, ныне образующая наши реки и моря, и, вероятно, большая часть знакомых нам жидкостей обратились бы в твердые горы и утесы, сперва они были бы прозрачны, однородны и белы, как горный хрусталь, но со временем, от смешения с различными веществами сделались бы непрозрачными камнями различных цветов.

„В этом предположении, воздух (или по крайней мере часть воздухообразных веществ, из которых он составлен) без сомнения перестал бы существовать в состоянии невидимой жидкости, за недостатком надлежащей степени тепла; он обратился бы поэтому в жидкое состояние, и эта перемена дала бы начало новым жидкостям, о которых мы не имеем никакого понятия“ *.

С этих пор открытие того или другого газа уже не имеет того значения, какое имело прежде. Важно открыть новое *вещество*; будет ли оно при обыкновенных условиях газом или нет, это не существенно. Наука, так сказать, привыкла к газам, окончательно дала им право гражданства в ряду веществ. Мало того, в лице Лавуазье она сказала, что газообразность не есть существенное, отличительное свойство только некоторых тел. *Все* вещества могут быть газами, все

* Lavoisier, *Vues générales sur la formation et la constitution de l'atmosphère de la terre* (*Oeuvres*, II, p. 804) *Traité élémentaire de Chimie*, 1789, part. I, ch. II (*Oeuvres*, I, p. 32).

газы могут быть обращены в жидкое и твердое состояние. К этому широкому выводу, закрепленному работами Фарадея и позднейших физиков, мы еще раз вернемся, говоря о парах и их отношении к жидкостям и газам*.

III

Наблюдения над физическими свойствами воздуха начнутся, без сомнения, с глубокой древности. Процесс дыхания, ощущение ветра были близки человеку на самых первых стадиях его развития. В сохранившихся отрывках древнейших философов Греции мы видим уже довольно отчетливые сведения о воздухе.

Первый признак вещества — его непроницаемость. В случае воздуха подметить этот признак уже не совсем легко. Лишь при довольно сильном движении воздух непосредственно действует на наше осязание; он до того уступчив, до того удобоподвижен, что слово „непроницаемость“ едва мирится в нашем уме с представлением о воздухе.

И теперь еще доказывают непроницаемость воздуха опытом, хорошо известным уже Эмпедоклу (V в. до Р. Х.) и, конечно, много ранее. Это — опыт с трубкой, открытой с обоих концов и погружаемой одним концом в сосуд с водой. Если перед погружением мы зажали верхнее отверстие рукой, то вода не войдет в трубку, ее не допустит воздух; отняв руку, мы дадим воздуху выход, и вода поднимется. Такой

* Прибавим два слова об открытии других веществ, при обыкновенных условиях являющихся в газообразной форме. Весьма многие из сложных газов открыты Пристлеем. Таковы окись углерода и сернистая кислота, смутно известные уже древним как мофеты или вредные испарения горящего угля и горящей серы; закись азота, в которой впоследствии Хомфри Деви открыл опьяняющее свойство („увеселяющий газ“) Аммиак и соляная кислота, в виде отдельных газов, получены также Пристлеем. Хлор, давно известный как пахучее испарение царской водки, был получен в отдельном виде знаменитым Шееле, который считал его дефлогистированной соляной кислотой; Деви признал его простым телом и дал ему имя (*χλωρός*, зелено-желтый).

Светильный газ есть смесь газообразных продуктов, получаемых при накаливании каменного угля, дерева или нефти; существенную часть его составляют углеводороды (преимущественно так называемый болотный газ), водород и окись углерода. Употребление светильного газа ввели Мордок (*Murdoch*) в Англии (1792 г.) и Лебон (*Lebon*) во Франции (1799 г.)

опыт делает у Эмпедокла ребенок, играя клепсидрой: клепсидра (водяные часы, род двух воронок, слившихся узкими отверстиями) служит вместо нашей трубки *. Точнее говоря, опыт доказывает нам, что воздух *сопротивляется сжиманию*. Анаксагор и его школа также доказывали материальность воздуха опытами с клепсидрой, сверх того — тем сопротивлением, какое обнаруживает при сжимании надутый пузырь **.

Совершенная удобоподвижность частей воздуха и, как следствие ее, способность укладываться во всякую форму (в форму сосуда) известны человеку с древнейших времен. Это — свойство, общее не только газам, но и жидкостям (*liquida*), как вода, ртуть, масло. Обе категории тел мы сводим поэтому в один класс под общим именем *жидкостей* (*fluida*) или тел текучих, в противоположность телам твердым, которые меняют форму только от действия значительных внешних сил. Идеальной жидкостью мы считаем такую, которая не оказывает ни малейшего сопротивления изменению формы, никакого трения между частицами.

Нельзя проследить, кто первый причислил воздух к жидкостям в этом обширном смысле слова. Слово *течь* (*fluere*) в применении к воздуху наравне с водой встречается у древних весьма часто. Крайнюю удобоподвижность, как характеристическое свойство воздуха, отметил, как мы знаем, уже Анаксимен. Но сознательнее и строже сближение собственно жидкостей и газов в одну категорию тел (*fluida*) проведено в научном языке уже в новое время.

Крайняя легкость воздуха в обыкновенных условиях, способность его течь не только вниз, но и вверх были причиной, что долго считали его не имеющим веса. Окруженные со всех сторон атмосферой, мы совсем не чувствуем ее тяжести, и нужна особенная проницательность, чтобы признать воздух телом тяжелым.

Учение о телах абсолютно легких и абсолютно тяжелых развито Аристотелем (*De coelo*); но он признает абсолютно легким только огонь (всегда стремящийся кверху), абсолютно тяжелой — только землю. Каждая из четырех стихий

* Mullachii *Fragmenta philos graec*, I, p 11 (Emped, vv 343—367)

** Anaxagoras et alii. . demonstrant enim aërem esse aliquid, ut res torquendo, et ostendendo quanta sit vis aeris, eumque in clepsydriis interceptiendo (Aristot *Opera*, Natur. Auscult, lib. IV, cap VI (VIII); ed. Didot, II (1850), p. 292)

Аристотеля имеет *свое место*: огонь вверху, за ним воздух, вода, и в самом низу — земля. „В своем месте каждое тело, кроме огня, имеет тяжесть, даже самый воздух. Это видно из того, что надутый пузырь весит больше, чем пустой“ *.

Уже Эпикур видел обманчивость заключения об абсолютной легкости огня. То же замечание делает впоследствии Лукреций, утверждая, что „нечто телесное не может собственной силой подниматься вверх“ **. Тем не менее сбивчивые понятия Аристотеля о тяжести и легкости были в большом ходу до новейших времен, перетолкованные многочисленными комментариями; идея о положительной легкости встречается еще в 1755 г. ***. Опыт Аристотеля с пузырем (как увидим, несколько сомнительный) был забыт, и тяжесть воздуха пришлось неоднократно открывать снова.

Отличительная черта воздуха и вообще газов от собственно жидкостей (*liquida*) есть способность *сжиматься* и *разрезаться*, т. е. занимать больший или меньший объем, смотря по внешним условиям. Жидкости в тесном смысле слова (как вода и пр.), напротив, изменяют плотность только при значительных внешних усилиях, почему и называются *несжимаемыми*. Что воздух бывает то реже, то плотнее — это, как мы видели, было известно уже Анаксимену, и, конечно, раньше его. Сжатием и разрежением воздуха в связи с его подвижностью Аристотель довольно метко объясняет распространение звука ****.

Основатель механики Архимед (287—212 до Р. Х.) своими исследованиями о жидкостях (в тесном смысле слова) подготовил рождение пневматики (механики газов). Она возникла в Александрийской школе. Ктезибий Александрийский, величайший механик древности после Архимеда (II в. до Р. Х.), считавшийся творцом пневматики *****, обнаруживает обширные

* *Suo enim in loco gravitatem habent omnia, praeter ignem, etiam ipse aër. Signum hujus est, utrem inflatum plus ponderis quam vacuum habere (De coelo, lib. IV, cap IV, Opera, II, p. 429.)*

** *nullam rem posse sua vi*

Corpoream sursum ferri, sursum que meare etc (Lucretii De rerum natura, lib II, v. 184 sq)

*** *Lewes, Aristotle, 1864, p 137*

**** *De audibilibus, Opera, II, p. 655*

***** *Qui etiam spiritales pneumaticasque res invenit, Vitruvii, D' architectura, lib. IX, cap. VIII (IX)*

сведения о свойствах воздуха. Он изобрел толкающий воляной насос, весьма близкий по описанию Витрувия к нашей пожарной трубе: два цилиндра (*modioli gemelli*) попеременно бросывали воду в сосуд, откуда давлением воздуха она поднималась через трубку на большую высоту *. По свидетельству Филона Ктезибий устроил род воздушного ружья или пушки (*saturpta aërotopa*), которая выбрасывала камень действием воздуха, предварительно сгущенного насосом **. Наконец, Ктезибию приписывается изобретение музыкального органа, который действовал водой и воздухом ***.

Современник и ученик Ктезибия, Герон, в своем трактате о пневматике ****, описывает множество остроумных снарядов, основанных на действии воздуха: насосы, сифоны, волшебные лейки, фонтаны, водяные органы, колесо,двигаемое нагретым воздухом, и т. д.; некоторые из них до сих пор описываются в учебниках физики; одни имеют полезное назначение, другие служат для забавы.

Чтобы объяснить сжимаемость тел, Герон допускает пустоту в промежутках между частицами (*vacuum disseminatum*); но „накопление пустоты“ на заметном пространстве (*vacuum coacervatum*) противно природе и может быть достигнуто только с большим усилием *****. Отсюда он объясняет те явления, которые, как мы знаем, обуславливаются давлением воздуха: всасывание, действие насосов и т. п. Погружая конец трубки в воду и всасывая воздух ртом через другой конец, мы разрежаем воздух, и вода поднимается в трубке для того, чтобы не было „накопления пустоты“. На том же начале основан подъем воды в насосах

Здесь мы видим знаменитое учение о „боязни пустоты“ в природе, ведущее начало от Аристотеля. Об этом учении, играющем важную роль в эпоху возрождения физики, мы распространимся впоследствии Герон, как видим, не считал образование пустоты абсолютно невозможным Он даже описывает снаряд, в котором посредством всасывания образуется

* *Ibid.*, cap VII (XII), De Ctesibicâ machinâ, quae altissime extollit aquam

** *Veterum Mathematicorum opera*, Parisiis 1693, p 77.

*** *Vitruvii De arch*, lib X, cap. VIII (XIII)

**** *Heronis Alexandrini, Spiritalia* (Πνευματικά), *Veter Mathem*, pp. 145—232.

***** *Vacuum quidem coacervatum naturâ non esse non accedente aliquâ vi.* (*Ibid.*, p 152)

„великое скопление пустоты“ *, — род первобытного воздушного насоса.

Ясной идеи об упругости воздуха, о давлении атмосферы, повидимому, не было у древних. Опыты, которых отчетливое объяснение основано на этой идее, говорили им только о вещественности воздуха и о невозможности пустоты. По словам Аристотеля уже Анаксимен, Анаксагор и Демокрит знали, что „сжатый воздух может выносить большой груз“ ** Но из этого наблюдения не вывели дальнейших следствий.

Вот в главных чертах, что завещали нам древние греки относительно физических свойств воздуха. Эти сведения не потерялись и у римлян начала нашей эры Так Сенека говорит о тяжести воздуха *** и знает, что воздух тем плотнее, чем ближе к земле **** Витрувий описывает различные пневматические машины, и благодаря отчасти ему мы знакомы с изобретениями Ктезибия.

Прибавим, что древние довольно точно объясняли себе участие воздуха в распространении звука. Мы уже упоминали об идеях Аристотеля; между прочим он объясняет эхо тем, что воздух отражается, как мячик (*gursus repellitur aër, ut pila*) *****. Еще определительнее объясняет распространение звука Витрувий: он сравнивает воздушные движения с кругами волн, образующимися на поверхности воды, когда бросим в нее камень; различие в том, что эти волны движутся по плоскости, тогда как звук (*vox*) расходится и в ширину и в высоту *****

Схоластика средних веков не только не развила далее зачатков пневматики, но заставила забыть и то, что было усвоено древними. В физике, как и в астрономии, возобновителям знания пришлось вновь открывать затерянное или отвергнутое, при сильном сопротивлении со стороны схоластиков и богословов.

* *Ex hoc perspicue ostenditur magnam vacui coacervationem in sphaerâ factam esse (Ibid, p 150)*

** *Posse vero aerem pondus magnum, si comprehendatur, ferre, compluribus signis ostendunt. (De coelo, lib. II, cap, XIII, Opera, II, p 405)*

*** *Ex his (evaporationibus) gravitatem aëris fieri (Quaestionum naturalium, lib V, cap. V)*

**** *Omnis aer quo propior est terris, hoc crassior. (Ibid, lib IV, cap X.)*

***** *Aristotle, De animâ, lib. II, cap VIII (Opera, III, p. 454).*

***** *Vitruvii De archit, lib. V, cap. III.*

В этот обширный период застоя (stationary period Юэла) мы встречаем развитие физических знаний только у арабов. Как в астрономии и химии, так и в физике заслуги их не маловажны. Нам следует назвать преимущественно Альхазена (Абу-Али-Альхазен-Бен-Альхазен). Он жил в XI веке, по-видимому, частью в Испании, частью в Египте, — некоторое время при дворе халифа, а в конце жизни в крайней бедности.

Альхазен имел замечательно ясные понятия о тяжести и упругости воздуха. Ему известно, что плотность воздуха уменьшается с повышением над поверхностью земли*. Из этого факта он выводит *атмосферное преломление* лучей света**. Луч солнца или другого светила, косвенно входящий в атмосферу, не остается прямолинейным, а идет по кривой линии, вогнутой к земле. Так как мы видим светило по тому направлению, по какому луч достигает нашего глаза, то оно представляется нам выше над горизонтом, чем в действительности. Отсюда же следует, говорит Альхазен, что мы видим солнце, луну и звезды несколько ранее, чем они взошли и некоторое время после того, как они закатились. Тому же атмосферному преломлению он приписывает кажущееся сокращение вертикального диаметра солнца и луны, когда они на горизонте. Преломление света в атмосфере укорачивает ночь; из отражения света воздухом Альхазен объясняет явление сумерек или зари, того полусвета, который предшествует восходу солнца и сопровождает его закат. Из продолжительности сумерек он выводит высоту атмосферы (52 000 шагов).

„Все это весьма грандиозно, — замечает Дрепер. — Все это, сообщенное в первый раз, произвело бы глубокое впечатление даже в ученом обществе нашего времени“***. Мало того. В „Книге о весах мудрости“ (гидростатических весах), переведенной Н. В. Ханьковым****, Альхазен ясно высказывает, что возрастающая книзу плотность атмосферы

* В этом сомневается Поггендорф. (Poggendorff, *Geschichte der Physik*, 1879, p. 75.)

** Первоначальная идея об этом явлении была еще у Архимеда и Птолемея. (Montucla, *Histoire des mathematiques*, I, p. 312; Libri, *Histoire des sciences math en Italie*, I, p. 36)

*** Draper, II, p. 47.

**** *Journal of the American Oriental Society*, vol VI (1859) Я не мог достать этой книги и сообщаю о ней по Дреперу (II, p. 47)

есть следствие веса воздуха. Автор показывает, что вес какого-либо тела будет различен в разреженном и сгущенном воздухе и что потеря в весе будет тем больше, чем больше плотность воздуха. Если даже эта книга принадлежит не тому, кто писал об атмосферном преломлении, она говорит нам о необыкновенной ясности механических представлений у арабов того времени, она свидетельствует, что учение о весе и давлении атмосферы было понято пятьсот лет ранее Торричелли!

Возрождение физики в Европе можно считать уже с эпохи знаменитого Леонардо да-Винчи (1452—1519), которого познания, по выражению историка Халлама, были „почти сверхестественны“ (almost preternatural). По свидетельству Либри, в манускриптах Леонардо таится множество здравых мыслей по разным физическим вопросам, зачатки открытий, сделанных гораздо позже. „Он наблюдал сопротивление, сгущение и вес воздуха и объяснял отсюда поднятие легких тел в атмосфере и образование облаков“^{*}; знал, что воздух тем плотнее, чем ближе к земле или воде^{**}; изобрел вертел, приводимый в движение восходящим потоком нагретого и разреженного воздуха.

Далее упомянем о непосредственных предшественниках Галилея — о Кардано, Бенедетти и Стевине. Бенедетти (умер в 1590 г.) критикует Аристотелево отрицание пустоты и замечает, что опыт взвешивания пузыря с воздухом, приводимый у Аристотеля, толкуется неправильно: изменение веса пузыря может быть заметно лишь в том случае, когда воздух в нем сгущен или разрежен сравнительно с окружающим; в противном случае пузырь весит одинаково, будет ли он смят или раздут. Бенедетти довольно ясно говорит и об упругости воздуха^{***}. Кардано (умер в 1576 г.) заключает, что воздух в 50 раз тяжелее воды^{***}.

Голландец Симон Стевин (1548—1620), впервые после Архимеда двинувший вперед механику жидкостей, сообщает

* Libri, *Histoire des sciences mathématiques en Italie*, III, p 43 sq По словам Либри, Леонардо были известны капиллярные явления, диффракция света, камера-обскура и пр

** Quanto l'aria fia più vicina all'acqua o alla terra, tanto si fa più grossa (*Ibid*, p 43)

*** Libri, III, p 126

** * *Ibid*, p 175

любопытные замечания и о воздухе (1608 г.). „Видно, что он имел понятия о действии воздуха, гяжесть которого была ему известна Он знал о давлении, производимом воздухом на погруженные в него тела и о сопротивлении воздуха падению тяжелых тел; он указывает на то, что следует различать вес тела в воздухе и в пустоте“. К сожалению, обещанные Стевином „Прибавления к статике“, где должны были подробнее обсуждаться вопросы о воздухе, не были изданы*.

Но все эти труды были лишь разрозненными предвестниками более деятельной эпохи; затронутые ими вопросы лишь много позже выступили на сцену во всей силе и произвели переворот в науке. Предстояло еще раз открыть истины, неоднократно высказанные, — на этот раз открыть и утвердить в науке окончательно.

Великое движение в области физики, истинное возрождение этой науки начинается трудами Галилея (1564—1643). Галилей дает лишь первый толчок занимающему нас вопросу. Вслед за ним, в тесный промежуток времени около середины XVII века, Торричелли, Паскаль, Гверике, Бойль открывают важнейшие свойства воздуха путем, столь мало знакомым древности, — путем научного опыта. Их исследования произведены между 1643 и 1662 годами.

Эти годы, не только по цифре, но и по духу, стоят как раз на перепутьи между Лютером и великой революцией 1789 г. В Италии папство, раздраженное реформацией, ревнивей чем когда-либо стояло за свой потрясенный авторитет и налагало veto на новые идеи**; но дух века брал свое, и уже в 1657 г. возникла именно в Италии первая замечательная академия точных знаний, флорентинская *Accademia del Cimento*. Германия оканчивала тридцатилетнюю войну, которая закрепила для нее новый склад жизни, вне католицизма, на первых порах благоприятный развитию знания***. Франция колебалась между старыми традициями

* Quetelet, *Histoire des sciences math. et phys. chez les Belges*, 1864, p. 152 sq.

** В 1559 г. учреждение духовной цензуры (*congregatio indicis expurgatorii*) папой Павлом IV; в 1600 г. сожжен Джордано Бруно за отступничество; в 1632 г. — процесс Галилея

*** „Wir sind jetzt in der Morgenröthe des künftigen Lebens, denn wir fahen wiederum an zu erlangen die Erkenntniss der Creaturen,

и новыми веяниями она уже видела эпоху Генриха IV и эпоху Ришелье, реформатор философии Декарт (умер в 1650 г.) уже сказал свое слово; а впереди страну еще ожидал век Людовика XIV. В Англии уже созрела революция „смелый скептический дух изыскания и реформы овладевал гремя великими областями — теологии, знания и политики“*. Эта разница в состоянии передовых стран Европы отражается в истории Галилея, Гверике, Паскаля, Бойля.

Жизнь Галилея, его великие открытия, его борьба с папством за систему Коперника достаточно известны всякому. Мы не коснемся их, тем более, что в истории физических свойств воздуха прямое участие Галилея ограничивается немногим.

Галилей доказывает *тяжесть* воздуха опытом, подобным тому, на который намекает уже Аристотель. Галилей берет склянку с клапаном в отверстии и, с помощью обыкновенной шприцовки, сгущает в ней воздух; взвешивая склянку, он находит, что она стала тяжелее**. Он предлагает и другой опыт: сосуд с воздухом взвешивается, потом воздух выгоняется из него посредством нагревания и склянка запаивается; от теплоты воздух расширяется и большая часть его выходит из сосуда в атмосферу. Взвешивая склянку с воздухом, без воздуха и с водой, определим, во сколько раз воздух легче воды***. (По оценке Галилея в 400 раз****, истинная цифра около 770.)

Это был важный шаг, но Галилей не вывел ближайших следствий найденного им факта, не развил мысли об *атмосферном давлении*, как следствии веса воздуха, не приложил ее к объяснению процесса всасывания, действия водяного насоса и пр. Одно из таких явлений, с особенностью, неизвестной древним, вскоре представилось вниманию Галилея; но было правильно истолковано лишь его учениками.

Всасывая ртом воду посредством трубки, мы вбираем в себя часть воздуха, заключенного в трубке; остающийся

die wir verloren haben durch Adams Fall“ . (слова Лютера, в Carriere, *Die philosophische Weltanschauung der Reformationszeit*, 1841, p 125)

* Buckle, *History of Civilization in England*, ed. 1873, I, p 388

** Galilei, Discorsi e dimostrazione matematiche intorno a due nuove scienze, Leida 1638 (*Opere*, Firenze, 1842—1856, XIII, p. 81)

*** Galilei, *Opere*, XIV, p. 338 (pensieri varj).

**** *Ibid*, XIII, p 82.

в ней воздух *разрежается*, занимает больший объем; от такого разрежения он слабее *давит* на воду, чем давит на нее атмосфера вне трубки; этим избытком атмосферного давления вода вгоняется в трубку выше внешнего уровня и доходит до наших губ.

Почти так же действует так называемый всасывающий насос. Трубка с плотно ходящим в ней поршнем погружается нижним концом в воду. Поднимая поршень, мы разрежаем воздух над водой в трубке, и вода поднимается*.

Эти факты всасывания ртом и насосом были, как мы знаем, известны древним; но простое объяснение этих явлений было одним из величайших открытий в новой физике.

Толкователи Аристотеля, так долго служившего единственной пищей европейской философии, объясняли явление всасывания особым принципом: природа не терпит или избегает пустоты (*horror vacui, fuga vacui*). Подняв поршень насоса (сперва, положим, лежавший на самой воде), мы получили бы пустое пространство над водой, если бы вода не поднялась; вода поднимается для того, чтобы занять эту пустоту, не допустить ее возникновения.

Аристотель не допускал возможности пустоты в природе. Его доводы опираются в конце концов на самом определении, какое он дает пространству: пространство — не что иное, как граница окружающего тела относительно окружаемого: „пустое пространство“ было бы абсурдом, так как здесь „окружающее“ *ничего* не окружает**.

К метафизическим соображениям „непогрешимого“ учителя присоединились аргументы богословские: существо-

* Чтобы продолжать операцию и поднимать воду выше и выше, внизу трубки делается клапан, отворяющийся вверх: он не мешает воде подниматься, но мешает ей возвращаться вниз. В поршне тоже клапан, открывающийся вверх. После первого поднятия поршня, мы можем опустить его: вода не утечет вниз, а будет проникать в пространство над поршнем. При вторичном подъеме поршня новая порция воды взойдет снизу, и т. д. Сверху воздух не может проникать в трубку, ибо задерживается клапаном поршня.

** Zeller, *Philosophie der Griechen* [Bd. II, Abth. II, p. 300 (1862)]. Вопрос о пустоте занимает три главы в физике Аристотеля (*Natur. Auscult.*, lib. IV, сарр. 7—9). Юэл резюмирует их так: „В пустоте не может быть различия между верхом и низом; ибо в *лишении* или *отрицании*, как в *ничто*, не может быть никаких различий; пустота же есть только лишение или отрицание материи. Поэтому в пустоте тела не могли бы двигаться вверх и вниз, как свойственно им по их природе“ (Whewell, *History of the Inductive*

вание пустоты считали несовместным с вездесущим божием*.

Замечательно, что Декарт, так сильно содействовавший ниспровержению веры в Аристотеля, приближается к нему по вопросу о пустоте. По Декарту пространство без вещества немыслимо. Если бы существовала пустота, она имела бы все свойства тела — протяженность, делимость и т. д., т. е. она была бы настоящим телом**. „Если спросят, говорит Декарт, что случилось бы, если бы бог извлек всякое тело из какого-либо сосуда и не позволил другому телу стать на место вынутого, — отвечаем: стенки сосуда через это самое сделались бы смежными между собой. Ибо если ничто не лежит между двумя телами, необходимо, чтобы они взаимно касались; очевидная нелепость думать, что между ними есть расстояние и между тем это расстояние — ничто. Ибо всякое расстояние есть вид протяжения и потому невозможно без протяженного вещества“***.

История открытия *безвоздушного пространства* до сих пор передается в учебниках физики. Устроенный во Фло-

Sciences, I, p. 44). Гверике, о полемике которого в пользу пустоты нам скоро придется говорить, передает сущность аргументов Аристотеля в такой форме: „*Quod non est causa ullius effectus in naturâ, non est ponendum a philosopho esse in naturâ. Vacuum non est causa ullius effectus in naturâ. Ergo, vacuum non est ponendum*“. (Философ не должен допускать в природе того, что не может быть причиной какого-либо действия; пустота не есть причина какого-либо действия в природе; следовательно, ее не должно допускать.) *Exper. nova de vacuo spatio*, p. 57.

* Образцы рассуждений в этом роде см. у Гверике (*Exper. nova*, pp. 63—65). Так, иезуит Кирхер находит, что „*Deus... omne spatium vacuum et inane... suâ substantiâ et praesentiâ implet, ab eodem omne exterminans nihil*“. (Всякое пустое пространство бог наполняет своею сущностью и присутствием, устраняя всякое ничто.) На что Гверике возражает: „*Quomodo Deus suâ substantiâ potest implere id quod non est*“. (Как может бог наполнять своей сущностью то, чего нет?)

** *Oeuvres de Descartes*, éd V. Cousin, X, pp. 144, 163 (переписка).

*** *Si quaeratur, quid fiet, si Deus auferat omne corpus quod in aliquo vase continetur, et nullum aliud in ablati locum venire permittat? Respondendum est: Vasis latera sibi invicem hoc ipso fore contigua. Cum enim inter duo corpora nihil interjaceat, necesse est, ut se mutuo tangant, ac manifeste repugnat, ut distent, sive ut inter ipsa sit distantia, et tamen ista distantia sit nihil; quia omnis distantia est modus extensionis, et ideo sine substantiâ extensâ esse non potest. (*Principia philos.*, Pars. II, pr. 18.)*

ренции длинный насос, в котором вода не поднялась выше 18 локтей (*braccia*), т. е. приблизительно 10 метров, как бы отказываясь заместить *всю* пустоту, был поводом к истинному объяснению действия насосов. Галилей пытался объяснить неудачу длинного насоса тем, что поднявшийся столб воды, при известной длине, наконец, оторвется от поршня вследствие собственного веса, как отрывается слишком длинный прут, прикрепленный сверху. Галилей замечает, что другая жидкость на месте воды оторвалась бы при другой высоте столба, смотря по плотности жидкости*.

Двое из учеников Галилея яснее взглянули на дело. В любопытном письме к Галилею (1630 г.) Джан-Батиста Балиани, не удовлетворяясь только что приведенным рассуждением, впервые выражает связь явления с фактом *веса атмосферы*.

„Я уже не разделяю обычного мнения, будто нельзя получить пустоты (*che non si dia vuoto*), пишет Балиани, . . . Я стал верить в возможность пустоты, когда нашел, что воздух имеет заметный вес и когда вы научили меня в одном из ваших писем, каким образом можно точно найти этот вес; хотя мне до сих пор не удалось сделать опыта. Тогда у меня образовалась такая мысль. Несправедливо думают будто бы противно природе вещей получить пустоту, но получить ее трудно; нельзя достичь и этого без большого насилия (*violenza*) и можно найти, как велико должно быть это насилие. . . . Чтобы лучше объяснить мою мысль, замечу, что если воздух тяжел, то разница между воздухом и водой — чисто количественная (*nel più e nel meno*), и потому лучше говорить о воде, вес которой значительнее, ибо то же самое придется потом приложить к воздуху.

„Итак я воображаю себя на дне моря, где глубина воды десять тысяч футов; если бы не потребность дышать, то думаю, я стоял бы, хотя и чувствовал бы себя более сдавленным со всех сторон, чем теперь. . . . От этого давления извне, я не ощущал бы другой тягости (*travaglio*) и не более чувствовал бы вес воды, чем при летнем купаньи в море, когда, погружаясь в воду, имею над головой десять футов

* Galilei, *Discorsi*, giornata I, рассказ Сарпедо (*Opere*, XIII, p. 20—21). Либри (IV, p. 270) и Поггендорф (*Geschichte d. Physik*, p. 252) думают, что анекдот о длинном насосе и о недоумении Галилея пущен в ход Паскалем, но приведенное место у Галилея могло дать повод к этой легенде.

воды и не ощущаю ее веса. Но если бы я не был окружен водой, которая давит со всех сторон, а был бы — не скажу в пустоте, но в воздухе, и над головой у меня была бы вода, тогда бы я ощущал ее вес и не мог бы выдерживать его, не имея соразмерной силы. Таким образом, хотя при насильственном отделении верхних частей воды от нижних не оставалась бы пустота, а входил воздух, во всяком случае нужна была бы сила для такого разделения, но сила не бесконечная, а определенная, и тем бóльшая, чем больше глубина воды, под которой я стою. Несомненно, что стоящий на дне 10 000 футов воды считал бы невозможным сделать сказанное разделение какой бы то ни было силой... и между тем очевидно, что это не в самом деле невозможно, но затруднительно по неимению силы, достаточной, чтобы разделить воду.

„То же самое, я думаю, бывает с нами в воздухе: будучи на дне неизмеримой атмосферы, мы не чувствуем ни ее веса, ни ее давления со всех сторон... Но если бы мы были в пустоте, то ощущали бы вес воздуха, лежащего над головой, — вес, полагаю, весьма большой. Ибо, хотя я думаю, что чем выше воздух, тем он легче, все-таки неизмеримость его такова, что как бы мало он ни весил, вес всего лежащего сверху воздуха оказался бы очень большим, хотя не бесконечным, а определенным; соразмерной силой можно преодолеть его и, следовательно, произвести пустоту. Чтобы найти величину этой силы, следовало бы знать высоту воздуха и вес его на всех высотах. Как бы то ни было, я думаю, что для получения пустоты потребовалась бы сила более той, какую может оказать вода в канале не длиннее 80 футов“*.

Балиани ограничился размышлениями; другой ученик Галилея, Торричелли, проверил размышления решительным опытом. Но прежде, чем говорить о нем, коснемся притязаний Декарта на открытие давления атмосферы.

В одном из писем Декарта за 1631 г., с небольшим полгоду спустя после приведенного нами письма Балиани к Галилею, ясно высказывается мысль о давлении воздуха, как причине подъема ртути в трубке, сверху закрытой**. Отрицание абсолютной высоты, признание эфира, или *matière subtile*, наполняющего все промежутки между ча-

* *Opere di Galilei*, IX (lettere a Galileo), pp. 211—213.

** *Descartes, Oeuvres*, éd. Cousin, VI, p. 204.

стицами тел, не мешают Декарту правильно толковать явления. В другом письме (1638 г.) он говорит: „В сосудах с проколотым дном (*vaisseaux percés*), употребляемых для орошения садов, вода держится не из боязни пустоты, ибо... тонкое вещество (*matière subtile*) легко могло бы войти на ее место, — но по причине тяжести воздуха: если бы вода вышла, на ее место в сосуд вошло бы только тонкое вещество, она должна была бы приподнять всю массу (*corps*) воздуха до самой верхней его поверхности“*. Впрочем, в том же году, критикуя только что вышедшие „Разговоры“ Галилея, Декарт довольно нерешительно относится к опыту с длинным насосом. „Наблюдение, что насосы не поднимают воду выше 18 локтей, не следует объяснять пустотой; дело зависит либо от вещества насосов, либо от вещества самой воды, которая вытекает между насосом и трубой, не поднимаясь выше, либо даже от тяжести воды, уравнивающей тяжесть воздуха“**.

Как бы то ни было, письма Декарта, опубликованные много позже, стояли в стороне от той разработки вопроса, которая деятельно поднялась в Италии и завершилась опытом Торричелли.

Еванджелиста Торричелли (1608—1647), помня, что воздух тяжел, заключает, что атмосфера должна производить давление на окружаемые ею тела. Если устраним атмосферное давление на некоторой части поверхности воды, то вода должна подняться в этом месте от напора атмосферы на окружающую воду. При всасывании ртом или насосом, мы именно удаляем воздух из трубки и, следовательно, устраняем его давление; вода поднимается, но лишь до тех пор, пока поднявшийся столб воды не будет достаточно высок, чтобы заменить своим весом устраненное давление — уравновесить напор атмосферы. С этих пор подъем воды прекращается, и над столбом воды останется пустота.

Если вместо воды станем всасывать ртуть, которая тяжелее воды в $13\frac{1}{2}$ раз, то высота жидкого столба должна быть в $13\frac{1}{2}$ раз меньше, чтобы оказать то же действие, как в случае воды, т. е. заменить собой столб атмосферы. Вот знаменитый опыт, который по мысли Тор-

* *Ibid.*, VIII, p. 36.

** *Ibid.*, VII, p. 436.

ричелли был выполнен впервые другом его Вивиани в 1643 г. Взяв длинную стеклянную трубку, закрытую с одного конца, Вивиани наполнил всю ее ртутью и поставил вертикально в сосуде со ртутью же, открытым концом вниз. (При установке этот открытый конец зажимался пальцем, пока не погрузился во ртуть.) Ртуть опустилась с верхнего (закрытого) конца трубки и остановилась на высоте около $1\frac{1}{4}$ локтя (около $\frac{3}{4}$ метра, или 29 дюймов), считая от уровня ртути в сосуде. Эта высота составляет приблизительно $\frac{1}{13.5}$ долю от 18 локтей.

Так оправдалась догадка Торричелли, так явился на свет первый *барометр* (измеритель тяжести воздуха). Пространство над столбом ртути в трубке Торричелли названо Торричеллиевой пустотой.

Вместо трубки и отдельного сосуда стали потом брать одну трубку, перегнутую в два неравные колена (сифон), из которых длинное запаяно. Наполняя сифон ртутью и повернув запаянным концом вверх, получим прежний опыт: ртуть в длинном колене будет выше, чем в коротком, на $\frac{3}{4}$ метра.

Торричелли вскоре заметил, что высота ртути в его снаряде несколько изменяется с течением времени. В одном из своих писем (1644 г.) он замечает, что устроил свой снаряд не только для получения пустоты, но и для наблюдений над состоянием воздуха, который порой тяжелее, порой легче*. Смерть положила предел его дальнейшим исследованиям.

Опыт Торричелли стал предметом горячих споров. Аргументы всякого рода посыпались в защиту прежних взглядов; в пустоту не хотели верить. „Одни говорили, что верх трубки наполнен парами (*esprits*) ртути, другие — незаметной долей разреженного воздуха, третьи — каким-то веществом, существовавшим только в их воображении“**.

Беда не в том, что отрицали *абсолютную* пустоту, но в том, — по каким доводам. Новая физика также наполняет

* Torricelli, *Lezioni accademiche*, Firenze 1715, Prefaz., p. XXVII.

** Les uns dirent que le haut de la sarbacane étoit plein des esprits du mercure; d'autres, d'un grain imperceptible d'air rarifié; d'autres, d'une matière qui ne subsistoit que dans leur imagination: et tous conspirant à bannir le vuide, exerçant à l'envi cette puissance de l'esprit, qu'on nomme subtilité dans les écoles, et qui, pour solution des difficultés veritables, ne donne que de vaines paroles sans fondement. (Nouvelles expériences touchant le Vuide, 1647; *Oeuvres de Pascal*, éd. 1779, t. 4.)

безвоздушное пространство *эфиром*, чтобы объяснить распространение света. Так понимал дело Декарт: его *matière subtile* соответствует нашему эфиру. Вообще во времена Торричелли распространение света в пустоте было указано и слово „эфир“ (иногда, как „очищенный воздух“) было произнесено*; но физический довод, не могший иметь большой силы за несовершенством теории света и незнанием состава воздуха, терялся в массе соображений чисто метафизических. Считали противным логике допустить существование „пространства, которое не есть ни Бог, ни творение, ни тело, ни дух, ни субстанция, ни акцидент, — которое пропускает свет, не будучи прозрачным, сопротивляется без сопротивления, неподвижно и переносится вместе с трубкой, которое везде и нигде, делает все это и не делает ничего“**.

Одним из первых, взявшихся за развитие идеи Торричелли, был Блез Паскаль (1623—1662), который, несмотря на раннюю кончину, успел прославиться как физик и как философ. Паскаль много трудился над уяснением законов равновесия жидкостей, открытых Архимедом и Стевином, и применением этих законов к газам. Узнав об опыте Торричелли, он описал в 1647 г. ряд разнообразных опытов, основанных на мысли о воздушном давлении, и старался доказать, что пустота Торричелли „не наполнена ни одним из известных веществ природы, подлежащих нашим чувствам“***. Но самый блестящий из опытов Паскаля сделан в 1648 г.****

* Noël, *Le Plein du Vuide*, 1648. (Перепечатано вместе с возражениями Паскаля в *Oeuvres de Pascal*, t. 4.)

** ...espace qui n'est ni Dieu, ni créature, ni corps, ni esprit, ni substance, ni accident, qui transmet la lumière sans être transparent, qui résiste sans résistance, qui est immobile et se transporte avec le tube, qui est par-tout et nulle part, qui fait tout et ne fait rien. (Lettre du P. Noël à M. Pascal, *Oeuvres de Pascal*, t. 4.)

*** Pascal, *Nouvelles expériences touchant le Vuide*, 1647. „Que l'espace vuide en apparence, n'est rempli d'aucune des matières qui sont connues dans la nature, et qui tombent sous aucun des sens“.

В брошюре описаны опыты с водяным барометром (наклоняя трубку так, чтобы вертикальная высота была не более 32 французских фут., увидим, что вся пустота заместится водой), опыты с длинным сифоном (вопреки мнению Герона, сифон гереставал действовать, если вертикальная высота его над водой была больше 32 футов, но действовал при достаточном наклоне) и др.

**** Может быть, по внушению Декарта, которому отрицание абсолютной пустоты не мешало усвоить идею об атмосферном

Если вес атмосферы есть причина поднятия ртути в барометре, то с уменьшением этого веса должна уменьшиться высота ртутного столба. На вершине горы вес атмосферы должен быть меньше, ибо значительная часть воздуха лежит внизу и не давит своим весом; барометр на горе должен стоять ниже, чем у ее подошвы.

В конце 1647 г. Паскаль пишет к своему родственнику Перье (Périer), жившему в Клермоне, близ горы Пюи-де-Дом, прося его повторить барометрический опыт на верху горы. „Если окажется, что высота ртути на верху горы меньше, чем внизу... , то отсюда необходимо будет следовать, что единственная причина, поддерживающая ртуть, — тяжесть и давление воздуха, а не боязнь пустоты; ибо мы знаем, что большая масса воздуха тяготеет у подошвы горы, чем на ее вершине; но нельзя же сказать, что природа боится пустоты у подошвы горы более, чем наверху“ *.

Перье сделал опыт: ртутный столб на горе (около 500 туазов высоты) оказался с небольшим на 3 дюйма короче, чем внизу. „Не скрываю, что это доставило мне большое удовольствие“, — замечает Паскаль. Убедившись из опыта Перье, что разница в длине ртутного столба должна быть заметна и на небольших высотах, Паскаль сам произвел свой опыт в Париже, на колокольне St. Jacques de la Boucherie (где в память этого поставлена статуя Паскаля): барометр вверху (24—25 туазов) стоял с лишком на 2 линии ниже, чем внизу **.

давлении. В одном из своих писем к Каркави (1649 г.) Декарт говорит о барометрическом опыте на горе, который два года тому назад он советовал сделать Паскалю, и просит известить, сделан ли опыт и какое понижение ртути оказалось на вершине (*Oeuvres*, X, p. 344). В другом письме, благодаря за ответ, он опять заявляет притязание на идею опыта (*Ibid.*, p. 351).

* ... s'il arrive que la hauteur du vif-argent soit moindre au haut qu'au bas de la montagne ... il s'ensuivra nécessairement que la pesanteur et pression de l'air est la seule cause de cette suspension du vif-argent, et non pas l'horreur du vuide, puis qu'il est bien certain qu'il y a beaucoup plus d'air qui pèse sur le pied de la montagne, que non pas sur son sommet; au lieu qu'on ne sauroit dire que la nature abhorre le vuide au pied de la montagne plus que sur son sommet. (*Recit de la grande expérience de l'équilibre des liqueurs*, 1648.)

** Еще один опыт Паскаля так же наглядно доказывает, что с устранением воздушного давления исчезает и подъем ртути

В опыте Торричелли мы имеем дело с давлением атмосферы на жидкость, действующим сверху вниз. Сравнивая атмосферу, по Паскалю, с ведром, наполненным водой, мы говорим о давлении на *дно* ведра. Но жидкость в сосуде давит не только на дно, но и на бока сосуда, на всякое омываемое ею тело. Каждая часть жидкости, испытывая давление — результат веса частей над ней лежащих, — *передает* это давление не только вниз, но и *во все стороны*. В самом опыте Торричелли внешняя ртуть, окружающая трубку, *передает* давление атмосферы ртутному столбу самой трубки как силу, действующую *снизу вверх*, что и препятствует столбу опуститься от собственной его тяжести.

Это начало *передачи давлений* в жидкостях было знакомо уже Архимеду. Есть множество явлений, указывающих, что оно прилагается и к воздуху. Сложенный мех трудно развести, если его отверстие закрыто; вода из трубки не течет, если трубка зажата сверху пальцем (опыт, упоминаемый у Эмпедокла). Явления объясняются, если примем, что давление атмосферы передается во все стороны, действует не только вниз, но и вверх, и в бока.

Этот принцип передачи давления в воздухе развивается Паскалем в его посмертном трактате, только что цитированном. Аналогия между жидкостью и воздухом подтверждается параллельными опытами в той и другой среде. Разница в том, что в столбе воды плотность воды одинакова вверху и внизу (жидкость почти несжимаема); в столбе атмосферы, „как в куче шерсти“*, нижние слои, вынося большое давление, становятся плотнее верхних. Плотность или густота воздуха, как вещества, способного сжиматься,

в барометре: в таком барометре, где над ртутью *обоих* колен — Торричеллиева пустота, ртуть стоит на одинаковой высоте в обоих коленах. Паскаль соединяет два барометрических сифона таким образом, что короткое колено одного впаяно в верхушку длинного колена другого. Наполняя снаряд ртутью и опрокинув, находим, что ртуть разделилась на две части: в нижнем барометре высота ее различна в двух коленах, в верхнем (где над ней с обеих сторон пустота) она стоит на одном уровне. (*Ibid.*; подробнее в *Traité de la pesanteur de la masse de l'air*, 1663; chap. VI. Трактат написан, вероятно, около 1653 г., но напечатан уже через год после смерти Паскаля.)

* Такое сравнение есть уже в письмах Декарта (*Oeuvres*, VI, p. 204) и Торричелли (*Lez. accad.*, p. XXXI!).

должна быть больше в нижних слоях атмосферы, чем в верхних.

В воде передача давлений есть следствие ее несжимаемости; в воздухе она — следствие его *упругости*. Как сжатая пружина стремится развернуться и сопротивляется силе сжимающей, так сжатый воздух имеет стремление расшириться. Это стремление всякой массы воздуха занять больший объем и есть непосредственная причина того давления, которое она оказывает во все стороны.

Стоит только слегка изменить опыт Торричелли, чтобы увидеть недостаточность одной мысли о *весе* атмосферы для объяснения явлений. После того как барометрический сифон наполнен ртутью и установлен, запаяем и короткое колено его. Теперь атмосфера уже не давит на ртуть короткого колена, тем не менее ртутный столб в длинном колене не понизится. В этом факте видели довод против рассуждений Торричелли; но уже сам Торричелли*, а в особенности Гверике и Бойль, поняли, в чем дело. Воздух, оставшийся в коротком колене над ртутью, как бы заменяет собой всю атмосферу; ибо он продолжает давить так, как давил в случае открытого колена. И в прежнем опыте, и в измененном на ртуть давит, собственно говоря, *ближайший* к ней слой воздуха — давит потому, что *сжат* окружающей атмосферой. Это сжатие воздушного слоя над ртутью осталось и после запайки отверстия, следовательно, осталось и давление**.

Развитию понятия об упругости воздуха способствовало всего более изобретение воздушного насоса и затем труды Бойля, открывшего закон упругости газов.

Барометр уже дает нам безвоздушное пространство. В Торричеллиеву пустоту мы можем помещать различные тела и наблюдать, что с ними происходит. Так и делали флорентийские академики (Accademia del Cimento, основана в 1657 г.), расширяя для удобства верхнюю часть барометра в виде шара с краном. Но такой способ делать опыты

* Torricelli, *Lez. accad.*, p. XXX.

** Возникал вопрос: как долго сохраняет сжатый воздух это свойство, не ослабевает ли оно само собой с течением времени? Современник Гверике и Бойля, Роберваль, зарядил духовое ружье; через 16 лет оно выстрелило, как сейчас заряженное (Fischer, I, p. 456).

с пустотой представлял явные неудобства. Заметим однако, что пустота, полученная путем Торричелли, есть *самая совершенная*: здесь действительно устранен *весь* воздух. В новейшее время опять возвратились к способу Торричелли, и лучшие современные воздушные насосы (Гейсслера, Шпренгеля и др.) представляют развитие первоначальной мысли; только они не так удобны на практике, как собственно так называемый *воздушный насос* — насос, выкачивающий или разрежающий воздух (*antlia pneumatica*).

Изобретение его весьма близко следует за работой Торричелли. Еще не зная, повидимому, об опыте с барометром*, магдебургский бургомистр Отто фон-Гверике (1602—1686) задался мыслью получить пустоту иным путем и, после ряда неудачных попыток, немного ранее 1653 г., достиг своей цели.

Идея была весьма простая. Насос, выкачивающий воду, был известен с древности. Выкачаем воду из сосуда, позаботясь, чтобы ни воздух, ни что другое не могли проникнуть на ее место; мы получим пустоту, как и в снаряде Торричелли.

Гверике приладил всасывающий насос к винной бочке, достаточно, повидимому, герметической и наполненной водой. Качать было трудно: наконец, воду выкачали; но сильное шипение в бочке обнаруживало, что воздух все-таки проник сквозь щели и поры дерева и занял место воды. Гверике сделал новую попытку: бочку с насосом поместил в другую бочку большего размера, тоже наполненную водой, конец насоса был пропущен наружу. На этот раз опыт удался лучше; вода помешала воздуху проникать во внутреннюю бочку и пустота была получена, но не надолго: шипение опять послышалось и обличало, что воздух и здесь проникал понемногу в пустоту. Наконец, Гверике заменил деревянную бочку медным сосудом, состоявшим из двух полых полушарий, плотно сложенных вместе; он не наполнил их водой, а прямо стал выкачивать своим насосом самый воздух. Опыт пошел на лад. Правда, первый шар был *измят* атмосферным давлением, но более тщательно сделанный металлический сосуд удовлетворил цели: воздух не про-

* По словам Гверике, он узнал об открытии Торричелли уже на съезде в Регенсбурге, где показывал свои собственные опыты (*Exper. nova*, p. 177).

сачивался через металл и пустота оставалась надолго. Другие улучшения, сделанные изобретателем, изменили отчасти форму снаряда.

Один из первых насосов Гверике хранится в Берлинской королевской библиотеке. Усовершенствованный снаряд, описанный в его книге, принадлежит Брауншвейгской политехнической школе (*Collegium Carolinum*); на Лондонской выставке научных аппаратов (1876 г.) он был одной из самых почтенных реликвий эпохи возрождения физики.

Целый мир невиданных явлений открылся с изобретением Гверике и взволновал ученую Европу. На имперском сейме 1654 г. в Регенсбурге Гверике показал многочисленной публике свои грандиозные опыты: опыт с полушариями (*hemisphaeria, phialae*), которых не могли разнять 16 лошадей; опыт с цилиндром, в котором поршень, по устранении под ним воздуха, не мог быть поднят усилиями более 20 человек и пр. Эти опыты стали достоянием наших школ; двести лет тому назад им дивились и едва верили ученые. Остальная Европа узнала о новом открытии сперва из книг Каспара Шотта (*Mechanica hydraulico-pneumatica*, 1657 г. и др.), позднее — из книги самого Гверике: „*Ottonis de Guericke Experimenta nova (ut vocantur) Magdeburgica de vacuo spatio etc.*“, Amstel. 1672 (предисловие помечено 1663 г.).

Спор о пустоте казался окончательно решенным; пустота осуществима, связующая цепь природы может быть расторгнута*. Снаряд Гверике позволял самыми различными способами исследовать безвоздушное пространство и убедиться в справедливости итальянской теории. Последние приверженцы Аристотеля еще силились утверждать, что „ни ангел, ни демон не могут произвести пустоты“, что „самое небо спустилось бы, чтобы ее наполнить“ **; но лагерь уверовавших в пустоту становился все сильнее и сильнее.

Воздушный насос с особенной яркостью выставил на вид идеи о передаче давления в атмосфере и об упругости воздуха, как непосредственной причине этого давления. На

* *Spatium vacuum dari, et vinculum illud, quod alias indissolubile habetur, dissolvi posse. (Exper. nova, p. 77.)*

** Слова некоего Гауптмана, приводимые в книге Гверике: „*Dass keinem Engel noch Teuffel möglich wehre ein Vacuum zu wege zu bringen... und wenn das *filum naturae* recht angespannet würde, der Himmel selbst umb so viel als es zu seiner erfüllung nötig hätte, sich herunter beugen und hernieder sincken müste.*“ (*Exper. nova*, p. 122.)

безвоздушные полушария воздух давит со всех сторон — сверху и снизу, справа и слева. Когда воздух еще не выкачан из сложенных полушарий, давлению извне противодействует равное давление изнутри; небольшая масса воздуха внутри полушарий, отделенная от атмосферы, давит с такой же силой, как вся атмосфера. Измятый пузырь в „гверикевой пустоте“ раздувается от находящегося в нем воздуха и может лопнуть, причем воздух вырвется наружу. В этих опытах непосредственная причина явлений уже не вес атмосферы, а упругость воздуха, раз ею сжатого. Гверике ясно сознает эту силу упругости (*vis expansiva sive Elastica, sonatus... quem philosophi quidam Elaterem dicunt*)*; еще яснее выражается о ней англичанин Роберт Бойль.

Бойль — одно из самых крупных имен в истории точного знания. Самая эпоха Бойля в Англии крайне любопытна, особенно по контрасту с еще недавним мученичеством Галилея. Тот подъем естествознания, какой находим во Франции конца XVIII века, проявился у англичан целым столетием раньше — вслед за смертью красноречивого „трубача“ новой науки, Франсиса Бекона**. „По смерти Бекона одним из достойнейших англичан был, без сомнения, Бойль, которого, по сравнению с современниками, можно поставить непосредственно после Ньютона, хотя, конечно, он гораздо ниже последнего, как оригинальный исследователь“***.

Роберт Бойль (1627—1691), сын графа Корка, посвятивший науке свое значительное состояние, сделал многое для химии и физики. О Бойле как химике мы уже упоминали в своем месте; как физик он связал свое имя с открытием основного закона газов. Бойль был писатель плодовитый. Скептицизм, ненависть к фразам и мнимой учености схоластиков, доверие к одному опыту отличают его как человека нового времени; хотя в своих философских сочинениях он старается примирить науку с верой, пишет против Спинозы и Лейбница, против Хоббза и Локка.

Бойль был одним из организаторов и первых президентов новосозданного Королевского общества (*Royal Society*) — первой академии точных наук в Европе после

* *Ibid.*, pp. 77, 116. Вероятно, намек на Бойля.

** Так называет себя сам Бекон: „Ego enim buccinator tantum pugnam pop in eo“. (*Novum Org.*, lib. IV, cap. L.)

*** *Buckle, History of Civilization*, ed. 1873, I, p. 367.

итальянского Cimento. Еще с 1645 г. общество собиралось в виде частного кружка — „невидимой коллегии“ (Invisible College). „Время, к которому относятся первые исследования этих людей и их ассоциация, совпадает с эпохой гражданских войн между королем и парламентом... Разделяя умственное брожение своего времени, они искали в тихом и мирном занятии наукой отдыха от тех неприятностей и столкновений, какие волновали общество“*. Реставрация упрочила существование кружка. Карл II, ученик Хоббса и любитель естествознания, дал ему статут (1662 г.)**. Девять лет спустя Общество избирало в свои члены молодого Исаака Ньютона.

Основание Королевского общества было событием единственным в своем роде. Страсть к естествознанию охватила все классы англичан — у знати как мода, у ученых как серьезное стремление, окончательно разорвавшее плотину схоластики***. „В этом, как и во всяком великом движении

* Whewell, *History of the Inductive Sciences*, II, p. 145.

** Статут гласил, что общество учреждено для разработки *натурального* знания (pro scientiâ naturali promovendâ); эпитет, имевший особый смысл в ту эпоху (Buckle, I, p. 372).

*** „В несколько месяцев экспериментальная наука стала всеобщей модой. Переливание крови, тяжесть воздуха, поднятие ртути унаследовали в уме общества то место, которое еще недавно было занято пререканиями Роты“ (политический клуб эпохи Кромвелля). „Мечты о совершенных формах правления заменились мечтами о крыльях, чтобы летать из Тауэра в Аббатство, о кораблях с двойным килем, не тонущих в самую грозную бурю. Все классы были объаты преобладающим направлением. Кавалер и круглоголовый, церковник и пуританин были здесь заодно. Священники, юристы, государственные деятели, аристократы, принцы — все содействовали торжеству Беконовой философии... И верховный судья Холл и лорд хранитель печати Гильдфорд урывали часок от должностных занятий, чтобы писать о гидростатике. Под непосредственными указаниями Гильдфорда и были устроены первые барометры, пущенные в продажу в Лондоне. Вместе с вином и любовью, со сценой и игорным столом, с интригами придворного и интригами демагога, химия делила некоторое время внимание непостоянного Боккингама... Сам Карл имел лабораторию в Уайтхолле и был здесь деятельнее и внимательнее, чем в заседаниях совета. Для изящного джентельмена было почти необходимо уметь поговорить о воздушных насосах и телескопах; даже знатные дамы по временам считали приличным выказывать любовь к знанию; они приезжали в каретах шестернею посмотреть диковины Грешам-колледжа“ (дом, где собиралось Королевское общество) „и испускали крики восторга, видя, что магнит действительно притягивает

человеческого ума, без сомнения, было нечто, способное вызвать улыбку ... Тем не менее верно, что великое дело истолкования природы совершалось у англичан того времени так, как никогда и нигде прежде“ *.

В 1658 г. Бойль, заинтересованный трудами Гверике, устроил, при помощи своего ассистента Гука, первый в Англии насос (несколько отличный от магдебургского), с которым производил разнообразные опыты. Соотечественники считали Бойля изобретателем воздушного насоса и гверикева пустота часто называлась бойлевой

Уже в первом из ряда сочинений о воздухе Бойль особенно останавливается на мысли об упругости воздуха (*potestas elastica, ἐλαττήρα seu aëris spira, spring of the air*) **. Он даже довольно наивно объясняет ее тем, что воздух есть агрегат мелких пружинок (*parvae spirulae*), способных сжиматься и стремящихся развернуться.

Спор между *вакуистами* и *пленистами* (так называет Бойль приверженцев и отрицателей пустоты) еще не замолк. Один из последних перипатетиков, некий Франц Линус, возобновил учение о *figa vasii* в новой форме: он утверждал, что в опыте Торричелли с опрокинутой трубкой ртути прикреплена к верхушке трубки какой-то невидимой нитью (*funiculus*), которую растягивает своим весом. Полемика с этой странной гипотезой заставляет Бойля сделать замечательный опыт.

Он взял длинную стеклянную трубку, изогнутую в виде сифона с неравными коленами и снабженную масштабом. Короткое колено было запаяно; в отверстие длинного колена налито столько ртути, чтобы наполнить нижнюю часть или изгиб сифона. При этом трубку несколько раз наклоняли, чтобы воздуху, запертому в коротком колене, дать на время сообщение с внешним воздухом мимо ртути. При таких условиях ртуть в обоих коленах стала на одной и той же высоте.

„Сделав это, я стал приливать ртути в длинное колено сифона. Эта ртуть, давя своим весом на ту, которая была

иглоку и что микроскоп действительно показывает муху с воробья“.
(Macaulay, *History of England*, I, ch III, State of science in England)

* *Ibid* (конец приведенного параграфа).

** Boyle, *Nova experimenta mechanica de vi aëris elastica* (датировано „Beconsfieldia, 1659“). Exper I.

в коротком колене, постепенно сжимала заключенный воздух. Я продолжал приливание ртути до тех пор, пока воздух в коротком колене не сократился от сгущения настолько, что объем его был не более половины прежнего, и тогда взглянул на длинное колено сифона... Я заметил не без удовольствия, что ртуть в длинной части трубки на 29 дюймов превышала ту, которая заключалась в коротком колене... Воздух, при той степени плотности и соответственной силе сопротивления, до каких его доводит вес лежащей на нем атмосферы, мог уравнивать и преодолевать давление ртутного столба почти в 29 дюймов, как научаемся из опыта Торричелли. Так точно и здесь, воздух, доведенный до плотности, приблизительно вдвое большей, чем прежде, приобретает упругость (*elaterem*), вдвое сильнейшую: это видно из того, что он может выдержать 29-дюймовый столб в длинном колене вместе с весом столба атмосферы, который лежит сверх этих 29 дюймов ртути и который, как знаем из опыта Торричелли, равносильен тоже 29 дюймам*.

Затем приводится таблица опытов, где давление на воздух, запертый в коротком колене, доходило, как говорится, до *четырех атмосфер* (т. е. 88 дюймов ртути, кроме действительной атмосферы поверх их)**. В последнем столбце таблицы показано для сравнения „каково должно бы быть давление по гипотезе, предполагающей, что давления и расширения обратно пропорциональны“. Согласие гипотезы с опытом оказалось полное.

Бойль замечает, что он не вдруг уловил этот закон и что ему помог в этом один из его учеников, Ричард Тоунлей (Townley).

Так открыт (около 1660 г.) закон, который справедливо назвать *законом Бойля*: „Объем, занимаемый данной массой газа, обратно пропорционален упругости газа; или, что то же, внешнему давлению, под каким газ находится“. (Это давление уравновешено упругостью самого газа и, следовательно, равно ей.) Так как во сколько раз увеличился объем газа, во столько раз уменьшилась его *плотность*, то можно выразить

* Boyle, *Defensio contra Fr Linum*, pars II, cap V.

** Давление действительной атмосферы не всегда и не везде одинаково. В физике *одной атмосферой* условились называть давление, соответствующее столбу ртути в 0,76 метра.

закон еще иначе: „Упругость газа пропорциональна его плотности“.

Снаряд Бойля (и вообще все снаряды, служащие для определения упругости газов) называется *манометром*.

Много лет спустя (1679 г.) французский физик аббат Мариотт, может быть не зная об опытах Бойля (сочинения которого, впрочем, пользовались большой известностью), описал ряд опытов, подобных бойлевым*, и закон упругости газов часто называют законом Мариотта.

И Бойль, и Мариотт делали опыты, не только *сгущая* воздух, но и *разрежая* его сравнительно с окружающей атмосферой. С этой целью опыт несколько видоизменялся. Закон зависимости между давлением и объемом оправдался и здесь. У Бойля давление уменьшалось до $\frac{1}{32}$ атмосферы и объем воздуха в конце опыта был в 32 раза больше, чем в начале.

Закон Бойля составляет важный шаг в точном изучении газов; но он неполон и неточен. Выражая его, мы опустили обстоятельство весьма существенное: условие *постоянства температуры* газа в течение опыта. Только под этим условием объем данной массы газа можно считать обратно пропорциональным давлению.

Газ расширяется в объеме не только с ослаблением внешнего давления, но и с повышением температуры. Этот факт известен был уже древним, особенно Герону. Мы говорили уже, что Галилей нагревал сосуд с целью изгнать из него часть воздуха, причем сосуд делался легче. Стеклянная трубка с шариком на одном конце, наполненная воздухом и погруженная другим, открытым концом в воду, служила Галилею для измерения температуры: вода поднималась в трубке при холоде, опускалась при тепле. Это был *первый* термометр, когда-либо устроенный, — термометр *воздушный*, он изобретен ранее 1597 г.**. Неудобство его в том, что он чувствителен не только к изменению температуры, но и к переменам атмосферного давления.

* Mariotte, *Second essai de physique, De la nature de l'air*, Paris, 1679

** Libri, IV, p. 189 Libri доказывает первенство Галилея перед Дреббелем, Беконем и др. которым приписывалось изобретение термометра. Изучение Герона дало первый толчок изобретению (Poggendorff, p 259)

Бойль, Мерсен и др. старались определить степень расширения воздуха от теплоты. Амонтон пришел (1699 г.) к довольно точному результату из его опытов можно заключить, что воздух, при переходе от „обыкновенной температуры“ (Je tempéré) к температуре кипения воды расширяется на *одну треть* своего объема, какова бы ни была его первоначальная плотность. Ламберг (*Pyrometrie*, 1779) и другие точнее указали те температуры, между которыми производился опыт: между точкой таяния льда (0°) и точкой кипения воды (100° C) расширение воздуха оказалось равным 0,375, или $\frac{3}{8}$ (т. е. объем увеличивался на три восьмые доли). Это число долго было принято в науке.

Разрежением нагретого воздуха воспользовались для воздухоплавания. Шар, наполненный теплым воздухом, становится удельно легче атмосферы и всплывает наверх. Первый такой аэростат пущен в начале 1783 г. братьями Монгольфье. Первыми воздухоплатателями (в конце того же года) были Пилатр-де-Розье и д'Арланд.

Между тем открытие химически различных газов, завершнное трудами Лавуазье, расширило область аэрометрии, или пневматики (учения о газах) „Пневматическая“ химия обратила особое внимание на газы. Сравнительное изучение химических свойств этих тел занимало, как мы видели, уже Блалка и Кавендиша; уже Пристлей пытался сравнить расширение различных газов от теплоты.

Двое из славнейших представителей новой химии, Ге-Люссак в Париже и Долтон (Dalton) * в Манчестере, одновременно (1802 г.) открыли новый важный за. он газов. Этот закон: „Все газы расширяются от теплоты одинаково“. Если при какой-нибудь температуре (например 0°) возьмем два равные объема каких бы то ни было газов, то они останутся равными и при всякой другой температуре.

По свидетельству Ге-Люссака, этот важный закон еще за несколько лет подметил французский физик Шарль (Charles), изобретатель аэростата с водородом (charlière). Шарль не публиковал своего исследования**. Он ограни-

* У нас обыкновенно пишут Дальтон.

**... Je citoyen Charles avait remarqué depuis 15 ans la même propriété dans ces gaz, mais n'ayant jamais publié ses résultats, c'est par le plus grand hazard que je les ai connus. Gay-Lussac, Recherches sur la dilatation des gaz et des vapeurs, *Annales de Chimie*, 1-re série, XLIII, p 157 (1802)

чился сравнительным наблюдением газов и не дал *цифры* расширения; но вся важность здесь именно в *сравнении*, в доказательстве *одинаковости* расширений. Поэтому нам кажется справедливым называть закон равного расширения газов — *законом Шарля*. Это тем удобнее, что и Ге-Люссак, и Долтон связали свои имена с другими важными законами в области пневматики и выражения „закон Ге-Люссака“ или „закон Долтона“ были бы не вполне определительны.

Ге-Люссак делал свои опыты над воздухом, водородом, кислородом, углекислотой и другими газами, то высушивая их, то пропитывая парами воды, кроме того, — над паром серного эфира. Не находя разницы в расширении от теплоты, он заключает, что „все газы, какова бы ни была плотность и влажность, и все пары расширяются одинаково при одинаковом нагревании“, и, следовательно, ни физические, ни химические особенности газа не влияют на его расширение *. Самая цифра расширения газов, по Ге-Люссаку, есть $0,375 (= \frac{3}{8})$ для расширения между 0° и 100° (то же, что Ламберт нашел для воздуха).

Закон Шарля естественно указал на газы как на самые удобные вещества для измерения температур. Тела твердые и жидкие расширяются различным образом. Возьмем два термометра, например ртутный и спиртовой; отметим в каждом вершину жидкости при *двух* каких-нибудь температурах, например при таянии льда и кипении воды, и разделим промежуток между двумя отметками на 100 равных частей. Мы увидим, что при какой-либо *третьей* температуре показания двух термометров будут не вполне согласны. Но если вместо жидкостей мы взяли *газы*, термометры покажут одно и то же, каковы бы эти газы ни были, какова бы ни была их плотность.

Этот закон равного расширения газов получает особенно важное значение в новой, так называемой механической теории теплоты. С точки зрения этой теории открывается, что *расширение газа есть истинное мерило температуры* как средней живой силы частиц вещества. Мы после коснемся этого пункта, теперь же допустим, что температуру газа мы оцениваем по *газовому же* термометру и, следовательно, считаем расширение газа *равномер-*

* *Ibid.*, p 171—172

ным (последовательные градусы температуры соответствуют равным приращениям объема).

По закону Бойля, при неизменной температуре произведение упругости (или давления) газа на его объем остается неизменным. Теперь мы узнали, что при неизменном давлении объем газа (а следовательно, и произведение объема на давление) растет поровну с каждым градусом температуры. Таким образом *общим законом газов*, соединяющим в себе законы Бойля и Шарля, будет следующий:

„Для данной массы газа произведение объема на упругость при возрастании температуры растет поровну на каждый градус“.

Положим, что наш газ был взят при 0° , при 1° С произведение объема на упругость увеличится (принимая результат Ламберта и Ге-Люссака) на $0,00375 = \frac{1}{267}$, при 2° на $\frac{2}{267}$ и т. д. С другой стороны, при -1° это произведение уменьшится на $\frac{1}{267}$ долю, и т. д. Очевидно, что при температуре -267° С произведение объема на упругость *обратится в нуль*, если только наш закон верен для всех температур.

Мы увидим, что число Ге-Люссака не вполне точно: позднейшие опыты указали, что вместо $\frac{1}{267}$ вернее принять $\frac{1}{273}$; только что указанная температура будет, следовательно, не -267° , а -273° С.

Эта замечательная температура -273° С принимается в новейшее время за *начало счета температур, за абсолютный нуль температуры*. Если вести счет температур от -273° , то температуру 0° надо будет назвать 273° , температура 100° С назовется 373° и т. д. все температуры обыкновенного счета (Цельсия) придется увеличить на 273° . Такой счет температур называется *абсолютным*.

Употребляя такие абсолютные температуры, мы можем выразить общий закон газов следующими словами:

„Для данной массы газа произведение объема на упругость пропорционально абсолютной температуре газа“.

В этой форме мы и запомним важный закон Бойля и Шарля.

Изучение свойств газов, и в особенности открытие закона Бойля, ввели пневматику в область математического исследования. Учение о равновесии и движении газов развилось мало-помалу как часть механики жидких тел (гидростатики и гидродинамики). Сопоставление собственно жидкостей и

газов в одну механическую категорию, на основании общей их текучести (*fluiditas*), определительно высказано Декартом, который делит вещества на твердые и жидкие *; к последним он причисляет и воздух**, и небесную материю (эфир)***. Паскаль прибавил к характеристике жидкостей начало равной передачи давления, общее и собственно жидкостям и газам. Ньютон в своих „Математических началах естественной философии“ (1686 г.) довершил слияние пневматики с гидромеханикой. Он определяет жидкость (*fluidum*), как „всякое тело, коего части уступают любой приложенной силе и, уступая, легко движутся между собой“****. Рядом с жидкостями *несжимаемыми* (как вода и пр.) он рассматривает *жидкости упругие* (*fluida elastica*), принимая, что они повинуются закону Бойля*****. Он дает, между прочим, скорость распространения волн в такой жидкости (скорость звука)*****.

Дальнейшая разработка механики газов принадлежит Даниилу Бернулли, д'Аламберту, Эйлеру и Лагранжу. Но эти работы лежат вне предмета нашего очерка, ибо представляют собой прогресс *формального* развития добытых истин, — прогресс анализа и механики.

Законы Бойля и Шарля, при более старательном исследовании дела, оказались не вполне точными. Даже а priori странно было бы допустить, что Бойлев закон безусловно верен: из него следовало бы, что, увеличивая давление, можно сгустить газ до того, что он будет плотнее всякого твердого тела, оставаясь все-таки газом. Так, воздух под давлением 1000 атмосфер сравнялся бы по плотности со ртутью. Но должна существовать граница такому сгущению. Уже Яков Бернулли (1683 г.) говорил, что сгущение воздуха можно продолжать только до тех пор, пока частицы его не коснутся одна другой. С другой стороны, по закону Бойля газ способен разрежаться беспредельно; в этом также можно усомниться.

* *Principia philos.*, pars II, pr 54

** *Ibid*, IV, pr. 45

*** *Ibid*, III, pr. 24

**** *Fluidum est corpus omne cujus partes cedunt vi cuicunque illatae, et cedendo facile moventur inter se (Philos nat principia math., lib II, sect V)*

***** *Ibid*, lib II, sect V, VII, VIII, IX.

***** *Ibid.*, lib II, sect VIII.

Действительно, прямые опыты, предпринятые для проверки Бойлева закона, обнаружили мало-помалу его неточность. Оказалось, что все газы только *приблизительно* подчиняются этому закону, представляя более или менее заметные *уклонения* от него.

Мы не можем пускаться в подробное описание этих опытов, которые доводят нас до настоящего времени и, без сомнения, еще дадут работу и будущим исследователям. История этих исследований есть история постепенного усовершенствования измерительных приемов и снарядов физики *. Значение полученных результатов для развития наших понятий о газах открывается преимущественно в теории газообразного состояния, которой мы посвятим последний отдел нашего труда.

Уже Бойлю казалось, что при давлениях выше 4 атмосфер воздух сжимается в объеме *меньше*, чем следовало бы по его закону. Зульцер (1753 г.) при опытах до 8 атмосфер пришел к противоположному результату: воздух сжимался *сильнее*, чем следовало бы по закону Бойля; так при давлении 6,8 атмосферы он имел уже плотность в 8 раз большую, чем в начале (при 1 атмосфере).

Результат Зульцера оказался впоследствии качественно верным, но сильно преувеличенным. Опыты Эрстеда и Свендсена (1826 г. до 68 атм.) повидимому оправдывали закон Бойля; но измерительный способ при высоких давлениях был слишком груб. Депре (Despretz) в 1827 г. напал на счастливую мысль делать прямое сравнение газов с воздухом: две трубки, рядом стоящие, содержали — одна воздух, другая какой-нибудь газ, которые подвергались вместе общему давлению. Такой метод ясно обнаружил различие в сгущении газов: углекислота, аммиак и др. сжимались сильнее воздуха, водород слабее.

Новый ряд исследований, предпринятый по поручению Парижской академии наук Дюлонгом и Араго (1829 г.), произвел эпоху в физике неслыханною дотоле грандиозностью аппаратов: чтобы довести давление, по способу Бойля, до 28 атмосфер, потребовался столб ртути до 20 метров длиной. Всевозможные предосторожности были пушены

* Относительно истории вопроса см в особенности Regnault, Sur la loi de la compressibilité des fluides élastiques, в его Relation des expériences etc. I, p. 329 (*Mémoires de l'Acad. des sciences*, t. XXI, 1847) и Менделеева, *Об упругости газов*, часть I, Спб. 1875

в ход; тем не менее, работа привела к результатам не вполне ясным и, повидимому, оправдывала закон Бойля.

Окончательное решение вопроса дал знаменитый Реньо. Виктор Реньо (род. в 1811 г.), скончавшийся почти год тому назад (19 янв. н. ст. 1878 г.), — бесспорно один из замечательнейших французских физиков. Тремя томами своих исследований*, предпринятых по поручению министра публичных работ, с целью определить числовые данные, важные в теории паровой машины, Реньо воздвиг себе колоссальный монумент. Измерительная физика, повидимому, достигла здесь своего апогея. Весь числовой материал учения о газах и парах и некоторых смежных глав физики обновлен в трудах Реньо с точностью почти астрономической. Реньо не проводил новых идей в науке, если не считать того скептицизма, с которым он относился к слишком ранним обобщениям фактов и обличал неточность положений, до тех пор принимавшихся за непреложные законы. Новые идеи, как, например, механическая теория теплоты, проникли в науку помимо Реньо, можно сказать, — вопреки ему: он не вдруг в них уверовал. Он считал себя работником, собирателем материалов, измерителем, и в этом смысле он не имеет себе подобного.

Нет возможности кратко и без чертежей описывать работы Реньо. Все значение их в тысяче мелких предосторожностей, в неутомимом контроле. С другой стороны, большие средства, предоставленные в распоряжение Реньо, позволили ему не стесняться ни помещением, ни размерами аппаратов. Целые фабрики с научной целью воздвиглись сперва в Collège de France, потом на Севрском фарфоровом заводе (которого Реньо был директором). Громадные манометры, вдоль которых наблюдатель поднимался на платформе по рельсам, паровики, система городских газопроводных и водопроводных труб (при опытах над скоростью звука) — все было к услугам Реньо; несколько молодых физиков с разных концов Европы служили ему помощниками.

Исследование Реньо над упругостью газов (1847 г.) окончательно подтвердило, что сжимаемость воздуха воз-

* Regnault, Relation des expériences entreprises.. pour déterminer les principales lois et les données numériques qui entrent dans le calcul des machines à vapeur. (*Mémoires de l'Acad. des Sciences*, тт XXI, XXVI, XXXVII) Протоколы наблюдений, долженствовавших составить IV том, погибли во время войны 1870 г.

растает с возрастанием давления, другими словами, что объем воздуха уменьшается *быстрее*, чем увеличивается давление. Но эти отступления от закона Бойля оказались далеко не так крупными, как думал Зульцер. Так, при сгущении атмосферного воздуха в 20 раз ($1/20$ объема) упругость или давление возрастает в 19,7 раза

Подтвердилось далее, что различные газы представляют различные отклонения от закона Бойля. Все исследованные у Реньо газы, за исключением *водорода*, показали тот же характер отклонений, какой представляет воздух: и у них сжимаемость растет вместе с давлением, но у одних сильнее, у других менее заметно. Так, углекислота, взятая в начале под давлением 1 атмосферы, сгущается в 20 раз уже под давлением 16,7 атмосферы, т. е. отклонение от закона Бойля здесь несравненно резче, чем для воздуха. *Водород* окажется как бы исключением из общего правила: его сжимаемость *уменьшается*, когда давление возрастает. Для сгущения в 20 раз водород требует давления $20^{1/4}$ атмосфер.

В опытах Реньо, как и у Бойля, давление на газ производилось вертикальным столбом ртути. Это давление простиралось до 30 атмосфер, что потребовало уже манометра огромной длины (припомним, что каждая *атмосфера* соответствует $3/4$ метра). Итти еще далее по такой системе было бы неудобно. Между тем интересно проследить связь между плотностью и упругостью газа при давлениях еще более высоких.

Из числа опытов, произведенных с этой целью, упомянем об исследовании *Наттерера* (1851 г.) По точности оно не идет ни в какое сравнение с трудом Реньо, но обнимает задачу в весьма широком масштабе и довольно близко подтвердилось впоследствии опытами более точными. Наттерер заключал газ в толстый стальной ствол и сжимал его плотным поршнем, надвигаемым посредством винта. Плотность и упругость газа определялись особыми довольно сложными приемами, которых мы не можем здесь описывать. Таким образом удавалось довести давление до 3600 атмосфер.

При таких сильных давлениях отступления от Бойлева закона оказались совсем иные, чем при тех давлениях, какими располагал Реньо. *Все газы*, какие подвергались исследованию (воздух, азот, кислород, водород), стали *менее сжимаемыми*, чем следовало по закону Бойля; т. е.

все они стали представлять тоже явление, какое только один водород обнаруживал при давлениях 1—30 атм. Так воздух при 3600 атмосфер сгустился только в 800 раз, водород в 1040 раз. Любопытно, что уже флорентинские академики приходили к заключению, что никакая сила не может сжать воздух более чем в 800 раз[†]. Эти результаты нашли подтверждение в опытах Андруса (Andrews) над углекислотой (с 1861 г.) и Каильетè и Амага над воздухом и другими газами (1870—1878 гг.).

Итак, зависимость между плотностью и упругостью газа крайне запутанная. При сильных давлениях газы далеко не следуют закону Бойля: они *менее* сжимаемы, чем он предполагает. При ослаблении давления, для каждого газа наступает момент, когда он в точности подчиняется бойлеву закону. Давление, при котором это произойдет, для каждого газа свое особое. *Ниже* этого давления начнутся отклонения в обратную сторону — *большая* сжимаемость, чем бы следовало по Бойлю. Для воздуха это пограничное давление (отделяющее один тип отклонений от другого) около 100 атмосфер, для водорода оно не найдено.

Остается узнать, что будет с газами при давлениях значительно меньше 1 атмосферы. Здесь исследование представляет особого рода трудности и решение вопроса еще не вполне выяснилось. Прежде принималось, что чем разреженнее газ, тем ближе он следует закону Бойля. По опытам Д. И. Менделеева^{**} газы в разреженном состоянии *опять* становятся *менее сжимаемыми*, так же как в состоянии большого сгущения. Только водород, быть может, выдерживает всегда один и тот же характер отступлений от закона Бойля, именно *всегда* менее сжимаем (как нашел Реньо между 1—30 атмосфер).

Проследив вк атце новые исследования о законе Бойля, обратимся к закону Шарля. Мы видели, что по опытам Шарля и др. все газы расширяются одинаково, все газовые термометры согласны между собой. Самая цифра расширения объема на каждый градус такого термометра (или, как говорят, *коэффициент расширения газов*) по Ге-Люссаку равняется 0,00375.

[†] Fischer, IV, p. 221

^{*} Менделеев, *Об упругости газов*, часть I, Спб 1875.

Заподозрив закон Бойля, физики сочли нужным подвергнуть новой проверке и результат Ге-Люссака. И здесь скептический Реньо дал окончательное решение вопроса в отрицательном смысле.

Шведский физик Рудберг (1837 г.) впервые подверг сомнению не только цифру Ге-Люссака, но и самый закон равного расширения газов: для воздуха, тщательно высушенного, он нашел число 0,00365, между тем как примесь водяного пара заметно увеличивала эту цифру. Затем Магнус в Берлине и Реньо в Париже одновременно (1841 г.) доказали, что закон Шарля так же не вполне точен, как и закон Бойля. Оказалось вообще, что чем сильнее газ сжимается с увеличением давления, тем сильнее он расширяется от теплоты. Чем меньше сдвинуты газы и чем выше их температура, тем больше исчезают различия в коэффициенте расширения, — тем ближе подходит этот коэффициент к некоторому числу (именно 0,00366, или $\frac{11}{30}$ процента), одинаковому для всех газов.

Вот самый краткий очерк результатов, добытых при проверке закона Бойля и Шарля. Увлекательная простота этого закона, повидимому, сулила ему ту же степень точности, какую при всех испытаниях показал закон всемирного тяготения; но также ожидания не оправдались. Не нужно думать, однакож, что после этого закон газов потерял всякое значение: он все-таки приблизительно верен, все-таки дает нам довольно точную характеристику газа, в отличие от тел твердых и жидких. Воображая себе такой газ, который бы со всей строгостью следовал закону Бойля и Шарля, физики называют его *идеальным газом*; всякий действительный газ есть как бы несовершенная копия с этого идеала*.

Желая уяснить себе, что такое газ, какими механическими причинами можно истолковать его свойства, мы упростим задачу, если обратимся сначала к газу идеальному. Затем, когда найдем теорию идеального газа, мы спросим себя, какие причины мешают настоящим газам быть идеальными.

* Прежде обыкновенно говорилось, что идеальный газ есть тот, к которому всякий действительный газ все более и более приближается, по мере повышения температуры и уменьшения давления. В виду новейших исследований так выразиться, повидимому, уже нельзя.

Мы увидим впоследствии, какую цену имеет названный закон с такой теоретической точки зрения. Но и кропотливые исследования новейших физиков над отклонениями газов от идеального типа не остаются безнадежными томами цифр, которых смысл нам недоступен. Эти отклонения обещают ввести нас в самые сокровенные тайны физической науки: благодаря им мы уже начинаем взвешивать атомы вещества, мерить их невообразимо малые расстояния.

Закон Бойля и Шарля, хотя бы и приблизительный, указывает нам, что в газе мы имеем какую-то особенно простую форму вещества. Ни для твердых, ни для жидких тел не открывается такой простой и общей связи между плотностью, упругостью и температурой вещества.

Такой вывод вполне подтверждается целым рядом других простых законов газообразного вещества, точных в той же мере, как и законы Бойля и Шарля. Мало-помалу открылось, что все вообще явления в газах представляют такую степень простоты, какой напрасно стали бы искать в телах твердых или жидких. Мне остается указать на важнейшие из таких характеристических особенностей газа.

1. *Закон смешения газов.* Представим себе, что мы заключили два различных газа в отдельные сосуды, которые соединяются трубкой с краном, покамест плотно запертым. Откроем кран; газы *смешаются*: каждый разольется равномерно по всем частям обоих сосудов. Такое смешение произойдет быстрее или медленнее, смотря по разным обстоятельствам, но произойдет во всяком случае. Пусть один из наших сосудов вверху, другой внизу, и верхний наполнен углекислотой, а нижний водородом. Углекислота плотнее водорода, и потому естественно, что часть ее стечет в нижний сосуд, а часть водорода поднимется в верхний. Но даже если поместим углекислоту внизу, а водород вверху, то и тут смешение произойдет, только не так скоро.

Такое смешение (диффузия) происходит и между некоторыми капельными жидкостями; только *не все* жидкости способны смешиваться. Но особенность газов в том, что результат смешения характеризуется весьма простым законом. Допустим на время, что в соединенных сосудах находился

только *один* из двух газов (например, углекислота), и именно в том же количестве, как прежде, а другого (водорода) вовсе не было. Газ имел бы некоторую упругость, которую назовем буквой p . Вообразим себе теперь, что первого газа (углекислоты) нет в сосудах, а есть только второй (водород); упругость его в этом случае назовем q . Если теперь представим себе, что оба газа, в тех же количествах, как прежде, одновременно занимают сосуд в виде смеси, то *упругость* этой смеси будет $p + q$, т. е. она равна сумме тел упругостей, какие обнаружил бы каждый из газов, оставшись один.

Этот простой закон открыт Долтоном* в 1802 г. и называется *законом Долтона*. Говоря короче, каждый газ в смеси распределяется так, как будто бы другого газа не было. По выражению Долтона, частицы одного газа протекают в свободных промежутках частиц другого, „как поток воды между камнями“ (like a stream of water among pebbles)**. Из этого Долтон заключил, что каждый газ давит только на свои собственные частицы и не давит на частицы другого газа. Такое объяснение не выдерживает критики и заменилось, как увидим, другим, гораздо более понятным.

Прибавим еще, что при смешении газов не происходит ни поглощения, ни развития теплоты. Этого также нельзя сказать о жидкостях: так купоросное масло и вода, взятые при одной и той же температуре, при смешении нагреваются. Два газа, взятых при одинаковой температуре, сохраняют эту температуру и по смешении (если, конечно, не соединяются химически в нечто новое, а остаются именно смесью).

2. *Закон кратных объемов*. Когда два газа, взятых при одинаковой температуре и одинаковом давлении, соединяются химически (т. е. образуют новое тело, не похожее ни на тот, ни на другой газ и не составляющее простую смесь их), и притом без остатка, то *объемы* двух газов либо равны, либо они кратные между собой. Так два объема водорода соединяются с одним объемом кислорода, образуя воду; если есть излишек водорода (т. е. объем его слишком вдвое больше, чем объем кислорода), этот излишек так и останется водородом; если есть избыток кислорода, по-

* Dalton, *Memoires of the literary and philosophical Society of Manchester*, vol. V, p. 535.

** *Ibid.*, p. 581.

лучим, кроме воды, неизменившийся кислород. При соединении азота с кислородом либо два объема азота соединяются с одним объемом кислорода (это будет так называемая закись азота), либо соединятся равные объемы двух газов (получится окись азота).

Мы увидим, что все вообще тела могут быть приведены в газообразное состояние посредством нагревания. Поэтому сказанный закон можно выразить так: „В химическое соединение всегда всгупают такие количества двух веществ, которые, будучи переведены в состояние газов, заняли бы (при одинаковой температуре и одинаковом давлении) равные или кратные объемы“.

Этот закон найден Ге-Люссаком (1809 г) * и называется его именем. И здесь мы встречаем такое свойство газов, которому нег соответственного для тел в твердом или жидком состоянии.

3. *Отсутствие внутренней работы.* Когда мы быстро сжимаем какое-либо тело, т. е. уменьшаем его объем, то тело обыкновенно нагревается; при расширении оно охлаждается. Газы как тела, несравненно более прочих доступные сжатию и расширению, с особенной яркостью обнаруживают эти явления. Уже Бурхав (1732 г.) говорит, что при сжатии воздух испускает теплоту, как мокрая губка воду [†] *. Куллен (1755 г.) заметил [†] **, что при выкачивании воздуха термометр, помещенный под колоколом насоса, падает на несколько градусов; дождавшись, когда разреженный воздух опять нагреется от окружающих предметов, и затем впуская воздух в Гверикеву пустоту, Куллен замечал повышение температуры. Соссюр доказал, что явление происходит и в том случае, когда воздух под колоколом был тщательно высушен, и что, следовательно, оно не объясняется холодом от испарения влаги, как думали некоторые. Долтон весьма обстоятельно исследовал явление. В снаряде, появившемся около 1802 г. **** под именем *воздушного огнива* (tachopyrion, briquet pneumatique), быстрое опускание поршня в цилиндре зажигает трут на дне последнего.

* *Mémoires de la Société d'Arcueil*, II, p. 207.

** Gehler, *Physik*. Wörterbuch, X, p. 229

*** Fischer, VI, p. 521.

**** Gehler, X, p. 230.

В новейшее время Джаул (1844 г.) исследовал факт с новой точки зрения*. Сжимая тело, мы тратим механическую работу; развившаяся теплота есть замена или преобразование этой исчезнувшей работы: мы раскачали мелкие частицы тела, и эти незаметные, но весьма быстрые качания ощущаются нами как теплота. Расширяясь, тело раздвигает препятствие, совершает работу, с ущербом своей теплоты.

Но здесь открывается разница между газами и прочими телами. Сжимая тело твердое или жидкое, мы не можем сказать вообще, сколько тепла разовьется, когда потратим определенное количество работы. Это будет зависеть от особых свойств сжимаемого тела. Не то бывает с газами: здесь данная величина потраченной работы вызовет всегда одно и то же количество тепла — какой бы ни был газ, каково бы ни было его состояние (плотность, температура). С другой стороны, когда газ расширяется и последовательно теряет теплоту и производит работу, опять отношение между потраченным теплом и выигранной работой будет одинаково для всякого газа. Этот закон (хотя не в полном объеме) высказал еще в 1828 г. Дюлонг**.

Как объяснить это? — В теле твердом или жидком работа, расходуемая нами при сжимании, идет не вся на нагревание тела, т. е. на раскачивание его частиц; часть работы тратится уже на то, чтобы сблизить частицы, не усиливая их колебания, т. е. не нагревая тела. Эту часть потраченной работы называют *внутренней работой сжатия*; только *остальная* часть обращается в *теплоту*. Обратно, когда тело (твердое или жидкое) расширяется, то часть его теплоты тратится на то, чтобы раздвинуть частицы, а остальная — на то, чтобы отодвинуть внешние препятствия; здесь исчезающее тепло обращается частью во *внутреннюю работу расширения*, частью в работу против окружающих внешних тел. Внутренняя работа различна, смотря по свойству тела: в одном сдвинуть частицы легче, в другом труднее; поэтому *различная* доля работы, тратимой нами при сжатии, потребляется без перехода в теплоту.

В газе нет внутренней работы: вот какое заключение извлекаем мы из вышесказанного. Сближение частиц газа, само по себе, не поглощает ничего из тратимой нами работы:

* Joule, *Philos Magazine* (3), vol. 26, p. 369.

** *Mém. de l'Acad. des Sciences*, X, p. 188.

вся она целиком идет только на нагревание газа (усиление частичных колебаний). Удаление частиц газа при расширении гоже не сопровождается, само по себе, ущербом теплоты: теплота расходуется здесь на работу внешнюю.

Если так, то сжатие и расширение газов дадут нам способ определить так называемый *механический эквивалент теплоты*, т. е. то количество работы, какое получается через преобразование одной единицы теплоты. Мы можем измерить ту работу, какую производит газ при своем расширении; наблюдая, насколько газ охлаждается при этом, мы узнаем, сколько теплоты он потерял при расширении: отношение произведенной работы к потерянной теплоте и будет механический эквивалент теплоты. Так вычислено впервые это важное число немецким врачом Ю. Р. Майером (1842 г); в числе разнообразных методов, какими Джаул определял механический эквивалент теплоты, некоторые основаны на том же начале (1844 г) Результат опытов Джаула, как известно, тот, что количество тепла, нагревающее какую-нибудь массу воды от 0 до 1° С, равносильно той работе, которую мы производим, поднимая эту массу на 424 метра.

Такой способ вычисления механического эквивалента теплоты, как видим, применим только в случае газов, где нет внутренней работы. В случае твердого и жидкого тела часть теряемой теплоты тратится на внутреннюю работу, и, не умея измерить этой последней, мы не в состоянии сказать, сколько работы всего-навсего произошло из данного количества тепла.

Выбирая газы для своего вычисления, Майер еще не сознавал ясно, что *только газы* и могут служить для такой цели Джаул, кроме опытов указанным путем, делал другие определения механического эквивалента, и согласие результатов навело его на мысль, что внутренняя работа в газах не существует.

Чтобы проверить эту мысль, Джаул рассуждал таким образом Если газ расширяется, *не совершая внешней работы*, то он не потратит и не приобретет теплоты, т. е. не охладится и не нагреется Джаул взял два резервуара, соединенных краном. Закрыв кран, он наполнил один резервуар сильно сжатым воздухом, а из другого выкачал воздух

По открытии крана сжатый воздух входил в пустоту и, следовательно, расширялся свободно, не преодолевая пре-

пятствий, не совершая работы Как следовало ожидать, температура газа при этом не изменилась*

Так оправдан важный принцип *отсутствия внутренней работы* в газах при их расширении или сжатии. Заметим, впрочем, что и здесь мы имеем закон только приближительный. Зарождавшаяся теория газов приводила к заключению, что полного отсутствия внутренней работы можно было бы ожидать только в *идеальных газах* (вполне повинующихся законам Бойля и Шарля) Действительные газы не таковы, и в самом деле, более точные опыты Джаула и Томсона (с 1850 г)** показали, что даже при свободном расширении (без внешней работы) большинство газов несколько *охлаждается* (для водорода следует ожидать небольшого нагревания). Итак, внутренняя работа в газах все-таки есть, но она крайне мала.

4. *Постоянство удельной теплоты.* Количество теплоты, необходимое для того, чтобы нагреть определенный вес вещества (1 килограмм) на 1°C , называют *удельной теплотой* этого вещества. При этом принимают за *единицу* теплоты (калорию) то количество теплоты, которое нагревает такой же вес (килограмм) *воды* с 0 до 1°C .

Исследуя удельную теплоту различных тел, твердых и жидких, физики нашли, что даже для одного и того же вещества она бывает различна, смотря по тому, какова его температура и какова его плотность. Нагревая килограмм воды не с 0° до 1° , а с 1° до 2° , мы потратим уже не единицу теплоты (1 калорию), а несколько более. Натянутая струна нагревается иначе, чем отпущенная.

Для газа нет такого различия в удельной теплоте, хотя именно газу легко давать большую или меньшую плотность. При всяких температурах и при всяком давлении удельная теплота воздуха одна и та же; то же и для других газов.

Этот факт обнаружен опытами Реньо над удельной теплотой газов***. И здесь, однакож, мы имеем закон *при-*

* Этот опыт был сделан еще в 1806 г. Ге-Люссаком (*Mém. d'Arcueil*, I, p 181), но в то время не обратил на себя особого внимания

** Joule and W Thomson, On the thermal effects of fluids in motion, *Philosophical Transactions* for 1853, 1854, 1862.

*** Relation des expériences, II (*Mém. de l'Acad. des Sciences*, XXVI, 1862)

близительный: уже Реньо заметил, что в газах, сильно отступающих от бойлева закона, не вполне соблюдается и постоянство удельной теплоты

Заметим, что оценка удельной теплоты газа будет весьма различна, смотря по тому, позволяем ли мы газу расширяться в то время, как он нагревается, или же удерживаем газ в неизменном объеме, усиливая по мере надобности внешнее давление. Если не усиливать давления и давать газу расширяться, то мы, понятно, потратим больше теплоты при нагревании газа, чем в том случае, когда расширения не происходит: в первом случае часть теплоты тратится на (внешнюю) работу, производимую расширяющимся газом. Поэтому различают удельную теплоту газа *при постоянном давлении* и удельную теплоту *при постоянном объеме*

5. *Отсутствие теплопроводности и электропроводности.* Известно, что газы — дурные проводники тепла и электричества. Слой воздуха в наших двойных рамах сильно предохраняет комнаты от зимнего охлаждения. Чтобы *изолировать* наэлектризованное тело, мы стараемся окружить его почти со всех сторон сухим газом. Распространение теплоты в газах происходит только путем *переноса нагретых частиц* (конвекция теплоты). Масса газа, нагреваемая *снизу*, скоро прогревается вся, но именно путем переноса: теплые части, по легкости, всплывают вверх, заменяясь холодными, которые в свою очередь нагреваются. Если же нагревать газ *сверху*, то такого переноса не будет, и тогда теплота вниз не будет проникать.

И здесь, однакож, правило имеет свои границы. При сильном напряжении электричество проходит через воздух. Разреженный газ делается как бы проводником электрического тока (напомним гейсслеровы трубки). С другой стороны, и теплопроводность газов, хотя мала, может быть обнаружена, как доказал впервые Магнус (1861 г.). Стэфан и др. измерили теплопроводность газов. Оказалось, что для воздуха она почти в 4000 раз слабее, чем для железа; для водорода слишком в 6 раз больше, чем для воздуха. Любопытно, что новая теория газов *предсказала* цифры теплопроводности газов весьма близко к тем, какие потом дал опыт.

7. *Линейность спектра.* Раскаленный до свечения газ обнаруживает особого рода простоту в составе того света,

который из него выходит. В то время как раскаленное твердое или жидкое тело испускает лучи всевозможных цветов, газ дает только некоторые, строго определенные сорта света: он обнаруживает, так сказать, „избирательное лучеиспускание“. Разлагая свет газа стеклянной призмой, чтобы увидеть состав его спектра, мы найдем, что этот спектр состоит из нескольких (иногда очень немногих) тонких светлых линий, разделенных темными промежутками. Так спектр раскаленного водорода состоит из трех линий — красной, голубой и фиолетовой, обыкновенно означаемых буквами С, F и G. Спектр раскаленного твердого или жидкого тела представляет непрерывное целое, где все места от одного края до другого более или менее наполнены, — так сказать, непрерывный ряд светлых полосок всех цветов.

Этот важный факт опять обнаруживает нам какую-то особую простоту в физической натуре газа. В спектре эфирные волны, ощущаемые нами как свет, рассортированы таким образом, что каждая полоска спектра соответствует, так сказать, определенному *тону* света, определенному *периоду колебаний* эфира. Проводя такую параллель между звуком и светом, мы можем сказать, что газ дает нам только несложный аккорд световых тонов, между тем как в спектре других тел сливаются все возможные тоны света. Газ уподобляется как бы камертону или нескольким камертонам, тела жидкие и твердые — телам, издающим немusыкальный шум.

По общему закону физики, всякое тело имеет способность поглощать именно те лучи света (те световые тоны), какие оно само испускает. Лучи раскаленного и сильно светящего твердого или жидкого тела, проходя через раскаленный газ, лишаются тех именно тонов, какие входят в состав собственного спектра этого газа; если этот газ — водород, то он отнимет те три тона, которые мы называли С, F, G. Самый газ, правда, издает эти три тона; но если свечение его слабо сравнительно с тем светом, который через него пропущен, то вознаграждение со стороны газа будет слишком мало; тогда в спектре пропущенного света образуются три темные линии на месте полосок С, F и G. Итак, светящийся газ имеет свойство поглощать определенные тоны в спектре постороннего тела — образовать черные линии на некоторых определенных местах. Такого „из-

бирательного поглощения“ не имеют тела твердые и жидкие.

Описанные свойства газов открыты и подробно исследованы проф Кирхгофом (с 1859 г.); линейность спектра светящихся паров натрия заметил еще в 1849 г. Фуко Известно, что исследования Кирхгофа дали начало химии небесных тел: присутствие черных линий в спектре солнца указало, что на солнце находятся в газообразном состоянии многие из веществ, знакомых на земле Линейность спектров некоторых „туманноседей“ неба, обнаруженная Хеггинсом, дала ему право заключить, что они состоят из газов. И в земной химии „спектральный анализ“ газов получает все более и более важное значение.

Но и закон линейности спектров подлежит ограничению. Позднейшие опыты Франкланда (1868 г.) показали, что водород и окись углерода, сгорая в чистом кислороде под сильным давлением, дают уже спектры непрерывные. Можно думать, что вообще с увеличением давления газа спектр его теряет свою характеристическую простоту, приближаясь к спектру тела жидкого или твердого.

Мы проследили, с одной стороны, ряд открытий, утвердивших за газами известную простоту физических свойств, с другой стороны, — ряд разочарований в совершенной строгости этих простых законов. Закончим еще одним разочарованием, касающимся самого первоначального и существенного признака.

Мы считали газ *совершенной жидкостью*, т. е. таким телом, которое не оказывает ни малейшего сопротивления изменению формы, — телом, частицы которого движутся одна мимо другой при малейшей извне приложенной силе.

Собственно жидкие тела (несжимаемые или капельные жидкости) не вполне таковы: в них есть, в большей или меньшей степени то, что называется *внутренним трением* или *вязкостью* (*viscositas*). Частицы их несколько мешают друг другу при передвижении, и нужна определенная сила, чтобы подвинуть слой жидкости мимо соседнего слоя. Это свойство отметил уже Ньютон под именем *недостатка скользкости* (*defectus lubricitatis*)*. В воде такое трение не-

* *Principia*, lib II, sect. IX.

велико, в патоке оно гораздо значительнее, и от идеальной жидкости до идеально твердого тела мы можем представить себе непрерывный ряд ступеней.

Можно бы думать, что упругие жидкости (газы) изъяты от этого недостатка. Их удобоподвижность представляется на первый взгляд вполне совершенной. Но точное изучение открыло и в газах некоторую степень внутреннего трения.

Уже знаменитый астроном Бессель (1827 г.), исследуя влияние воздуха на качания маятника, пришел к заключению о каком-то особом влиянии, которое не объяснялось известными фактами. Стокс (1847 г.) признал здесь внутреннее трение воздуха и определил его величину. В новейшее время О. Э. Мейер, Максвелл, Кундт и Варбург и др. различными способами определяли внутреннее трение газов. Их работы важны по отношению к новой теории газов. Замечательно, что внутреннее трение *не зависит от плотности газа*: воздух, разреженный в 750 раз, обнаруживает такое же трение, как обыкновенный. Только при крайней степени разрежения заметна убыль внутреннего трения; но даже в самом совершенном „безвоздушном“ пространстве, какое достигается лучшими насосами, внутреннее трение оставшегося воздуха не менее одной трети того, какое бывает в атмосфере. По всей вероятности оно играет существенную роль в так называемых *радиометрах* или световых мельницах Крукса.

Вот характеристические черты газов. Прежде чем воспользоваться ими для *теории* газообразного состояния, мы должны рассмотреть вопросы о *парах* и о *сжижении* газов.

IV

Мы видели, что ван-Хельмонт ставит границу между *газами и парами*, полагая однакож, что пар может перейти в газ и обратно, Лавуазье, как бы не признавая разницы между тем и другим, говорит: *газ воды, газ винного спирта* (*gaz aqueux, g. alcoolique*) вместо общепринятых выражений *водяной пар* и пр.*.

Есть ли разница между паром и газом? Как образуются пары, какие их свойства, при каких условиях пар делается

* *Traité élem de Chimie*, part. I, chap IV (*Oeuvres*, I, p 47)

жидкостью, при каких — настоящим газом? Вот вопросы, которыми нам предстоит заняться.

С незапамятных времен известно, что жидкости *испаряются*, что при высоких температурах испарение делается особенно энергичным — переходит в *кипение*. Пары, получаемые из воды и других жидкостей, имеют, повидимому, все свойства газов. Мы должны назвать их тоже *упругими жидкостями*. Древние прямо говорили, что вода, испаряясь, превращается в воздух: мысль, дошедшая до новых времен и отринутая только тогда, когда точно узнали химический состав воды и воздуха. Аристотель замечет, что при этом превращении воды в воздух последний стремится занять больший объем и может своей силой разорвать замкнутый сосуд, в котором содержится[†]. Герон пользуется давлением пара так же, как и давлением воздуха. В своей „Пневматике“ он описывает несколько снарядов, действующих паром; из них один — первообраз паровой машины (так называемый *золипил*). Пар из котла входит в пустой шар, могущий вертеться на оси, и, вытекая из него сквозь две противоположно загнутые трубочки, дает шару вращательное движение**.

Эта мысль о паре, как рабочей силе, возникла вновь в начале XVII века. Порта (1601 г.), де-Ко (de Caus, 1615 г.), Бранка (1629 г.) описывают различные приспособления пара как двигателя. Далее следуют: маркиз Уустер (Worcester, 1656 г.), Папэн (Papin), Сэври (Savery, 1697 г.), Ньюкомн (Newcomen, 1705 г.), Дезагюлье^{***} и др. Но все это были несовершенные попытки. С 1759 г. знаменитый Джемс Уатт (1736—1819) посвятил себя усовершенствованию паровой машины и произвел в ней полную реформу. Его первый патент взят в 1768 г.; лет пятнадцать спустя он дал своей машине окончательную форму. Своим изобретением Уатт

[†] At quum oritur aër ex aquâ, majorem aër occupat locum. . . Evaporante enim humido, spirituque turgente, ea vasa quae moles continent, ob angustiam rumpuntur (De coelo, lib. III, cap. VII. *Opera*, ed. Didot, II, p. 420)

^{**†} Contingent igitur succenso lebetè vaporem per tubum in sphaeram incidentem extra cadere per tubos inflexos, et sphaeram convertere, quemadmodum in animalibus choreas ducentibus (Veter. *Mathem Opera*, 1693, p. 202.)

^{***†} Первая машина Дезагюлье (усовершенствование машины Сэври) сделана по заказу Петра Великого. Она была поставлена в дворцовом саду в Петербурге и поднимала воду на 40 футов (1717 или 1718 г.).

„оказал своей стране благодеяние, более прочное, чем все трактаты, когда-либо ею заключенные, и все сражения, когда-либо выигранные“*.

Уже Аристотель приписывает образование паров прямому и непосредственному действию теплоты**. Его учением об абсолютной легкости огня объясняли еще в XVII веке, почему пары поднимаются вверх: примесь огня облегчает отделившиеся частицы тяжелой материи Бойль старается доказать, что хотя пары образуются от теплоты, но стремятся вверх и поддерживаются благодаря воздуху***. Борелли (1686 г) признает пар соединением мелких частичек воды с „огненной материей“, но эта последняя не абсолютно легка, а только легче воздуха****. Ньютон в своей „Оптике“ (1704 г) приписывает образование паров отталкивательной силе тепла, отделяющей частицы от нагретого тела****. Водяные пары легче обыкновенного воздуха, ибо он происходит из частиц более плотных веществ, чем вода (*corpota crassiora*)

Вопросы об образовании пара, о его восхождении в атмосфере сильно занимали физиков XVIII века. В 1743 г. академия наук в Бордо назначила премию за разъяснение

* Drapez, II, p. 385 Прибавим, что первая мысль о применении пара к плаванию принадлежит, повидимому, Папéну (письма к Лейбницу, 1697 г.); в 1707 г. он делает опыты на реке Фульде. В 1736 г. Гулле (Hulls) берет патент на изобретенный им пароход; в 1781 г. маркиз Жюффруа (Jouffroy) пускает две паровые лодки на Роне, с 1793 г. начинаются работы Фултона и Ливингстона в Америке, почти одновременно — попытки разных лиц (особенно Симингтона) в Англии. Пароход Фултона „Клермонт“ в 1807 г. сделал рейс из Нью-Йорка в Олбани — Употребление локомотивов на суше восходит к 1769 г. (паровоз Робисона на реке Клайде, в Шотландии); в 1802 г. Тревитик и Виван берут патент на локомотив; в 1814 г. Стивенсон (Stephenson) строит первый годный локомотив для перевозки угля на железной дороге Дарлингтон — Стоктон Rankine, *Manual of the steam-engine*, p. 1 sq. Marbach u. Cornelius, *Physikal. Lexicon*, II, 430 sq и пр

Теорию паровой машины развил граф Памбур (1835 г) и переработал, с точки зрения механической теории теплоты, Клаузиус (1856 г.).

** Aristot. *Meteorol*, lib. I, passim

*** Boyle, *Nova exper de vi aëris elasticâ*, exp. XXIX. О самой теплоте Бойль высказывает местами мнения, близкие к современным

**** Fischer, II, p. 177.

**** Newton, *Optices*, lib. III, quaest. XXXI.

этих задач По мере того как различные отрасли физики выступали на передний план, объяснения рассматриваемых фактов принимали, так сказать, характер последней моды В эпоху, когда гидростатика и учение о воздухе обращали на себя особое внимание, явилась гипотеза, что частицы пара суть тонкие водяные пузырьки, наполненные разреженным воздухом или теплотой, — маленькие аэростаты своего рода Так думали Галлей, Лейбниц и др.; теория развита Кратценштейном в трактате, написанном для получения Бордосской премии. Далее мода на гидростатику сменилась модой на электричество. Электричество стали вмешивать во всевозможные вопросы физики и даже биологии. По Дегаюлье частицы пара окружены электричеством и притягиваются воздухом, который наэлектризован противоположным образом Огонь или теплота (*ignis mas*) есть причина расторжения испаряющейся жидкости на мелкие частицы; электричество (*ignis femina*) служит причиной восхождения паров вверх Впрочем, Дегаюлье считает нужным вмешать в дело еще другие необыкновенные причины (подземный огонь, внутреннее брожение земли, ветры и пр) *.

Наступила очередь химии Уже Бойль сравнивал смесь воздуха и пара со смесью соли и воды Знаменитый астроном Галлей (сперви державшийся другого мнения) думает (1691 г), что „воздух сам по себе может всасывать и удерживать известное количество паров, подобно тому как соль растворяется в воде“ **. Эта теория растворения развита (1751 г) у ле-Руа (*le Roy*). Мало прозрачное тело, будучи растворено в воде, может дать прозрачный раствор; так и вода, растворенная в воздухе, невидима. Раствор этот, как и всякий другой, может дойти до насыщения; за известным пределом излишек растворяемого (воды) остается в видимой (жидкой) форме тумана. Количество воды, потребное для насыщения воздуха, зависит от температуры: вообще чем теплее раствор, тем он может быть гуще, прежде чем дойдет до насыщения. Если охладить воздух, насыщенный паром, то раствор, так сказать, пересыщается; часть пара осаждается и делается заметной, как туман.

Теория растворения объясняла многие факты и держалась долго: еще в 1800 г. Ге-Люссак говорит о „воде, ра-

* Fischer, V, p 61

** *Philos. Trans* abridged, vol III, p 428.

створенной в воздухе". Слова: *насыщение паром, осажде-ние пара* остались и в современном научном языке. Но один факт совершенно разрушал теорию. Еще Бойль заметил, что вода успешнее кипит в *безвоздушном пространстве*: вода, кипевшая и уже несколько остывшая, снова закипала под колпаком воздушного насоса *. Гюйгенс и Папен кипятили воду в закрытом безвоздушном сосуде на слабом огне. В 1737 г. швед Валлериус противопоставил теории растворения эти забытые факты; своими опытами он ясно показал, что отделение и восхождение паров из воды происходят в пустоте еще быстрее, чем в воздухе. Еще лучше опыт Уатта: капля воды, введенная в Торричеллиеву пустоту барометра, превратилась в пар, который своей упругостью заставил ртуть опуститься на полдюйма.

Эти опыты опровергали и гидростатическую теорию и теорию растворения: нельзя же было допустить, что водяные пузырьки легче пустоты или что растворяющим материалом для воды служит пустота. Пришлось возвратиться к старой мысли, что теплота — главная и непосредственная причина образования паров.

Но влияние химии сказалось и на этом воззрении. В трудах Блакка и Лавуазье гипотеза о паре, как *соединении жидкости с теплородом*, приняла химическую окраску. Важное открытие явилось на помощь этому учению: около 1757 г. Блэк доказал существование *скрытой теплоты* паров **.

Уже Гук заметил (1684 г.), что кипящая вода не изменяет своей температуры во все время кипения, так же как тающий лед — во все время таяния. Бойль и Галлей, а особенно Ренальдини (1694 г.) и позднее Реомюр (1730 г.) воспользовались этими двумя температурами (тающего льда и кипящей воды), как постоянными точками термометра.

* *Nova exper. de vi aëris elasticâ*, 1659, exper XLIII.

** Иделер (*Meteorologia veterum Graecorum et Romanorum*, 1832, р 94) находит сведения о скрытой теплоте уже у Аристотеля. Без сомнения, интересно встретить такое место: „ясно, что пар теплее воды, ибо содержит в себе еще тот огонь, который возгонял его вверх, так что нужен большой холод, чтобы его заморозить“ („perspicuum enim est, vaporem aquâ esse calidiorem, quam ignem, qui sursum evexerat, adhuc contineat, ita ut majore opus sit frigore, ut congeletur“ *Meteorol.*, lib. I, cap. X, *Opera*, III, p. 565); но видеть в этих словах учение о скрытой теплоте — слишком уже смело. Холод от испарения замечен был, повидимому, и древними (Ideler, pp 93—95).

Это постоянство точки кипения, а также и некоторые другие факты (медленность, с какой происходит выкипание воды; опыты Куллена и др. над развитием холода при испарении; сильная жгучесть осаждающегося пара кипящей воды) привели Блэка к учению о *скрытой теплоте* (latent heat) паров.

Когда вода начинает кипеть, вся теплота, вновь прибывающая к ней извне, *скрывается*: она как бы связывается водой, соединяясь с ней в нечто новое — пар, и в этом виде перестает действовать на термометр. Как при химическом соединении двух веществ, оба они перестают существовать в отдельности, а является некоторое третье вещество, так вода и теплород, соединяясь, дают пар. Вся теплота, получаемая паровиком из очага во время кипения, тратится не для нагревания воды, а собственно для обращения ее в пар. Килограмм пара при 100° С и килограмм воды при 100° одинаково действуют на термометр, но первый содержит гораздо больше теплорода: кроме той теплоты, которая есть в воде, пар обладает еще большим количеством скрытого теплорода, которое поглощено им при своем образовании. Пока этот теплород соединен с водой, он не сообщается термометру; но когда соединение разлагается (пар оседает), то скрытое тепло делается *явным*. Блэкк нашел, что 1 килограмм пара содержит 445 единиц такой скрытой теплоты; это значит, осаждаясь, он нагреет 445 килограммов воды, взятой при 0° , на 1 градус *. Позднейшие наблюдения дали еще более высокую цифру (537, по Ренью, для кипения в обыкновенных условиях).

Точно такое же скрытие теплоты происходит, как показал Блэкк, при плавлении или таянии твердых тел. Получаемая при этом жидкость есть соединение твердого тела с теплородом. При отвердении или замерзании, этот теплород освобождается и действует на термометр.

Как сера, соединяясь с кислородом, образует два различные соединения — сернистую кислоту и серную, — из которых второе богаче кислородом, так точно, по идее Блэка, твердое тело, например лед, способно давать два различные соединения с теплородом: при меньшем количестве теплорода — воду, при большем — водяной пар.

* Black, *Lectures on Chemistry* (нем. перев. Grell'я, 1804, I, p. 201).

„Открытые мной два различные соединения теплоты, — говорит Блэкк, — соединения, в которых она дает жидкости и пары, внушили г. Лавуазье смелое предположение, что есть еще иное соединение, которое дает постоянно упругие жидкости (газы), не разлагающиеся от прикосновения холодного тела (как это бывает с жидкостью или паром)... Оказалось нетрудным отдать себе отчет в тех больших количествах теплоты, которые освобождаются при горении. Таким образом эта новая теория (горения) основана на учении о скрытой теплоте и представляет в сущности только его распространение“ *. Горящее тело, соединяясь с одним из газов воздуха (кислородом), сгущает его, лишает газообразной формы, и скрытая теплота газа делается явной.

Здесь Блэкк еще отличает пары от газов. Лавуазье, как мы заметили, устраняет это различие: вода, нагретая до точки кипения, принимает состояние *пара или газа* (l'état de vapeur ou de gaz) **. Все тела пропитаны тонкой, весьма упругой жидкостью — теплородом (calorique); в жидких телах теплорода больше, чем в твердых, в газах еще больше. Теплород наряду со *светом* поставлен у Лавуазье во главе списка веществ, входящих в состав природы ***. Он служит как бы растворяющим средством для обыкновенной материи (fait, en quelque façon, l'office de dissolvant) ****. Впрочем, Лавуазье видит, что материальность теплорода можно и не признавать *****. Теплород стремится разделять частицы тел, отталкивает их одну от другой, противодействуя их взаимному притяжению. Пока притяжение берет верх, тело остается твердым; когда отталкивательная сила теплорода окончательно преодолела силу притяжения, тело становится газом. Промежуточное, жидкое, состояние обусловлено тем, что силе притяжения частиц помогает еще давление атмосферы; без этого давления мы, по мнению Лавуазье, не имели бы постоянных жидкостей: тающее тело мгновенно переходило бы в пары.

Эту мысль, что давление атмосферы удерживает жидкость от быстрого обращения в пар, Лавуазье подтверждает рядом опытов, знакомых, как мы видели, еще Бойлю. Вода, эфир,

* Black, I, p 302

** Lavoisier, Traité elem. de Chimie, *Oeuvres*, I, p. 18.

*** *Ibid*, p. 135.

**** *Ibid*, p. 26.

***** *Ibid*, p. 19.

алкоголь и пр. испаряются в безвоздушном пространстве весьма быстро и при температурах ниже обыкновенных точек кипения этих жидкостей. Испарение продолжается до тех пор, пока искусственная атмосфера паров, образовавшаяся над жидкостью, не будет настолько густа, что своим давлением помешает дальнейшему переходу в пар. Если жидкости много, это случится прежде, чем она испарится сполна; если мало — жидкого остатка не будет. С другой стороны Бойль и Папен показали, что в плотном замкнутом котле точка кипения воды становится выше: пар, сгущаясь и не имея выхода, давит на воду сильнее обыкновенной атмосферы и затрудняет кипение *. В таком котле (*дигестор* Папена) размягчаются и вывариваются даже кости.

Недолго спустя после выхода в свет „Химии“ Лавуазье (1789 г.) де-Люк (de-Luc) формулировал законы испарения **. Он указывает в особенности, что испарение совершается при всякой температуре, пока пар не достиг известной плотности и упругости, дальше которых при тех же условиях он не может развиваться. При данной температуре есть известный *максимум* для плотности и упругости пара; он тем больше, чем выше температура. Когда этот максимум достигнут, малейшее охлаждение, малейшая прибавка давления *разлагают* (осаждают) часть пара, ибо иначе плотность его оказалась бы слишком большой для данной температуры.

Кипение есть образование пара не только на поверхности, но и внутри жидкости. Чтобы пар мог выделяться изнутри, он должен иметь такую плотность и упругость, чтобы мог преодолеть внешнее давление. Оттого кипение требует определенной температуры: это — та температура, при которой пар достигает упругости, равной внешнему давлению. Если уменьшим давление (например, под колоколом воздушного насоса), точка кипения, понятно, понизится; сделаем давление больше атмосферного (как в котле Папена), — и вода будет кипеть при более высокой температуре.

Эти идеи еще отчетливее выразил основатель атомистической теории в химии Джон Долтон (1766—1844), уже известный нам своим законом смешения газов. Долтону мы обязаны окончательным разъяснением вопроса о парах и об

* Fischer, III, p. 241.

** *Philos. Trans*, 1792, part. II, p. 400 (перев. в *Gren's Journal d. Physik*, VIII, pp. 141, 293).

испарении; он первый произвел точные измерения упругости паров при данных условиях. Важнейшие работы Долтона начинаются с 1801 г.*.

Долтон, во-первых, исследует образование паров в пустоте. Он вводит каплю воды в Торричеллиеву пустоту барометрической трубки, опущенной в ртуть. Эта капля или часть ее вскоре обращается в пар, который своим давлением понижает ртуть; величина понижения служит мерой упругости пара, показывая, как высок тот столбик ртути, вес которого давил так же, как теперь давит пар. Опуская трубку глубже в ртуть, мы будем сжимать этот пар, сокращая размер Торричеллиевой пустоты; поднимая трубку выше, мы заставим пар, напротив, расширяться. Каждый раз недочет в высоте ртутного столба сравнительно с полной барометрической высотой (в трубке без пара) будет измерять собой упругость пара**.

Допустим, что капля воды была очень мала и вся без остатка испарилась в пустоте. В этом случае, расширяя или сжимая пар указанным путем, мы увидим, что его упругость уменьшается или увеличивается приблизительно так, как следует по закону Бойля для газов. Но при известном пределе сжатия упругость пара *перестает возрастать*, она достигла своего *максимума* и далее *не изменяется*. Теперь пар *насытил* свое пространство; при дальнейшем сжатии он начнет *оседать* в виде тумана и понемногу скопляться на дне пустоты, как жидкий слой воды. Увеличивая сжатие, мы будем увеличивать количество осадившейся воды; но пар, пока он есть, будет сохранять ту же самую упругость.

Наконец, при известной степени сжатия, пара не останется: он весь обратится в воду. Если теперь станем мало-помалу поднимать трубку, пар опять начнет накопляться; все время, пока еще есть жидкая вода, этот пар будет иметь одну и ту же упругость, хотя *объем* и *количество* пара будут увеличиваться. Все это время пар *насыщает* пространство. Когда, наконец, вся вода испарилась, то при дальнейшем расширении пар уже *не насыщает* пространства, и упругость пара начнет теперь уменьшаться, как в случае газа.

* *Memoirs of the literary and philos. Society of Manchester*, vol. V.

** Маленький слой воды, не обращенной в пар, если он и есть, производит давление ничтожное.

То же самое будет происходить, если, вместо того чтобы *сжимать* и *расширять* пар, мы будем *охлаждать* и *нагревать* пространство, им занимаемое. Холод действует так же, как сжатие, теплота — как расширение. Пар насыщенный перестанет быть таковым, если температура повысилась; если жидкая вода еще есть, часть ее испарится вновь для пополнения недостатка, вместе с этим возрастет и упругость пара. Наоборот, если охладим насыщенный пар, то часть его осадится и упругость оставшегося станет меньше.

Итак, пар является нам в двух видах: 1) насыщенный и 2) ненасыщенный. Первый имеет вполне определенную упругость — наибольшую, какая возможна для пара при данной температуре. Этот максимум упругости будет тем выше, чем выше температура. При сжатии и расширении такого пара его упругость не изменяется; если только он продолжает насыщать пространство. Итак, насыщенный пар *не следует закону Бойля*.

Пар ненасыщенный может быть только в том случае, когда нет в соседстве с ним жидкой воды: иначе он бы дошел до насыщения. Пока насыщения нет, пар приблизительно повинуется газовому закону Бойля. Упругость такого пара меньше того максимума, какого бы можно было достигнуть при данной температуре. Пар этот делается насыщенным только при охлаждении. Поэтому ненасыщенный пар называют также *перегретым*.

От изучения паров в пустоте Долтон перешел к вопросу о парах *в воздухе*. Здесь подтвердился любопытный факт, замеченный еще прежде де-Люком; оказалось, что наибольшая упругость пара в воздухе такова же, как и в пустоте; разница в том только, что в воздухе испарение происходит медленнее и этот максимум упругости достигается не вдруг. Такие опыты и привели Долтона к известному нам закону смешения газов; этот закон распространяется не только на газы, но и на пары: „Когда несколько различных паров или газов заключены в данном сосуде, то в конце концов каждый из них распределится так, как если бы он был один“.

Исследования Долтона окончательно опровергли теорию растворения воды в воздухе. Они объяснили так же „восхождение“ паров в атмосфере, так долго непонятное физикам. Опыты Долтона сделаны над парами в замкнутом

сосуде; но обобщая свои результаты, он прилагает их ко всей атмосфере. По его мнению, каждый из газов и паров, входящих в состав воздуха, образует свою *особую атмосферу* совершенно так, как если бы он был один; истинная атмосфера есть сумма или смесь этих отдельных атмосфер кислорода, азота, водяного пара, углекислоты и пр. Такой вывод далеко еще не подтвержден. Во всяком случае законы смешения газов и паров относятся к *состоянию равновесия*, какого не представляет атмосфера.

Долтон дал довольно точную таблицу *упругостей насыщенного водяного пара*. Мы видели, что упругость насыщенного пара зависит только от температуры; весьма важно определить ее для различных температур. Между прочим, имея ряд таких определений, мы сейчас находим, какова температура кипения воды под данным давлением: это будет та температура, при которой упругость насыщенного пара равняется этому давлению. Под давлением одной атмосферы (столба ртути в 0,76 метра вышиной) вода кипит при 100° С, ибо при *этой* температуре упругость пара равна давлению атмосферы.

Попытки определять упругость паров делались еще много раньше (Морланд, около 1682; Циглер, 1759; Уатт и др.); но исследование Долтона составляло важный шаг вперед. Долтон исследовал водяной пар преимущественно при температурах от 0 до 100° С; кроме воды, он брал еще некоторые другие жидкости (эфир, алкоголь и пр.).

Целый ряд работ на ту же тему следует далее. Предмет стал особенно важен, когда паровая машина вошла в общее употребление. Главный интерес и главную трудность при исследовании представляли температуры выше 100° : чтобы наблюдать насыщенный пар выше обыкновенной точки кипения воды, приходилось кипятить ее в замкнутых котлах, под искусственной атмосферой из сжатого воздуха и пара (как в котле Папена). Самые точные измерения принадлежат Густаву Магнусу и Виктору Реньо; они были начаты почти одновременно (1843 г.) и по точности далеко оставили за собой все прежние наблюдения. Результаты Реньо, изложенные в I томе его „*Relations*“, рядом с исследованиями о газах *, относятся к температурам от -32°

* *Relation des expériences etc.*, I (*Mém. de l'Acad. des Sciences de Paris*, XXI), pp. 465—633.

до $+23^{\circ}$ С; упругости пара при этих пределах были $\frac{1}{3500}$ атмосферы ($\frac{1}{8}$ миллиметра ртути) и $27\frac{1}{2}$ атмосферы (около 21 метра ртути). Мы не можем подробнее говорить об этих опытах; заметим только, что они показывают *весьма быстрое* повышение упругости пара с возрастанием температуры: при 100° эта упругость равна 1 атмосфере, при 230° — уже $27\frac{1}{2}$ атмосферы.

Описанные нами исследования, в особенности долтоновы, подтверждали ту точку зрения относительно паров и газов, на которой стоял уже Лавуазье. Пары *ненасыщенные* (перегретые) имеют приблизительно те же свойства, что и газы; прибавим, что чем далее пар от точки насыщения, тем точнее повинуется он законам газа. Не суть ли и газы не что иное, как *перегретые пары*? Не в том ли вся разница, что мы умеем произвести ту низкую температуру или то высокое давление, при которых начинается осаждение паров; между тем как для насыщения или осаждения газов требовался бы гораздо больший холод или гораздо большее давление, чем какими мы обыкновенно располагаем? Если так, то вся трудность сжижения газов чисто практическая; чтобы преодолеть ее, нужны средства производить еще более низкие температуры, еще более высокие давления.

Отступления самых газов от законов *идеального* газа подтверждают эту догадку. Мы видели, что все вообще газы при низких температурах и высоких давлениях уклоняются от законов Бойля и Шарля. Если пар с удалением от точки насыщения как бы приближается к свойствам газа, то и газ в свою очередь приближается к свойствам перегретого пара, подходя к своей, еще неизвестной нам точке насыщения.

Уже с самого начала текущего столетия начинается ряд опытов над *осаждением* или *сжижением* газов*. В 1823 г. величайший физик Англии после Ньютона, Михаил Фарадей (1791—1867), сжижает *девять* веществ, считавшихся

* Термин *сгущение* менее точен; он дает повод думать, что главное условие здесь — увеличение плотности газа (сжатие), между тем как мы говорим о двух средствах, ведущих к цели, — о сжатии и охлаждении. Мы увидим, что одно сжатие без охлаждения не осаждает некоторых газов, так что из двух средств *охлаждение* играет более существенную роль.

постоянными газами. В позднейших сообщениях (1844—1845) он прибавляет к этому списку еще шесть новых газов и *семь* газов получает не только в жидком, но и в *твердом* виде.

Сын кузнеца, подмастерье переплетчика в своей ранней юности, Фарадей кончил жизнь членом всех ученых обществ, бесспорно признанным главой физиков своего времени. Никогда со времен Галилея свет не видал стольких поразительных и разнообразных открытий, вышедших из одной головы, и едва ли скоро увидит другого Фарадея. Заслуги его громадны. Первые опыты над сжижением газов были дебютом ученой деятельности Фарадея. Затем следуют: открытие наведения (индукции) токов со всеми его последствиями; закон электрохимического разложения; опыт „намагничивания света“; открытие диамагнетизма и всеобщности магнетизма. Не говорим о других изысканиях; любое из названных достаточно, чтобы дать ученому право на бессмертие в науке. Не математик по воспитанию, Фарадей гениальным чутьем восполнял этот недостаток. Глубокие идеи, которые он заронил в теорию электрических явлений, только теперь получают должную оценку и уже привели к новым блестящим открытиям*.

Начиная свои опыты над газами, Фарадей не знал о каких-либо прежних работах по тому же предмету. Познакомившись затем с литературой вопроса, он дал критический обзор этих прежних изысканий**. Извлекаем некоторые факты из этого обзора.

Можно думать, что при опытах графа Румфорда в Мюнхене (1797 г.) над силой воспламененного пороха получалось сжижение *углекислоты*. Газы, заключенные в замкнутом стальном цилиндре, вдруг обнаружили поразительное уменьшение упругости: повидимому, часть их отвердела от собственного давления. Румфорд не видал этой твердой или жидкой массы, ибо по открытии клапана все улетучилось опять.

Сжижение *аммиачного газа* приписывали себе многие исследователи; но, повидимому, они брали насыщенный

* Недавние открытия Максвелла о тесной связи явлений электрических и световых.

** Faraday, *Experimental Researches in Chemistry and Physics*, 1859, p. 124.

раствор этого газа в воде. Около 1800 г. Монж и Клуэ (Clouet), по свидетельству Фуркруа, получили жидкую *сернистую кислоту*. Жидкий *хлор* получался, может быть, в опытах Гюйтона-де-Морво (1801 г.) и несомненное — Норсмора (Northmore, 1805—1806 г.).

Фарадей был ассистентом профессоров Бранда и Деви в Лондонском королевском институте (Royal Institution), когда начал свои опыты над сжижением газов. Часы, свободные от других занятий, он посвящал своим изысканиям, и весной 1823 г., по собственному почину, начал исследовать твердое вещество, которое долго считалось химическим элементом — хлором, но после работ сэра Хомфри Деви (1810 г.) оказалось гидратом хлора, т. е. соединением хлора и воды. Фарадей первый анализировал этот гидрат и описал его состав. Деви прочел эту работу и посоветовал автору нагреть гидрат под давлением в запаянной стеклянной трубке. Это было сделано. Вещество расплавилось при температуре крови, трубка наполнилась желтой атмосферой и содержала две жидкости. Д-р Парис случайно зашел в лабораторию, когда Фарадей был за работой. Увидав маслообразную жидкость в трубке, он попрекнул молодого химика за небрежность, полагая, что он не вычистил сосуда. Когда отпилили конец трубки, произошел взрыв и жидкое масло исчезло. На другой день рано утром д-р Парис получил следующую записку: „Дорогой сэр, *масло*, замеченное вами вчера, оказалось жидким хлором. Ваш М. Фарадей“. Хлорный газ был сжижен собственным давлением*.

К отчету об этом опыте Деви прибавляет: „Предлагая г. Фарадею нагревать гидрат хлора в закрытой стеклянной трубке, я полагал, что произойдет одно из трех: либо вещество расплавится как целое, либо разложится вода... либо выделится хлор в сгущенном состоянии“**. В один день с работой Фарадея, в Королевском обществе читано сообщение Деви, которому удалось получить в жидком виде газ соляной кислоты (соединения хлора с водородом).

Так начинается ряд знаменитых работ Фарадея, результатом которых было получение в жидком и частью в твердом

* Tyndall, *Faraday as a discoverer*, ed. 1877, pp. 16—17.

** Faraday, *Exp. Res.*, p. 88.

виде большинства исследованных газов*. Способ, употребленный Фарадеем, чрезвычайно прост. Берется стеклянная трубка, запаянная с обоих концов и перегнутая в виде сифона. В одном конце помещен материал, из которого при нагревании получается желаемый газ, и этот конец нагревается; другой конец опущен в охлаждающую смесь (снег с солью и т. п.). Газ, накопившись в большом количестве, сжимает себя собственным давлением; холод помогает делу, и в холодном конце осаждается часть газа в жидком виде. Понятно, что такие опыты представляют опасность взрыва: уже при первых работах тринадцать кусочков стекла попали в глаз Фарадея**.

Чтобы дать понятие о тех температурах и давлениях, при каких происходило сжижение газов, укажем, что

Сернистая кислота	сжижалась при . . .	7,2° С	и 3	атм. давления
Углекислота	"	" . . . 0	" 36	" "
Аммиак	"	" . . . 10	" 6 ¹ / ₂	" "
Хлор	"	" . . . 15 ¹ / ₂	" 4	" "

Большинство жидких газов были прозрачны и бесцветны, хлор сохранил свой характеристический желтый цвет.

Как видим, при этих опытах еще не требовалось ни особенно низких температур, ни слишком больших давлений. Желательно было получить сжиженные газы в большем количестве и, если можно, довести их до *замерзания*.

В 1829 г. Тилорье (Thilorier), пользуясь суммой, пожертвованной герцогом де-Люинь (200 000 франков), устроил аппарат для сжижения газов, состоящий из двух соединенных металлических сосудов: в одном развивается углекислый газ (из соды и серной кислоты), в другом он охлаждается***. Аппарат требовал большой прочности, и в первое время дело не обошлось без несчастных случаев. С 1834 г. Тилорье получал своим снарядом весьма быстро большие количества жидкой углекислоты; мало того: когда жидкую струю выпускали в воздух, жидкость охлаждалась от испарения до того, что часть ее замерзала в виде белых снеговидных хлопьев. Собирая эти хлопья в компактный кусок, Тилорье мог отчеканить из него медаль.

* Работы изложены главным образом в двух статьях (1823 и 1844 гг.). *Exp. Res.*, pp. 89, 96.

** Tyndall, *Faraday*, p. 18.

*** *Annales de Chimie et de Physique* (2), LX (1835), pp. 427, 432.

В крепком, запаянном сосуде жидкая углекислота сохраняется весьма легко; она имеет постоянную температуру -78° , это ее *точка кипения*! Пары, собравшиеся над жидкостью, дают с силой 50 атмосфер. Выпуская тонкую струю этой жидкости на термометр, можно охладить его до -90° , особенно если углекислота смешана с эфиром (жидкостью летучей и усиливающей испарение); направляя такую струю смеси на палец, чувствуем невыносимую боль — род *обжога холодом*: „*véritable chalumeau de froid*“, — говорит Тилорье, намекая на действие паяльной трубки. Смесь твердой углекислоты и эфира — энергическое охлаждающее средство: в ней мгновенно мерзнет ртуть. Ставя эту смесь под колокол воздушного насоса и выкачав воздух (отчего испарение усилится), получим температуру -110° С.

Этой охлаждающей ванной воспользовался Фарадей, возобновляя свои опыты (1844 г.). Теперь он употреблял для сжатия газов насосы, для охлаждения — описанную смесь твердой углекислоты и эфира. Доводя давление до 50 атмосфер, ему удалось обратить в жидкое состояние почти все исследованные им газы; только кислород, азот, водород, окись углерода, окись азота и болотный газ оставались газообразными. Большинство остальных (кроме шесги) получались и в твердом виде. Самую низкую точку плавления (около -100°) обнаружила закись азота (увеселяющий газ).

Так застыли и отвердели многие из тел, самая материальность которых некогда подвергалась сомнению. Но не все еще было сделано: еще оставалось несколько *упорных постоянных* газов, в том числе газы воздуха и воды.

Уже вслед за первыми опытами Фарадея (1823 г.) явилась в печати краткая заметка Перкинса о сжижении атмосферного воздуха и других упорных газов. Перкинс устроил весьма сильный сжимающий снаряд, позволявший ему доводить давление до 1200 атмосфер, и уверял, что ему (еще в 1822 г.) удалось обратить в жидкое состояние воздух. Но эти опыты возбуждали сомнение и не подтверждаются более поздними исследованиями. Столь же бесплодны были попытки Колладона (1828 г.).

Наттерер, пользуясь пособием от Венской академии наук, занялся устройством снаряда, в котором газы сжимались

сгустительным насосом, производившим страшные давления*. Сперва удавалось доводить давление до 1000 атмосфер, а впоследствии — до 3600. Достигался, повидимому, крайний предел практически возможного сгущения: толстостенный стальной сосуд с газом уже заметно (на 1⁰/₀) расширился в объеме от давления изнутри, и нагревание газа от сжатия было так сильно, что при опытах с кислородом являлось опасение, что стальной сосуд сгорит в сгущенном кислороде. Мы уже упоминали о результатах Наттерера относительно сжимаемости газов. Но страшный аппарат не помог обратить в жидкость ни одного из „постоянных“ газов, хотя при опытах употреблялась охлаждающая ванна Тилорье и даже еще более холодящая смесь (из жидкой закиси азота с сернистым углеродом), доводившая температуру до — 140° С.

Казалось, все возможные средства были исчерпаны. Если и можно было идти далее, то только — повышая давление, ибо понизить температуру еще более, чем это было уже сделано, не представлялось уже никаких средств. Большинство физиков полагало, что эти два пути к достижению цели (повышение давления и понижение температуры) равносильны и что при недоступности одного можно прибегать к другому.

Но в этом рассуждении были две ошибки. Во-первых, избыток в давлении не может заменить недостатка в охлаждении; во-вторых, усилить охлаждение вовсе не было так трудно, как казалось: способ для этого был под руками.

Надо отдать справедливость Фарадею: сам он избежал ошибочной мысли о замене холода давлением. В конце своей второй статьи (1844 г.) он говорит:

„Г. Каньяр-де-ла-Тур показал, что при известной температуре жидкость, подверженная достаточному давлению, делается прозрачным паром или газом, имеющим одинаковую плотность с жидкостью. При этой температуре или несколько высшей *нельзя ожидать* (it is not likely), *чтобы какое-либо повышение давления* — исключая, быть может, чересчур сильного — *могло обратить газ в жидкость*. Как ни низка температура — 110° С, она, вероятно, *выше* такой температуры для водорода и, быть может, для азота и кислорода,

* Natterer, *Pogg. Annalen*, LXII, p. 132 (1844 г.). *Sitzungsberichte der Wiener Akademie*, V, VI, XII (1850—1854).

и тогда никакое сжимание — без совместного охлаждения далее той точки, какая достигнута до сих пор, — не лишит их газообразного состояния“*.

Опыты, на которые ссылается здесь Фарадей, крайне важны, хотя в свое время мало были замечены.

В 1822 г. Каньяр-де-ла-Тур (Cagniard de la Tour) нагревал различные жидкости (воду, эфир, алкоголь) в запаянных стеклянных трубках. До известного предела нагревания вещество оставалось частью в жидком состоянии, частью в виде паров; но при некоторой температуре оно делалось однородным, без всякого следа раздела между жидкостью и паром. Все вещество представляло собой густой пар или легкую жидкость, занимая объем немного (в 2—4 раза) больше первоначального объема жидкости. Давление этого пара Каньяр мог определить — оно было весьма велико (119 атмосфер в случае алкоголя)**.

Температура, при которой происходило такое явление, была 200° для эфира, около 260° для алкоголя, около 360° для воды. Казалось, что при этих температурах сказанные вещества *никаким давлением не могут быть сжижены* и что при температурах еще более высоких сжижение было бы тем не менее возможно.

В 1860 г. проф. Менделеев, исходя из исследований совсем иного рода, пришел к убеждению, что для всякой жидкости есть такой высший предел температуры, далее которого она остается паром или газом, каково бы ни было внешнее давление. Эту температуру он называет *абсолютной точкой кипения*; цифры таких температур, по Менделееву, довольно близки к результатам Каньяра (кроме случая воды)***.

С 1861 г. начинается ряд работ Томаса Андруса (Andrews), вполне подтвердивших эти соображения. Андрус выбрал предметом особенно подробного исследования *углекислоту*; полное описание работы явилось в 1869 г. и произвело сильное впечатление****.

Андрус заключает газ в стеклянную трубочку, с одного конца запаянную, и запирает его каплей ртути. Трубочка

* *Exper. Researches in Chemistry and Physics*, p. 116.

** *Annales de Chimie* (2), XXI, pp. 127, 178; XXII, p. 410.

*** *Химический журнал* Соколова и Энгельгардта, III, 1860 г.

**** *Philos. Transactions* for 1869, part II, p. 575.

вправляется в закрытый сосуд с водой, которую можно сдвигать посредством винта; давление, чрез воду и ртуть, передается газу. Объем, давление и температура газа наблюдаются.

Эти опыты, несомненно, показали существование такой температуры, при которой (и выше которой) углекислый газ *невозможно осадить*. Эту температуру Андрус называет *критической температурой* углекислоты; она около 31° С. Еще при $30^{\circ},9$ известное давление (около 75 атмосфер) заставляет углекислоту частью осаждаться, и мы замечаем в трубочке жидкий слой под парами; но при $31^{\circ},1$ — даже под давлением 400 атмосфер — незаметно, чтобы вещество делилось на пар и жидкость: оно остается совершенно однородным.

Явления, представляемые углекислотой, повторяются и на других веществах. Для каждого есть своя *критическая температура* *. Из таких опытов Андрус заключает, что газ и жидкость, взятые при обыкновенных условиях, суть только крайние формы одного и того же состояния агрегации. Чем ближе подходим к критической температуре вещества, тем больше сближаются между собой обе эти формы; *при* критической температуре и *выше* ее различие между ними исчезает совсем: вещество не меняет состояния агрегации, как бы мы его ни сжимали, как бы ни разрезали.

Это состояние вещества выше критической точки всего приличнее назвать *газообразным* в тесном смысле слова. Ниже критической температуры вещество может быть либо твердым, либо жидким, либо в состоянии пара; выше этой температуры оно всегда — газ.

Так называемые *постоянные газы* суть те, для которых критическая температура ниже доступных нам температур. Но мы можем назвать углекислоту постоянным газом для температур выше 31° . Вообще можем сказать, что для каждой температуры есть свое особое число постоянных газов: все те газы, коих критическая температура лежит ниже **. Чем выше температура, тем это число больше.

* Особенно подробно исследована Янсенем закись азота; критическая температура ее $36^{\circ},4$ (*Beiblätter zu den Annalen d. Physik u. Chemie*, 1878, p. 136). Критическая точка эфира и некоторых других жидкостей определена проф. Авенариусом.

** Van der Waals, *Over de continuïteit van den gas en vloeistof-toestand*, 1873, p. 92.

Таким образом употребление слов: *жидкость, пар, газ*, получает более точный характер. Так, например, давнишний спор о том, состоит ли солнце из газообразной массы или частью из жидкой, приводится к вопросу: выше ли температура солнца, чем критические точки всех солнечных веществ или же нет? *

Но заметим, что массу несомненно жидкую можно обратить в несомненный газ вполне *непрерывным* образом, т. е. нигде не замечая резкой перемены в состоянии агрегации. Пусть, например, дана углекислота при 0° и 50 атмосферах давления; в этих условиях она — жидкость. Станем увеличивать давление до 100 атмосфер, оставляя температуру при 0°, потом постепенно нагреем вещество до 35° под тем же давлением 100 атмосфер. В конце концов получим углекислый *газ*, а между тем в течение процесса нигде не было заметно перехода из жидкого состояния в газообразное.

Исследование Андруса пролило яркий свет на задачу о сжижении газов. Догадка Фарадея, что сжижение кислорода, азота, водорода и пр. едва ли удастся, если не прибегнуть к температурам гораздо ниже — 110° С, получила большую степень вероятности. Из опытов Каильете над сжатием воздуха ван-дер-Ваальс вычислил (1873 г.), что критическая температура воздуха должна быть около — 158°, при этой температуре и при давлении 14½ атмосферы должно уже обнаружиться сжижение **.

Но достижима ли такая температура на опыте? Повидимому, все средства охлаждения уже испытаны; крайний предел, до которого доходил Наттерер, был около — 140°.

А между тем мощное средство к дальнейшему охлаждению лежало под рукой, но — странное дело! — было забыто. Чтобы достигнуть цели, экспериментаторам, подвергавшим газы громадному давлению, оставался один шаг. Надо было только *разделить* сделанное: сгустив газ, выпустить его на воздух.

Охлаждение газа, когда он разрежается, преодолевая внешнее давление, известно было, как мы знаем, давно. Чем больше разрежение, тем больше холод. Пусть газ

* *Ibid.*, p. 132.

** *Ibid.*, p. 92.

первоначально заключен в сосуде, под давлением, например, 200 атмосфер и при 0°; уменьшив внезапно это давление до 1 атмосферы (выпуская газ на воздух). По приближительному расчету он должен от самого расширения своего охладиться слишком на 200°, т. е. дойти до —200° С

Делая такое внезапное расширение, мы можем надеяться, что прежде, нежели весь газ вытечет, остаток его от сильного охлаждения застынет в виде жидкости.

Только это простое соображение отделяет новые блистательные опыты от прежних неудачных попыток. Когда цель была достигнута, оказалось, что задача совсем не так трудна, как казалось: и сжатие газов, и *предварительное* охлаждение их были и при прежних опытах более, чем достаточны; оставалось бы только внезапно уничтожить давление, чтобы дать газу то *окончательное* охлаждение, при котором он становится жидкостью. В 1828 г. Колладон сгущал воздух в снаряде, весьма похожем на современный снаряд Каильете, при температуре —30° и давлении до 400 атмосфер. Догадайся Колладон в конце опыта отпереть кран своего аппарата — и жидкий воздух был бы известен 50 лет тому назад.

Но этот триумф науки выпал на долю нашего времени. Независимо и почти одновременно два исследователя, Луи Каильете (Cailletet) близ Парижа и Рауль Пикте (Pictet) в Женеве, достигли сжижения так называемых упорных газов.

Еще в ноябре 1877 г. Каильете обратил в жидкость *окись азота и болотный газ*; здесь впервые была употреблена та уловка, которая одна только могла обеспечить успех дальнейших опытов: внезапное прекращение давления. 2 декабря (н. ст.) Каильете писал академику Девилю: „Считаю нужным сообщить вам первому и не теряя ни минуты, что сегодня я довел до сжижения окись углерода и кислород. — Может быть я не прав, говоря о *сжижении*, ибо при температуре, полученной через испарение сернистой кислоты, именно —29°, и при 300 атмосферах, я вижу не жидкость, а *туман*, столь густой, что можно заключить о присутствии пара, весьма близкого к точке сжижения“. Водород не давал такого тумана.

Письмо Каильете было передано в академию в запечатанном пакете, для вскрытия по востребованию. Он вскрыт в заседании 24 декабря. Тут же прочитана следующая те-

леграмма из Женевы от 22 декабря: „Сегодня сжижен кислород при 300 атмосферах и 140° холода, соединенным действием кислот сернистой и угольной. Рауль Пикте“ *.

Опыт Каильете сделан несколько раньше, но он был менее убедителен. Каильете видел *туман*, у Пикте выпускалась *струя* жидкого кислорода. Снаряд Каильете проще, он, так сказать, с большей экономией достигает цели; но зато не дает таких ярких результатов, какие получил Пикте.

Снаряд Каильете имеет сходство с Андрусовым, газ заключен в стеклянной трубке; давление передается ему через ртуть и воду. Давление это производится насосом, который постепенно накачивает воду в сосуд и заставляет ее сильно сжиматься. Трубочка с газом окружена охлаждающей смесью. Мы видим, что и холод и степень давления не особенно велики, и только открытие крана доводит газ до сжижения**.

Аппарат Пикте гораздо сложнее; он представляет, так сказать, целую фабрику, приводимую в движение паровой машиной в 15 сил. Центральная часть снаряда (металлическая) напоминает фарадеевские запаянные трубки: в одном конце нагревается вещество, служащее источником газа, другой конец охлажден. Накопляющийся газ сжимает себя собственным давлением.

В тщательной методе охлаждения — главное усложнение и вместе главное достоинство снаряда. Охлаждение достигается помощью двух замороженных газов — сернистой кислоты и угольной. Из них первая, легче обращающаяся в жидкое состояние, служит промежуточной инстанцией — средством получить жидкую углекислоту, а эта последняя окружает и охлаждает трубку с кислородом. Чтобы достигнуть возможно большего и постоянного холода, в сосудах, содержащих ту и другую кислоту, надо было поддерживать энергическое испарение: для этого пары по мере их образования выкачивались насосами, и эти-то насосы приводила в движение паровая машина.

Благодаря такому охлаждению совместно с сильным давлением, кислород начинал сжиматься, повидимому, еще

* Oxygène liquéfié aujourd'hui sous 300 atmosphères et 140 de froid par acides sulfureux et carbonique accouplés. — Raoul Pictet (*Comptes Rendus de l'Acad des Sciences*, 24 décembre 1877).

** Подробное описание работы Каильете в *Annales de Chimie et de Physique* (5), XV, p. 132 (septembre 1878).

раньше, чем открыли кран: на это указывала быстрая убыль давления, которое, поднявшись до 526 атмосфер, спустилось до 471 атмосферы. Итак, температура газа, которую Каильете оценивает в -130° или -140° , была уже ниже критической точки кислорода. Заметим, что обыкновенные термометры здесь не годятся, и оценка температуры производилась косвенным и сомнительным путем. Температура газа *по разрежению* совершенно неизвестна, ибо теоретическая оценка ее не выдерживает критики. Можно только сказать, что она уже не далека от того, что мы приняли за абсолютный нуль температуры (-273°).

В опыте 22 декабря насосы были пущены в ход с 9 часов утра; в 1 час 10 мин. открыт кран. „Жидкая струя вырывается с большой силой в виде белой блестящей кисти; ее окружает, особенно внизу, синеватый ореол. Длина жидкой кисти около 10 или 12 сантиметров, диаметр от $1\frac{1}{2}$ до 2-х... Слегка зажженные угли, внесенные в струю, вспыхнули с неслыханной силой, разбрасывая искры во все стороны“*. Это был уже не сомнительный туман, это был настоящий жидкий кислород.

В последующих опытах Пикте освещал кислородную струю ярким электрическим светом; оказалось, что она состоит из довольно прозрачной внутренней части и из наружной ярко белого цвета, напоминающей снежную пыль или порошок мела. Оптическое исследование этой белой части заставило признать в ней замерзший, твердый кислород.

Между тем Каильете (30 декабря) достиг сжижения азота в виде заметных капелек (при 13° С, 200 атмосфер и с выпуском газа); воздух — смесь кислорода и азота — также показал следы сжижения. Самый водород, прежде не обнаруживавший никаких признаков сжижения, доведен был теперь до состояния тонкого тумана.

Остается указать на последний блестящий опыт — опыт, упомянутый в первых строках нашего очерка.

11 января 1878 г. телеграф, так деятельно участвовавший за последнее время в истории физики, принес в Париж новую весть из Женевы:

„Вчера сжижен водород. 650 атмосфер и 140 градусов холода. Отвердел через испарение. Перемежающаяся струя

* Pictet, *Mémoire sur la liquéfaction de l'oxygène etc.*, Genève, 1878, pp. 53—54 [перепечатан в *Annales de Chimie* (5), XIII, p 145 (fevrier 1878)].

синего стального цвета, сильное падение дроби на землю с резким своеобразным звуком Твердый водород сохранялся в трубке несколько минут — Рауль Пикте³.

„В момент открытия крана, — пишет Пикте, — из отверстия брызнула *непрозрачная струя весьма характеристического цвета синей стали*. Непрозрачная часть имела около 14 сантиметров длины и от 15 до 20 миллиметров в диаметре.

„Под этой синей непрозрачной частью, сквозь сильный туман, происходящий от осаждения паров водорода, замечался беловатый пояс, не столь синий как остальное и достаточно прозрачный, чтобы можно было сквозь него различать сильно освещенные предметы на другой стороне

„В то же мгновение мы услышали резкий острый звук, вроде того, какой бывает при внезапном погружении в воду докрасна раскаленного железного прута, потом сейчас же характеристический треск на земле, напоминавший сыплющуюся дробь“⁴.

Интересующиеся успехами науки живо помнят то впечатление, которое произвели год тому назад эти немногие, но поразительные заметки. Я не мог привести их здесь, говоря об опыте, имеющем столь важное значение в истории газов

Этим опытом довершено решение задачи, которая занимала физиков с самого начала нашего столетия.

Около 250 лет тому назад, вводя в науку понятие и слово „газ“, ван-Хельмонт характеризовал газы как вещества, которые не могут застыть или сгущаться в жидкость (*gas est spiritus non coagulabilis*) В наши дни невозможное стало совершившимся фактом.

Еще одно замечание Твердый и жидкий водород в опытах Пикте оказался непрозрачным телом, имел цвет стали, звук дроби. Сорок лет тому назад знаменитый химик Дюма назвал водород *газообразным металлом*, руководясь аналогией химических свойств. Дюма дожил до блестящего оправдания своей догадки.

* Hydrogène liquéfié hier 650 atmosphères et 140 degrés de froid, solidifié par évaporation, jet couleur bleu acier intermittent. projection de grenaille sur le sol avec bruit strident très-caractéristique, hydrogène solide conservé plusieurs minutes dans le tube. — Raoul Pictet (*Comptes Rendus*, 14 janvier 1878)

⁴ *Mémoire sur la liquéfaction de l'oxygène*, p 97

Что же такое — газообразное состояние вещества? Нельзя ли глубже проникнуть в механический анализ газа? Те простые законы, какие мы признали за газами, не раскроют ли нам самую натуру газа, не помогут ли построить теорию, которая бы удовлетворительно объяснила все, что мы знаем о газах?

Здесь мы вступаем на почву гипотез. Но наука не обходится без гипотез и не боится их. „Мы составляем догадки так же свободно, как и древние, но мы знаем, что это догадки“ *.

Говоря об изучении свойств газов, мы по необходимости касались некоторых теоретических взглядов, насколько они были неразрывно связаны с исследуемыми фактами. Рассмотрим несколько подробнее те гипотезы, какие поочередно возникали в новой физике, и остановимся на той из них, которая взяла верх над прочими и оказалась наиболее удовлетворительной.

В XVII веке, как раз к тому времени, когда опытная физика, и особенно физика газов, вступила в свои права, французский священник Пьер Гассан (Gassend), обыкновенно называемый Гассенди (умер в 1655), возобновил древнюю атомистическую систему Демокрита и Эпикура, красноречиво изложенную Лукрецием в поэме „О природе вещей“. По этой теории весь порядок физических явлений объясняется движением и столкновением *атомов*, мелких, неделимых, неизменяемых, абсолютно твердых тел, различных только по величине и форме и рассеянных в пустом пространстве. С этой точки зрения Гассенди объяснял многие физические процессы, в особенности перемены в состоянии агрегации тел. Атомистика Гассенди нашла большое сочувствие в физиках своего времени; даже Декарт, не признававший пустоты и считавший вещество неограниченно делимым, на практике пользовался принципами атомистической философии. Но вскоре атомистика (*philosophia corporularis*), в особенности у Бойля и Борелли, приняла несколько иную форму. Вместо бескачественных и однородных атомов стали принимать ма-

* „We guess as freely as the ancients, but we know that we are guessing“. (Lewes, *History of Philosophy*, I, p. LII)

ленькие тела, одаренные самыми разнообразными свойствами; вместо того чтобы объяснять качественные различия тел из идеи о движении и толчке атомов, стали переносить эти различия на самые атомы. Это было шагом назад, отречением от основной мысли. Атомам стали приписывать не только разные особенности формы (зубцы, крючки, которыми они сцепляются один с другим), но и такие свойства, как *гибкость*, *упругость*, — сами нуждающиеся в дальнейшем объяснении и противоречащие идее об атоме как неизменном теле.

Исследователь упругости газов, Бойль, просто переносит это свойство на самые частицы воздуха. „Воздух состоит — по крайней мере в большой доле — из таких частиц, которые, будучи согнуты или сжаты либо весом окружающей атмосферы, либо каким-нибудь другим телом, сопротивляются сжатию и по возможности стремятся освободиться от давления“*. Воздух упруг, потому что состоит из упругих пружинок (*spirulae*). Почти также выражается Борелли: каждый атом воздуха есть своего рода машинка (*machinula*); всего лучше приписать им вид трубочек или тонких пластинок, или ветвистых и спиральных нитей.

Труды Ньютона дают новое направление механической философии. Благодаря громадному успеху, с каким закон всеобщего тяготения утвердился в небесной механике, на передний план выступила мысль о *силах*, притягательных и отталкивательных, действующих через расстояние между частицами вещества. Это *динамическое* направление достигло крайнего развития в „Теории натуральной философии“ Босковича (1758 г.): его атомы — геометрические точки (центры сил).

Сам Ньютон пытался объяснить свойства газа помощью отталкивательной силы между его частицами: из закона Бойля он вывел, что две частицы газа отталкиваются обратно пропорционально расстоянию между ними**. Впрочем, Ньютон не считает своего вывода за реальный и окончательный анализ строения газа***.

* *Aërem nostrum aut constare, aut saltem abundare istiusmodi partibus, quae, si quando incurventur, vel incumbētis atmosphaerae pondere, aut quovis alio corpore comprimantur, contiguīs iis corporibus, quibus compressae tenentur, contrahitendo, a pressione istā sese liberare, quantum valent, moliantur. (Nova experimenta de vi aëris elastica, 1659, exp. I)*

** *Principia*, lib II, pr. 23.

*** An vero fluida elastica ex particulis se mutuo fugantibus constant, quaestio physica est (*Ibid.*).

Уже в самом разгаре ньютонианства мы встречаем поворот отчасти к идеям Декарта, отчасти к старой атомистике Демокрита. Так, Эйлер принимает, что частицы воздуха состоят из полых шариков, в которых заключена тонкая материя, крутящаяся как вихрь. Из этой мысли Эйлер выводит закон Бойля*.

Даниил Бернулли в своей „Гидродинамике“ (1738 г.), обработанной в бытность автора при Петербургской академии, высказывается о газах совершенно в духе атомистики древних**. Его взгляд в свое время обратил на себя мало внимания, долгое время спустя та же мысль возникла на более подготовленной почве и оказалась удачной сверх ожидания. Вот как рассуждает Бернулли в самом начале статьи об упругих жидкостях.

„Представим себе вертикальный цилиндрический сосуд и в нем подвижной поршень, на котором лежит груз, внутренность цилиндра пусть заключает в себе весьма малые тела, одаренные крайне быстрым движением (*corpuscula motu rapidissimo agitata*). Тогда эти малые тела, ударяясь о поршень и поддерживая его своими постоянно повторяющимися толчками, образуют собой упругую жидкость, которая расширяется при удалении или уменьшении груза (на поршне) и сгущается, когда груз увеличен“.

Мы не станем следить за развитием этой мысли у Бернулли, так как нам придется изложить ее потом с позднейшими дополнениями. Заметим только, что Бернулли еще не считал теплоту прямо за движение, но принимал, что „теплота везде расстет с возрастанием внутреннего движения частиц“***.

В конце XVIII века строго атомистическую теорию в духе Демокрита проводил ле-Саж; он пытался даже объяснить из нее ньютонов закон тяготения****. В трактате, изданном Прево по смерти автора, ле-Саж еще в 1759 г. высказывался о газе так: „Частицы упругой жидкости тверды

* Euler, Tentamen explicationis phaenomenorum aeris, *Comment. Petrop.* II, p. 347 (1729 г.)

** Bernoulli, *Hydrodynamica etc.*, Opus academicum, ab auctore, dum Petropoli ageret, congestum. Argentor., 1738 sect X, p 200 sq.

*** Constat calorem intendi ubique crescente motu particularum intestino (*Ibid* , p 202)

**** Le-Sage, Lucrèce Newtonien (*Nouveaux Mém de l'Acad de Berlin* pour 1782)

и неупруги; средняя величина взаимного расстояния двух ближайших частиц гораздо больше, чем их диаметр. Каждая частица имеет весьма быстрое поступательное движение, и эти движения направлены во все стороны“ *. Прево прибавляет, что, исходя отсюда, можно объяснить закон Бойля.

Подобные мысли встречаются также у Деви (1812 г.) и Хирапата (Herauth, с 1821 г.). Но все эти попытки были, так сказать, преждевременными и произвольными, пока не выяснились наши понятия о *теплоте*. В духе преобладавшего взгляда на теплоту как на особую материю (теплород) во второй половине XVIII века образовались те представления о газах (как соединении веществ с теплородом), с которыми мы уже знакомы из Блалка и Лавуазье.

Идеи Лавуазье приняли более определенную форму у Лапласа. Частицы тел окружены, так сказать, атмосферами из теплорода. Частицы взаимно притягиваются и притягивают к себе теплород; но две теплородные атмосферы отталкивают одна другую. Борьбой этих притяжений и отталкиваний объясняются состояния агрегации тел. В газе частицы так далеко раздвинуты одна от другой, что их притяжение стало незаметным, между тем как отталкивание теплородных атмосфер еще действует. Нагревая твердое тело, мы, так сказать, сгущаем теплородные атмосферы частиц, усиливаем их отталкивание: тело расширяется и, при достаточной степени теплоты, переходит в жидкое и потом в газообразное состояние**.

В сороковых годах нашего столетия учение о теплоте подверглось коренной реформе, сильно отразившейся на всех отделах физики. Мысль, что теплота есть движение частиц вещества, смутно и неубедительно высказанная Беконем, Декартом, Бойлем, сильно мотивированная опытами Румфорда и Деви, — эта мысль стала голосом фактов, требованием науки. В 1842—1843 гг. Юлий Роберт Майер своими гениальными догадками и Джемс Прескотт Джаул своими опытами дали механической теории тепла прочную основу.

Частицы всех тел совершают мелкие, незаметные, но весьма быстрые движения, и это частичное движение ощу-

* Prévost, *Deux traités de physique mécanique*, 1818

** *Mécanique Céleste*, livre XII, ch. II (*Oeuvres de Laplace*, éd. 1843—1847, V, особенно pp 126, 136)

щается нами как теплота. Чем оно сильнее, тем выше температура тела.

Какого же рода эти движения? Мы можем их себе представить весьма различными. Частицы могут колебаться взад и вперед, крутиться, описывать маленькие орбиты одна около другой, как планеты около солнца.

До сих пор мы не знаем, как движутся частицы тел твердых и жидких; но относительно газов имеем право составить себе довольно определенные представления.

Припомним: газ отличается между прочим тем, что он *не обнаруживает внутренней работы* при сжатии или расширении; его частицы без всякой траты работы могут быть приближены или удалены одна от другой. Но это значит, что между частицами газа нет ни притягательных, ни отталкивательных сил, иначе при сжатии и разрежении нам пришлось бы преодолевать эти силы.

Между тем те же самые частицы, когда газ обращен в жидкость, обнаруживают взаимное сцепление. Откуда эта сила сцепления? явилась ли она только тогда, когда газ сжижен? Или она была и в газе, но действие ее было неощутительно по какой-либо причине?

Действие известных нам притягательных и отталкивательных сил ослабевает с увеличением расстояния. Обращаясь из жидкого состояния в газ, тело претерпевает огромное расширение в объеме; частицы его весьма значительно отдаляются друг от друга. Понятно, что взаимные притяжения частиц должны при этом значительно ослабеть.

Факт отсутствия внутренней работы в газе показывает, что они ослабели *почти до нуля*. Итак: газ есть собрание мелких частиц, отделенных такими большими промежутками, что их притяжения стали незаметно слабы.

Но эти частицы должны двигаться, ибо в газе есть теплота, а теплота значит движение частиц. Как же могут они двигаться при сказанных условиях?

Каждая из них будет двигаться, как тело, на которое не действуют никакие силы, кроме собственной тяжести, как пуля, вышедшая из ружья, т. е. вследствие раз полученной скорости, по инерции, и потому — прямолинейно и равномерно.

Понятно, что такого движения частица не может продолжать неопределенное время. Рано или поздно она

столкнется с какой-нибудь другой частицей и тогда изменит свое движение. Может быть, до самого столкновения дело не дойдет, а уже на некотором близком расстоянии то взаимное действие двух частиц, которое прежде не было заметно, теперь проявится, и прежняя изолированность двух частиц нарушится на время.

Как же именно проявится это мгновенное взаимодействие? А ригіі мы не умеем отвечать на это, ибо не знаем, как действуют частицы одна на другую при достаточной близости. Мы вправе ввести здесь какое-нибудь предположение, если только оно окажется подходящим. Всего проще допустить, что по столкновении* две частицы расходятся так, как будто бы это были два упругие шарика (например из слоновой кости).

Это не значит, что мы считаем частицы упругими. Мы только принимаем для акта столкновения два простые и общие закона**, нетрудно было бы объяснить их, приписывая известный характер частичным силам. Заметим, впрочем, что наши частицы — еще не атомы: химические соображения заставляют нас допустить, что даже в химически простом газе частица обыкновенно состоит из двух или более отдельных частичек (атомов).

Как скоро столкновение произошло, две частицы опять уходят из-под влияния одна другой, опять движутся прямолинейно и равномерно (но уже иначе, чем прежде), пока не натолкнутся на новые частицы, и т. д.

Понятно, что при больших расстояниях между частицами такие столкновения будут сравнительно редки и сравнительно моментальны. Выразимся точнее. Представим себе, что мы следим за полетом одной частицы в течение, положим, секунды: в это время она, как увидим, претерпит уже множество толчков. Если бы мы заметили, сколько времени из этой секунды употребляется на толчки и сколько — на свободное движение, то оказалось бы, что на все толчки в сумме приходится весьма малая доля секунды. Вот основные мысли современной, так называемой кинетической теории газов (от *κίνησις* — движение). Сущ-

* Под „столкновением“ будем вообще разуметь ту степень сближения двух частиц, при которой они заметно влияют одна на другую.

** „Сохранение живой силы“ и „сохранение движения центра тяжести“.

ность ее в том, что 1) каждая частица газа большую часть времени изъята от влияния остальных частиц (и, следовательно, движется прямолинейно и равномерно) и 2) при столкновении двух частиц, направления и скорости их движений изменяются так, как это бывает при ударе двух упругих шаров.

При тех немногих и общих допущениях, какие мы до сих пор сделали, даже весьма малый объем газа, например кубический миллиметр, представляет собой крайне сложную систему: в таком объеме мы должны принять огромное число отдельных движущихся частичек; проследить их движение — задача в высшей степени трудная. Понятно, что при первых попытках старались упростить эту задачу.

С тех пор как механическая теория теплоты стала утверждаться на солидных основаниях, Джаул впервые возобновил (1848 г.) идеи Д. Бернулли *. Но с особенной ясностью начертил эскиз теории Крёниг (1856 г.) в маленькой статье (всего в 8 страниц) **, произведшей много шума, — тем более, что мысли Бернулли были давно забыты.

Крёниг, для упрощения задачи, позволяет себе заменить разнообразные движения частиц газа более правильными. Он принимает три взаимно перпендикулярные направления движений: одна треть частиц, положим, движется вверх и вниз, другая — вправо и влево, третья — вперед и назад. Все частицы одинаковы и движутся с одинаковой быстротой. Допустив это, Крёниг весьма просто выводит закон Бойля и некоторые другие свойства газов.

В следующем 1857 г. Клаузиус дал более подробное развитие этой теории ***. Он уже принимает в расчет, что движения частиц совершаются по всевозможным направлениям, но предполагает, как Крёниг, что можно приписать всем частицам одинаковую скорость. Клаузиус не только объясняет главные свойства газов, но весьма ясно пред-

* *Philos Mag.* (4), vol 14, p. 211.

** *Pogg Annalen*, XCIX, p 315

*** Clausius, *Über die Art der Bewegung, welche wir Wärme nennen*, *Pogg Annalen*, C, p 353; *Abhandlungen über die mech Wärmetheorie*, 1864—1867, II, p 229.

ставляет самый процесс испарения. Затем, в двух позднейших статьях, он еще более развивает свою теорию и защищает ее от возражений*.

С еще большей общностью развивает кинетическую теорию газов Кларк Максвелл (с 1860 г)** Он опускает и ту гипотезу, что частицы газа движутся с одинаковыми скоростями. Он доказывает, что скорости эти *должны* быть различны и мы не вправе считать их одинаковыми. В той системе частиц, летающих в разные стороны и сшибающихся одна с другой, какую представляет газ, должны встречаться всевозможные скорости, только одни чаще, другие реже; Максвелл вывел *закон распределения* этих скоростей между частицами газа. В свою теорию Максвелл включает некоторые явления, не затронутые в начале Клаузиусом (внутреннее трение, диффузию, теплопроводность), он дает план механики газов с новой точки зрения. Касательно процесса столкновения двух частиц Максвелл сперва принимает законы удара упругих шаров; позднее (1868 г.)*** он делает гипотезу, что на близком расстоянии между частицами действует отталкивательная сила (обратно пропорциональная 5-й степени расстояния).

В работах Клаузиуса и Максвелла кинетическая теория газов получила высокую степень развития. Кроме этих исследователей следует упомянуть Больцмана, Стефана, О. Э. Мейера, ван-дер-Ваальса. Книгу Мейера „Кинетическая теория газов“**** рекомендуем всякому, кто желает познакомиться с предметом подробнее.

Познакомившись с основными идеями теории и сделав краткий обзор ее развития, попытаемся начертить более подробную картину того, что кинетическая теория разумеет под словом *газ*.

Представим себе закрытый ящик из слоновой кости, в котором лежит очень большое число мелких равных шариков, тоже костяных*****. Эти шарики пусть

* *Abhandlungen*, II, pp. 260, 277

** *Philos. Magazine* (4), vol. 19, 20

*** *Philos. Magazine* (4), vol. 35

**** *Meyer, Die kinetische Theorie der Gase in elementarer Darstellung mit mathematischen Zusätzen*, 1877

***** Этот материал отличается большой упругостью. Мы уже замечали, что столкновения газовых частиц происходят по закону вполне упругих тел.

будут до того малы, что несмотря на многочисленность займут лишь очень небольшую долю всей вместимости ящика.

Вообразим себе теперь, что сильными движениями мы встряхнули ящик, так что все шарики внутри его разлетелись по разным направлениям, проникая во все части ящика. Прекратим встряхивание — поставим ящик на место. Движение, раз сообщенное шарам, не прекратится при упругости шаров и стенок ящика, оно будет продолжаться без потери в целом. Весьма скоро это движение придет в некоторый правильный, неизменный порядок.

Правда, если станем следить за отдельными шариками, то никакой правильности в движении не заметим: они будут двигаться каждый по своему — один туда, другой сюда, один быстрее, другой медленнее. Но иное дело, если будем говорить о *большом числе шаров*.

Будем иметь в виду либо целый ящик, либо часть его объема, но такую, в которой еще содержится очень большое число шаров. Вообразим себе, что мы в любой момент можем подробно знать состояние каждого шарика, что мы в состоянии делать им, так сказать, мгновенную ревизию. Пусть в один из таких моментов мы сосчитали, что в данной части ящика находятся, положим, 1000 шаров; эти 1000 шаров, имеющих в данный момент общее свойство (общее местоположение), будем называть *группой шаров*. Сделаем такую же ревизию в какой-нибудь другой момент опять сосчитаем, сколько шаров теперь в *той же* части ящика. Мы найдем, что это число — опять почти 1000 (может быть, 999, или 1001, и т. п.). Шары, отсчитанные нами при этой второй ревизии, будут, вообще говоря, не те, что при первой прежние успели рассеяться, выйти из намеченного нами пространства; но на смену им явились новые, которых прежде здесь не было. *Общее же число* в группе шаров, занимающих данную местность, осталось такое же, хотя личный состав группы изменился.

Мы можем составлять группу на основании другого признака, например, направления и скорости движения. Положим, что в известный момент в ящике (или в данной его части) было 150 шаров, двигавшихся вертикально снизу вверх со скоростью около 1 метра в секунду (например, не бы-

стрее 1,001 и не медленнее 0,999 метра). Во всякий другой момент эта группа шаров, имеющих определенное движение, будет иметь *такую же* численность, хотя состав ее будет иной: многие из прежних шаров, вследствие столкновений, уже изменили и направление и скорость движения (вышли из группы), но зато столько же шаров приобрели именно указанное движение, не имев его прежде (вошли в группу).

Итак, рассматривая не отдельные случаи, а итоги *большого числа случаев*, мы найдем, что явления имеют строго правильный и неизменный характер. Такого рода правильность в итогах, при разнообразии и неправильности в судьбе отдельных индивидуумов, называют *статистической*. В статистических выводах мы встречаем именно такого же рода законность. Так, например, мы не в силах предсказать, когда умрет, до какого возраста доживет тот или другой из нас; но сколько людей в России умрут в течение 1879 года, сколько из них умрут 40, 50, 60 лет от роду — это мы знаем наперед с значительной точностью, ибо эти числа, будут таковы же, как в прежние годы.

Возвратимся к нашим шарикам. Разлетевшись по всему ящику, рассеявшись на сравнительно большие расстояния, они будут, так сказать, изолированы один от другого. Каждый будет двигаться свободно, вне влияния прочих, сохраняя, следовательно, направление и скорость движения без перемены; только по временам он будет сталкиваться с другими шарами, либо со стенками ящика; при толчке движение шарика будет изменяться и, изменившись, опять сохраняться *statu quo* до нового толчка. Путь каждого шарика будет иметь вид ломаной линии или зигзага, составленного из прямолинейных частей.*

Вот все, что нужно для той иллюстрации, которую мы имели в виду. Множество мелких тел, редко рассеянных в большом объеме, летящих каждое по прямой линии

* Строго говоря, на каждый шарик, даже и вне столкновений, действует некоторая сила — сила тяжести. Она постоянно уклоняет его от прямолинейного пути, как уклоняет летящую пулю, она изменяет также и скорость движения. Но если движение быстро и отдельные части зигзага невелики, то этим влиянием тяжести мы можем пренебречь.

с неизменной скоростью, временами сталкивающихся и внезапно изменяющих движение, — система, являющая крайнее разнообразие в судьбе каждого отдельного члена и строгую правильность в больших группах, вот подобие того, чем представляется по кинетической теории газ, повидимому, пребывающий в покое.

Чтобы сделать подобие точным, нам остается только придать нашей картине необычно мелкие и необычно крупные масштабы. Уменьшим мысленно размеры наших шариков до размеров, так сказать, ультрамикроскопических: примем их диаметр меньше одной миллионной доли миллиметра. Увеличим, далее, число шариков до нескольких тысяч, миллиардов на каждый кубический миллиметр объема. Вообразим себе, что скорость их движений, средним числом, превосходит в десятки раз быстроту наших локомотивов, доходя до 500, 1000 и более метров в секунду. Прибавим к этому, что каждый претерпевает миллиарды толчков в секунду, а прямолинейные пути, описываемые им между двумя толчками, не превышают десятитысячной доли миллиметра (т. е. в два-три раза меньше малейшей величины, заметной для микроскопа). Вот картина материи в так называемом газообразном состоянии.

Не будем пугаться этих чисел, не сочтем необычность цифр доводом против нашей теории: в природе нет ни великого ни малого, вся разница масштабов — разница относительная и субъективная. Но как же вывести из наших представлений характеристические особенности газа? Действительно ли такая гипотеза даст нам отчет во всем, что нам известно о газообразном веществе? Вот пробный камень для теории. Развивая гипотезу во всех ее следствиях, не встретим ли противоречия с тем, что дает опыт? Не укажет ли, с другой стороны, теория на новые свойства газов, доселе неизвестные, и не подтвердит ли опыт наши предсказания?

Здесь моя задача встречается с трудностями значительно большими, чем те, какие представлялись до сих пор. Было бы крайне трудно и утомительно в общепонятной статье строго развить подобную механическую тему. То, что достигается без труда, как скоро допустим в изложение язык (хотя бы элементарной) математики, становится едва выполнимым, когда отречаемся от этого необходимого пособия. Я постараюсь только в общих чертах проследить

главнейшие вопросы кинетической теории, не гоняясь ни за полнотой, ни за строгостью изложения.

Во-первых, что значит по кинетической теории *давление* газа и что такое его *температура*?

Чтобы ответить на это, напомним два термина, весьма употребительные в механике: без них пришлось бы выражаться длинными перифразами. *Количеством движения* какого-нибудь тела называют произведение его *массы* на *скорость* движения. *Живой силой* тела называется половина произведения количества движения на скорость или, что то же, половина произведения *массы* на *квадрат* скорости тела. Если имеется несколько (система) движущихся тел, то сумму всех отдельных количеств движения называют *количеством движения* всей *системы*, точно так же сумму отдельных живых сил называют *живой силой системы*.

По кинетической теории, давление газа на какую-нибудь стенку сосуда (или на часть стенки) есть сумма толчков, претерпеваемых этой стенкой в одну секунду. Каждая частица газа, ударяясь о стенку, передает ей свое количество движения; этим количеством движения измеряется сила отдельного толчка*. *Полное количество движения, переданное стенке всеми толчками за целую секунду*, и есть *давление газа* на эту стенку. В том состоянии, в каком мы предполагали наш газ, каждая равная доля поверхности сосуда (например каждый квадратный сантиметр) выдерживает одинаковое и постоянное давление**.

У каждой частицы нашего газа есть определенная живая сила. Она различна у различных частиц и меняется после каждого толчка. Но *средняя величина* живой силы для какой-нибудь большой группы частиц будет неизменно и везде одинакова. Эта-то *средняя живая сила частиц* есть то, что мы называли *абсолютной температурой* газа (тем-

* Собственно говоря, это точно лишь для *перпендикулярного* удара. Если удар делается косвенно (наклонно), то сила его измеряется определенной долей количества движения, большей или меньшей, смотря по степени наклона.

** Если бы сосуд имел значительную высоту, то давление газа внизу было бы больше, чем наверху; так выходит и по кинетической теории. Но мы как бы забываем о *весе* газовых частиц, чтобы не усложнять рассуждений,

пература по газовому термометру, считая от *абсолютного нуля*, или от -273°C). Чем больше средняя живая сила частиц, тем выше температура газа. Абсолютным нулем мы назвали ту температуру (-273°C), при которой (для идеального газа) произведение объема газа на давление должно обращаться в нуль. Но объем газа, как бы мы его ни сжимали, не дойдет до нуля; значит, обратится в нуль давление. Припоминая, что значит давление, заключаем, что оно должно прекратиться, когда не будет движения частиц. Мы не знаем, достижимо ли на практике такое *отсутствие температуры*; мы видели, что при низких температурах и *под давлением* все газы перестают быть идеальными и, наконец, обращаются в жидкое и твердое состояние. Но это не мешает нам говорить об абсолютном нуле, как о таком *пределе*, при котором *немыслимо* газообразное состояние даже без внешнего давления*.

Определивши таким образом, что нужно разуметь под давлением и температурой газа, мы можем вывести несколько важных результатов.

Представим себе прежде всего, что мы уменьшили объем, занимаемый газом,—сжали газ. Мы можем вообразить себе, что стенки нашего кубического ящика могут сдвигаться и раздвигаться на любое расстояние; пусть мы медленно сдвинули их так, что каждый из трех размеров ящика (длина, ширина, высота) стал *вдвое* меньше, чем прежде. Объем ящика уменьшится от этого в *восемь* раз. Посмотрим, что станется с давлением газа на 1 кв. сантиметр какой-нибудь стенки.

С передвижением стенок, в движениях газовых частиц произойдет переворот, и вскоре наступит новое статистически правильное состояние, отличное от прежнего.

Ясно, что частицы *сблизились* между собой *вдвое*, т. е. средняя величина расстояния между двумя ближайшими частицами уменьшилась на половину. Расстояние крайних частиц от стенок, средним числом, стало также вдвое меньше. Отсюда два следствия.

Во-первых, число частиц, ударяющихся в каждый квадратный сантиметр стенки, сделалось *вчетверо* больше

* Весьма возможно, однакож, что цифру -273° придется несколько исправить.

прежнего (то же число ударяющихся частиц сосредоточено теперь на площади, вчетверо меньшей).

Далее, столкновения частиц между собой и со стенками ящика будут случаться *вдвое чаще*: каждая частица в данное время (например 1 секунду) будет претерпевать двойное против прежнего число толчков и двойное число ударов о стенку.

Отсюда нетрудно понять, что произойдет с давлением газа при новых условиях. С одной стороны, число частиц, ударяющихся в одну секунду в данную площадь, сделалось *вчетверо* больше; с другой стороны, удары каждой отдельной частицы повторяются вдвое чаще. Давление, т. е. сумма толчков на данную площадь в 1 секунду, увеличится в *восемь* раз. Оно *возросло в таком же отношении, в каком уменьшился объем газа*. Мы произвольно взяли число 8; при всяком ином сжатии вывод остался бы верен.

Но это — знакомый нам *закон Бойля*; мы видим, что он весьма просто вытекает из нашей гипотезы.

При этом выводе мы молча предполагали, что уменьшение объема сделано постепенно: при этом живая сила газа, следовательно, и его температура не изменяются, что и предполагается в законе Бойля. Но если бы сдвигание стенок произошло внезапно, мы придали бы частицам газа новую живую силу, и газ нагрелся бы, что подтверждает опыт.

Посмотрим теперь, что будет, если при том же давлении изменим объем газа.

Возьмем наш прежний ящик и допустим, что его крышка может свободно вдвигаться и выдвигаться на любую высоту. Чтобы удержать ее в известном положении, мы должны положить на нее такой груз, который равнялся бы давлению газа на внутреннюю сторону крышки. Если давление газа почему-либо увеличилось, крышка будет подвигаться вверх, увеличивая объем газа, — до тех пор пока давление газа, уменьшаясь от разрежения, не придет опять к прежней величине, т. е. пока оно не сравняется с весом груза.

Пусть от какой-либо причины движение частиц газа усилилось настолько, что средняя скорость частиц стала *вдвое* более прежней. Это значит, средняя живая сила частиц, или абсолютная температура газа, *учетверилась*. Давление газа при этом, как нетрудно понять, также *учетверится*: в самом деле, количество движения в каждом

отдельном толчке о стенку удвоится и, кроме того, число толчков, при двойной скорости движения, будет вдвое больше. Крышка нашего ящика будет отодвигаться вверх — газ расширяется. Это будет продолжаться, пока давление газа не уменьшится вчетверо (до прежней величины); но для этого нужно, по закону Бойля, чтобы вчетверо увеличился объем газа.

Итак, когда абсолютная температура газа возросла вчетверо, объем его увеличился во столько же раз. Вообще, при одном и том же давлении, объем пропорционален абсолютной температуре. Это *закон Шарля*.

Мы видим, как просто выводятся из кинетической теории основные законы газа. То, что могло казаться не вполне строгим в нашем упрощенном изложении, приобрело бы полную убедительность, если бы мы позволили себе прибегнуть к помощи математики.

Мы знаем, какова масса газа, наполняющего известный объем при данной температуре и данном давлении (т. е. сумма масс его частиц). Так, например, масса 1 куб. метра *воздуха* при давлении 1 атмосферы и температуре 0°C есть 1,293 килограмма. Мы знаем силу давления, которое оказывает эта масса. Отсюда нетрудно было бы решить задачу: какова должна быть (средняя) *скорость* частиц, чтобы произвести такое давление (1 атм.)? Мы ограничимся тем, что сообщим результат: эта скорость для воздуха должна быть 447 метров в секунду. Для *водорода* в тех же условиях (0°C и 1 атм.) средняя скорость частиц оказывается 1698 метров в секунду. Эта скорость увеличивается с повышением температуры и давления*.

Вот одно из удивительных следствий кинетической теории: не умея никаким микроскопом рассмотреть отдельную частицу газа, мы знаем, с какой быстротой она переносится. Но не должно думать, что частица воздуха действительно пробегает 447 метров в секунду по *одному направлению* или что эту скорость она сохраняет хотя бы одну секунду: мы уже замечали, что, благодаря частым толчкам, путь частицы есть зигзаг, и скорость ее подвержена постоянным изменениям (мы говорим только о *средней величине* скорости).

* Пропорционально квадратному корню абсолютной температуры и квадратному корню давления.

Наша точка зрения позволяет нам не только вывести законы *идеального* газа: она даже подсказывает нам, отчего могут происходить *уклонения* от этих законов. Такие уклонения, мы знаем, представляет всякий газ, особенно при сильных давлениях и низких температурах (т. е. когда он близок к точке насыщения).

Рассуждая о том, как должно измениться давление, когда изменим объем газа, мы делали две гипотезы, которые не могут быть вполне справедливы. Мы, во-первых, считали частицы газа как бы *точками*, вовсе не имеющими размеров. На самом деле это — *тела*, хотя и малые. Только считая их за точки, мы были вправе сказать, что при восьмикратном уменьшении объема расстояние двух частиц уменьшится вдвое, при тысячекратном — вчетверо и т. д. Если бы это было вполне верно, мы могли бы сжимать газ сколько угодно, все-таки среднее расстояние между двумя ближайшими частицами не дошло бы до нуля. Но как скоро частицы суть *тела*, мы можем представить их себе сдвинутыми до того, что они касаются друг друга и далее сдвигаться не могут, по непроницаемости.

Итак, на самом деле расстояние двух частиц обращается в нуль не при бесконечно большом сжатии газа, а ранее. Отсюда ясно, что это расстояние уменьшается быстрее, чем мы предполагали: при восьмикратном сжатии оно будет *меньше*, чем половина прежнего, при 1000-кратном меньше чем $\frac{1}{10}$.

Но от расстояния двух частиц зависит, как мы видели, число и сила ударов о стенку, т. е. давление. Если расстояние частиц убывает быстрее, чем мы думали, то быстрее же будет расти давление при сжатии. То есть газ при сжатии должен обнаруживать давления более тех, какие следовали бы закону Бойля. Это, как мы знаем, подтверждается опытом для *водорода* при умеренных давлениях (1—30 атм.) и для *всех газов* при давлениях весьма больших.

Но есть и другая причина *уклонений*, которой мы еще не приняли в расчет; она должна вести к противоположным следствиям.

Мы допускали, что между частицами газа нет ни притяжений, ни отталкиваний, что они действуют друг на друга только в момент столкновения, но *не* действуют издали. Но весьма естественно, что то притяжение, какое оказывается между частицами в жидком или твердом теле, дей-

ствуется и в газе, хотя сильно ослабленное дальностью частиц. Этого мы не имели в виду. Ясно, что такое притяжение будет увеличивать плотность газа. Не будь этого притяжения, плотность возрастала бы пропорционально давлению; теперь она будет возрастать быстрее. Это значит, наш газ будет обнаруживать такое отступление от бойлева закона, какое мы находили для воздуха и большинства газов при умеренных давлениях (1—30 атм.).

Итак, наша гипотеза прямо указывает на те отступления от газовых законов, какие мы видим на опыте. „Идеальным газом“ мог бы быть только такой, частицы которого суть точки и не оказывают никаких взаимодействий на расстоянии. Несоблюдение этих двух условий ведет к отклонениям то в ту, то в другую сторону от закона Бойля, смотря по тому, какая из двух причин преобладает. Для водорода, например, мы имеем право предположить, что влияние *размера* частиц сильнее, чем влияние *частичного притяжения*.

Руководясь этими соображениями, голландский физик ван-дер-Ваальс предложил для газов новый закон зависимости между давлением, объемом и температурой. Это — закон Бойля и Шарля, усложненный двумя поправками: одна зависит от размера частиц, другая от силы их притяжения*. Оказалось, что этот новый закон объясняет весьма точно всю сложность явлений, если только припишем частицам газа известный объем и известную силу сцепления. Наоборот, опытные данные относительно того или другого газа, при попытке подвести их под закон ван-дер-Ваальса, дают нам возможность узнать, какова величина частиц газа и каково их взаимное притяжение.

Таким образом эти неправильности газов, эти отклонения от „идеала“ приобретают особенную цену: они дадут нам средство решить самые недоступные, повидимому, вопросы из мира атомов.

* J. D. van der Waals, *Over de continuïteit van den gas en vloeistooftoestand*, 1873. Закон Бойля и Шарля, выраженный математически, имеет вид $p v = c t$, где p — давление, v — объем, t — абсолютная температура газа, c — некоторый постоянный коэффициент, особый для каждого газа. Закон Ваальса следующий:

$$\left(p + \frac{a}{v^2}\right)(v - b) = c t,$$

a , b , c — три коэффициента, характеризующие газ; из них a зависит от силы частичного притяжения, b — от суммы объемов частиц.

Сопоставляя такие соображения с данными опыта, ван-дер-Ваальс находит следующий результат: если бы все частицы *воздуха* (взятого при 1 атмосфере) сблизить так, как они сближаются попарно в моменты столкновений, то объем воздушной массы сократился бы в 2000 раз*.

Если при столкновении частицы касаются между собой, то дробь $\frac{1}{2000}$ выражает прямо, какая доля *кажущегося* объема воздуха действительно наполнена веществом частиц; если до прикосновения дело не доходит, то такой *истинный* объем газового вещества будет еще меньше этой цифры. Итак, мы нашли *высший предел* для суммы объемов воздушных частиц.

Возвратимся к идеальным газам и посмотрим, можно ли объяснить по кинетической теории остальные их свойства.

Что касается *закона смешения* газов, он вытекает из нашей теории весьма просто. Заметим, что по самой сущности теории можно представлять себе, будто каждая частица газа действует независимо от прочих. Если одна группа частиц, вследствие толчков, изменила свое движение, то другие частицы стали на ее место и продолжают ее дело. Давление на стенки сосуда будет такое же, как если бы частицы вовсе не сталкивались, а свободно проникали одна сквозь другую.

Представим себе, что в сосуде — *два* разные газа, например кислород и азот. Частицы кислорода отличаются от частиц азота по массе, по скорости. В смеси частицы кислорода сталкиваются не только между собой, но и с частицами азота; эти два рода столкновений существенно различны между собой. Но и здесь, рассуждая о давлении, мы можем отвлекаться от этих толчков, воображать себе, что частицы свободно проникают одна сквозь другую; потому что и здесь то, что прервано одним толчком, сейчас восстанавливается другим. Вот причина той как бы независимости двух газов, которую Долтон объяснял себе, говоря, что атомы азота пробираются между атомами кислорода так же свободно, „как поток воды между камнями“. Давление на стенку сосуда будет просто сумма тех давлений, какие произвел бы тот и другой газ в отдельности: закон Долтона.

Мы видим, что объяснение закона коренится не в том, что частица азота *не действует* на частицу кислорода:

* *Ibid.*, p. 105.

они тоже толкаются одна о другую. Но при оценке давления о взаимных толчках можно забыть, ибо результат каждого толчка парализуется другим.

Мы приняли, что мерой температуры газа служит средняя живая сила его частиц. Масса кислорода и масса азота, взятые при одной и той же температуре, имеют одинаковую среднюю величину живой силы. Смешаем эти две массы: средняя живая сила, по закону механики, не изменится и теперь *. То-есть при смешении двух газов одинаковой температуры не происходит ни нагревания, ни охлаждения. Это также согласно с опытом.

Заметим, что медленность процесса смешения двух газов сперва считали противоречием кинетической гипотезе. Если частицы, например, аммиачного газа несутся во все стороны со средней быстротой 579 метров в секунду (при 0° и 1 атмосфере), то малое количество этого газа, помещенное в одном углу комнаты, должно, повидимому, мгновенно разнестись по всем углам. Между тем распространение газа в газе (диффузия) совершается медленно. Как объяснить это?

Объяснить нетрудно. Мы уже знаем, что свои 579 метров в секунду частица аммиака делает мелкими зигзагами в разные стороны. Сталкиваясь постоянно с другими, она делает свои движения в пределах небольшого пространства; путь, проходимый ею *по одному направлению*, т. е. от толчка до толчка, остается крайне малым. Мы увидим, что есть средство определить среднюю величину этого пути (*средний путь частицы*).

В действительности путь частицы не всегда одинаков: иногда толчки не так часты и частица заходит более вдаль; но случаи длинных путей редки. Смешение газов достигается только этими редкими исключениями, потому оно так медленно. Быстрота смешения, понятно, зависит от длины частичных путей в том и другом газе: чем длиннее средний путь, тем быстрее совершается диффузия.

Перейдем к *закону кратных объемов*. Что значит два газа соединились химически? Значит, частицы их летают

* Среднее расстояние частиц в смеси будет иное, чем было в том или другом отдельном газе; но сближение или удаление частиц в газе, как сейчас увидим, не требует работы и, следовательно, не убавляет ничего из живой силы газа.

не все отдельно друг от друга, а в виде известных комбинаций. Так, в окиси азота каждая частица азота с одной из частиц кислорода составляют пару, которая движется как целое; в закиси азота с каждой частицей кислорода связаны две частицы азота, и каждая такая группа движется как целое. Понятно, что *числа частиц* в соединении двух газов должны быть *кратные* между собой, т. е. либо одна частица газа *A* приходится на одну частицу газа *B*, либо одна *A* на две *B*, две *A* на три *B*, и т. п., смотря по характеру соединения. Всякий остаток того или другого газа от потребной пропорции останется в первоначальном виде.

С другой стороны, кинетическая теория газов приводит к важному закону, еще в 1811 г. угаданному итальянским ученым Авогадро*: „Два различные газа, взятые при одинаковом давлении и одинаковой температуре, содержат равные числа частиц в равных объемах“.

Если так, то „равные *числа частиц*“ значит то же, что равные *объемы*, кратные числа частиц — кратные объемы. Только что изложенный нами закон, по которому в химическое соединение входят кратные числа частиц, приводится к закону кратных объемов.

Отсутствие внутренней работы в нашем теоретическом газе нет надобности доказывать: мы именно руководились этим законом, составляя нашу гипотезу. Частицы нашего газа, средним числом, всегда так далеки одна от другой, что не притягиваются заметным образом; сближая их, мы не делаем никакой механической работы, ибо где нет сил, там нет и работы.

В связи с этим стоит факт *постоянства удельной теплоты*. Нагревая газ, мы тратим теплоту *только* на увеличение живой силы частиц; равным прибавкам теплоты соответствуют равные прибавки в живой силе газа, т. е. в его температуре. Этого нельзя сказать о телах твердых и жидких: там частицы заметно притягиваются, часть тепла идет на работу раздвижения частиц и только остальное — на усиление колебаний, т. е. на нагревание. Оттого в одном и том же теле одинаковое количество тепла вызывает различную степень нагревания, смотря по состоянию тела (по большей

* *Journal de Physique* par Delam  therie, LXXIII, p. 58.

или меньшей разреженности частиц); другими словами, удельная теплота непостоянна.

Но теория не ограничивается этим: путем соображений, которые неудобно было бы развивать здесь, она позволила *предсказать* некоторую цифру, относящуюся к удельной теплоте газов. Мы знаем, что удельная теплота газа при постоянном давлении больше, чем удельная теплота при постоянном объеме; кинетическая теория показала, *во сколько* именно *раз* больше. Такое вычисление мы пока можем сделать только для *одноатомного* газа, т. е. такого, у которого частица не подразделяется на отдельные частички (атомы). В одноатомном газе отношение между удельными теплотами по теории должно быть, как 5:3.

Химики по некоторым соображениям считают одноатомными далеко не все простые газы. Всего несомненное такое свойство имеют газы (пары) двух металлов: ртути и кадмия. Определяя из опыта отношение удельных теплот для пара ртути, Кундт и Варбург нашли как раз 5:3*.

Посмотрим теперь, что значит *теплопроводность* газа и почему она так мала. Передача тепла от слоя газа другому слою — не что иное, как передача живой силы. Но в нашем газе, при быстром движении частиц, такая передача, посредством толчков, должна бы, повидимому, происходить очень деятельно. Отсутствие теплопроводности у газа считали поэтому таким же упреком теории, как и медленность газовой диффузии. Но те соображения, какими оправдывается медленное распространение *вещества* газа в другом газе, уясняют нам и то, почему медленно и слабо происходит передача *движения* (живой силы). Как самая частица газа переносится не все в одном направлении, а мелкими зигзагами, то сюда, то туда, оставаясь вообще в пределах небольшого района, так и живая сила ее при толчках передается в разные стороны, то вперед, то назад, и редко или медленно сообщается вдоль по одному определенному направлению.

Некоторая степень теплопроводности все-таки будет в газе. Понятно, что она зависит не только от быстроты движения частиц, но и от *длины среднего пути* частицы. Чем больше этот средний путь, тем дальше действует пере-

* *Pogg. Annalen*, CLVII, p. 353 (1876)

дача движений, тем успешнее теплопроводность. Зная величину теплопроводности, мы можем вычислить *средний путь частицы* газа. Так, оказывается, что для частицы *воздуха* (при 0° С и 1 атм. давления) длина среднего пути должна быть *около одной десяти тысячной доли миллиметра*. Но мы знаем, что эта частица проходит в своем зигзаге около 450 метров в секунду; если каждая ветвь зигзага не более $\frac{1}{10000}$ миллиметра, то число ветвей зигзага около 4500 миллионов. Это значит, частица воздуха (при сказанных условиях) претерпевает *до 4500 миллионов толчков в одну секунду!*— Эта длина пути впятеро менее, чем длина световых волн эфира. Эта смена толчков во 100 000 раз быстрее смены качаний в самом высоком тоне, какой еще доступен для нашего уха. При самой крайней степени разрежения воздуха, какая доступна для лучших насосов, путь частицы едва достигает немногих миллиметров и число толчков— все еще десятки тысяч в секунду.

Мы не будем останавливаться ни на слабой *электропроводности* газов, ни на свойстве их *спектров*. В общих чертах понятно, что в газе передача электрического процесса может происходить с таким же трудом, как и передача теплоты; но механизм этого процесса слишком мало известен. С другой стороны, понятно, что колебания раскаленных частиц в газе должны быть проще, чем в теле твердом или жидком, ибо частица газа более изолирована от влияния соседних; но объяснить подробно состав спектра того или другого газа мы не умеем до сих пор. Новейшие исследования (Локкьера, Э. Видемана и др.) обещают осветить и эту задачу.

Что касается *внутреннего трения* газов, оно нам более понятно. До сих пор мы рассматривали газ *покоющийся*. Этот покой, мы знаем, только кажущийся: частицы газа движутся по всем направлениям безразлично. *Движущийся* или текущий газ будет такой, в котором известное направление движений преобладает. Представим себе, что часть массы газа течет или движется; она не может не уделять движения соседней массе. Частицы текущего газа будут путем толчков передавать движение частицам газа покоившегося; эта передача будет весьма разнообразная; отчасти она вообще усилит движение частиц в соседнем газе (т. е. нагреет газ), отчасти будет сообщать этим движениям

некоторое преобладающее направление (т. е. перемещать всю массу газа).

Таким образом текущая струя газа непременно делится своим движением с окружающей массой, т. е. течет не свободно, а с потерей скорости. Это и значит, что в газе есть внутреннее трение. Сущность процесса состоит, как видим, в передаче движения от слоя частиц другому слою; понятно, что трение имеет много общего с теплопроводностью. Оба процесса по теории *не зависят от давления газа* (опыт подтвердил это). Оба они тем значительнее, чем больше средний путь частицы газа. Из величины трения, как и из теплопроводности, мы можем вычислить этот средний путь. Так впервые и вычислил его Максвелл на основании опытов над внутренним трением. Зная длину среднего пути, мы можем вычислить теплопроводность газа; так предсказал ее для некоторых газов Клаузиус, и впоследствии точные опыты достаточно близко оправдали его вычисление. С другой стороны, зная внутреннее трение двух газов, можем вычислить ту быстроту, с какой они смешиваются (*коэффициент диффузии*). Числа, которые нашли таким путем Стефан и Мейер, хорошо согласуются с опытами Лошмидта.

Мы старались показать, что главные характеристические свойства газов удачно объясняются, иногда предсказываются, кинетической теорией; нигде еще она не вступила в прямое противоречие с опытом. Посмотрим теперь, как нужно представлять себе по теории самое превращение вещества в газ (испарение) и обратный процесс (сжижение газа).

Мы не знаем в точности, в каком состоянии находятся частицы твердого и жидкого тела. Они тоже движутся, ибо тело имеет теплоту, а теплота значит движение. В общих чертах мы можем характеризовать эти движения так.

„В *твердом* теле частица движется около известного положения равновесия, не покидая его совсем, пока не подействуют внешние силы. Итак, движения в твердых телах можно характеризовать как колебательные; они могут быть, однакож, весьма сложны. . .

„В *жидком* состоянии частицы уже не имеют определенного положения равновесия. Они могут совсем перевертываться около своего центра тяжести, а центр тяжести может совсем выходить из своего положения. Но разгоняющее действие движения, сравнительно с взаимным притяжением

частиц, не довольно сильно, чтобы совсем отделять их друг от друга. Частица не пристаёт уже к одним и тем же соседним, но и не покидает их сама собой, а делает это лишь при содействии сил, оказываемых другими частицами; к этим последним она приходит в такое же положение, в каком была относительно своих прежних соседок. Итак, в жидкости происходят движения колебательные, катящиеся и поступательные, но таким образом, что частицы не разгоняются, а держатся, даже без внешнего давления, внутри определенного объема.

„Наконец, в *газовом* состоянии частицы вследствие движений совсем выходят из сфер взаимного притяжения и затем летят прямолинейно по обыкновенным законам движения...

„Мы сказали, что в жидкостях частица, при своем движении, остается в сфере притяжения соседних частиц, или же выходит из нее лишь затем, чтобы прийти в соответственное положение к другим частицам. Но это верно только в *среднем* итоге, и так как движения крайне неправильны, следует принять, что скорости отдельных частиц в широких пределах отступают в ту и другую сторону от средней величины.

„Рассмотрим сперва поверхность жидкости. Я допускаю, что при разнообразии движений по временам будет происходить следующее. Частица, вследствие благоприятного соединения движений, поступательного, колебательного и вращательного, с такой силой будет отброшена от соседних с нею, что прежде нежели возвращающая сила этих последних совсем уничтожит ее скорость, она уже выйдет из сферы их действия и затем полетит далее в пространстве, лежащем над жидкостью.

„Пусть это пространство ограничено и вначале было пусто; оно будет постепенно более и более наполняться отброшенными частицами. Такие частицы представляют здесь настоящий газ и при своем движении толкаются о стенки. Одной из этих стенок служит сама жидкость; она, когда какая-нибудь частица ударится о нее, вообще не будет отбрасывать ее назад, а удержит и захватит ее в силу того притяжения, какое с приближением снова окажут остальные частицы. Состояние равновесия наступит поэтому тогда, когда в верхнем пространстве распространится такое число частиц, что в каждую единицу времени средним числом столько же частиц ударяется о жидкую поверхность и на

ней остается, сколько выходит из нее вновь. Итак, наступающее равновесие не есть полный покой, испарение не прекратилось: постоянно происходят и испарение и осаждение, но то и другое одинаково сильны и потому взаимно компенсируются.

„Плотность пара, необходимая для такой компенсации, зависит от того, сколько частиц выбрасывается жидкой поверхностью, а это число в свою очередь зависит, очевидно, от быстроты движения внутри жидкости, т. е. от ее температуры. . .

„Что сказано о жидкой поверхности, применяется одинаково и к прочим стенкам, ограничивающим наполненное паром пространство. Сперва на них оседает часть пара, потом этот осадок опять подвергается испарению; окончательно и здесь должно установиться такое состояние, когда испарение и осадок равны друг другу. . .

„Отсюда понятно, почему другой газ, находящийся над жидкостью, не может мешать ее испарению.

„Давление газа на жидкость состоит в том только, что то здесь, то там отдельные частицы газа ударяются о жидкую поверхность. Но затем пространство над жидкостью все равно как бы пустое: частицы газа на самом деле наполняют лишь очень малую часть его, и частицы жидкости могут в него свободно проникать. . .

„Иначе влияет давление газа на внутренность жидкости. И здесь, или на тех местах, где жидкая масса ограничена стенкой сосуда, может случиться, что частицы отбрасываются друг от друга с большой силой и связь массы на мгновение нарушается. Но маленькая пустота, возникающая при этом, со всех сторон окружена массами, которые не дают выхода движущимся частицам. Пустота только тогда останется и расширится в целый пузырек пара, если изнутри жидкости постоянно выбрасывается столько частиц, что производимое ими внутреннее давление пара может уравновесить давление внешнее, стремящееся опять сдвинуть образовавшийся пузырек. Упругость заключенного пара должна быть поэтому тем больше, чем больше внешнее давление на жидкость: так объясняется влияние давления на точку кипения жидкости“*.

* Clausius, *Abhandlungen über die mechanische Wärmetheorie*, II, pp. 236—240.

Обратить пар в жидкость значит прекратить разрозненность его частиц, заставить их удерживать одна другую от свободных и отдельных движений. Понятно, что этого достигнем, частью уплотняя газ, частью понижая его температуру. Чем ближе частицы, тем более они мешают одна другой исполнять те свободные движения, какие характеризуют газ. Чем меньше скорость движений (следовательно, и температура), тем меньше помехи частичному притяжению, тем реже случаи, когда две близкие частицы вновь расторгаются в силу своих движений, тем чаще случаи, когда они, раз сойдясь, остаются друг при друге.

Но почему же при известной высоте температуры (при критической точке) никакого сгущения газа не обращает его в жидкость? И это в общих чертах понятно. Мы можем себе представить, что скорость частицы газа так велика, что она не парализуется притяжением соседней частицы, как бы близко ни сошлись они. Частица пролетит мимо соседней, не приставая к ней, а только отчасти заменив свое движение. Если притяжение слабо, достаточно небольшой живой силы (невысокой температуры), чтобы достигнуть этого результата. Эта температура будет *критическая точка жидкости*.

Закон ван-дер-Ваальса позволяет нам предсказать эту температуру, если знаем два числа, характеризующие газ (они зависят от размера частиц и силы притяжения). Найдя эти числа для углекислоты (из опытов Рейньо над отклонениями этого газа от законов Бойля и Шарля), ван-дер-Ваальс вычислил критическую температуру углекислоты в $32\frac{1}{2}^{\circ}$ *. Эта цифра близка к числу 31° , найденному прямо из опыта. Мы уже замечали, что тот же физик вычислил критическую точку и для воздуха; это число (-158°), полученное из недостаточных данных, еще не могло быть проверено, но, повидимому, довольно хорошо согласуется с опытами Пиктэ.

Вот обзор главных идей кинетической теории газов — обзор неполный и поверхностный, так как и размеры и способ изложения не позволяли сделать больше. Остановимся в конце на тех результатах теории, которые вводят нас в мир атомов.

* Van der Waals, p 86

Мы видели, что отклонения от Бойлева закона дают средство вычислить, какой объем занимали бы частицы газовой массы, если бы сблизить их до прикосновения (или по крайней мере высший предел этого объема). С другой стороны, явления теплопроводности и трения позволяют найти средний путь частицы. Отсюда открывается возможность дальнейших вычислений мы можем найти размер и массу частиц, среднюю величину их расстояния и число частиц в данном объеме газа*.

Этот путь приводит к ряду цифр, которые не под силу нашему воображению; их можно сравнить только с теми, какие дает нам астрономия.

Так, *средний диаметр* частицы воздуха должен быть не более 0,0000003 (т. е. около $\frac{1}{3}$ миллионной доли) миллиметра.

Малейшая микроскопически заметная величина** в 800 раз более этой цифры***.

Среднее расстояние между центрами двух ближайших частиц газа (при 0° и 1 атм.)—

0,0000003 миллиметра,

т. е. почти в 10 раз больше предыдущей величины и в 30 раз меньше, чем средний путь воздушной частицы.

Число *частиц* в одном *кубическом миллиметре* газа будет

20 000 000 000 000 000

(двадцать тысяч миллиардов). Не более того, по приближительному расчету, число ведер воды в Каспийском море. Пришлось бы потратить 700 000 лет, чтобы пересчитать это население 1 куб. миллиметра атмосферы, считая день и ночь по 10 зерен в секунду. Число людей на земном шаре ничтожно перед этой цифрой. Понадобилась бы тысяча планет величиной с солнце (т. е. с поверхностью в 12 500 раз

* По кинетической теории $\frac{1}{3}$ диаметра частицы должна составлять такую же долю от среднего пути, как воображаемый *minimum* объема газовой массы от объема, повидимому, ею занимаемого.

** По Гельмгольцу около $\frac{1}{3600}$ миллиметра (*Pogg Jubelband*, p. 575) Мейер (p. 141) и Вюрц (*La Théorie atomique*, 1879, p. 231) ошибочно берут слишком крупную цифру.

*** Собственно говоря, это — расстояние центров двух частиц во время удара. Если частицы при этом касаются, то найденная цифра и есть диаметр частицы, если нет, она больше последнего

более земной), чтобы поместить столько жителей, предполагая такую же густоту населения, как на земле. Мы были вправе считать нашу задачу статистической, хотя бы речь шла о малейшем измеримом объеме газа.

По закону Авогадро, число частиц в данном объеме газа (при одинаковых условиях) одно и то же для всех газов, а следовательно, одинаково и среднее расстояние частиц. Поэтому две последние цифры относятся ко *всем* вообще газам (при 0°C и 1 атм.).

Наконец, *средний вес* частицы *воздуха* таков, что на один *миллиграмм* приходится

10 000 000 000 000 000 000

(десять триллионов) частиц*. Одна частица относится к целому миллиграмму ($\frac{1}{62}$ аптечного грана) воздуха, как дробинка с мелкую горошину ($2\frac{1}{2}$ миллиметра в диаметре) к кубической географической миле свинца.

Эти числа, понятно, не могут считаться точными; но в этой неведомой области даже грубая оценка дорога для нас. Ошибка в *одном нуле* еще простительна в первой попытке, она исчезает в том расстоянии, каким отделены приведенные нами цифры от величин, нам знакомых и понятных. На первый раз довольно и того, если мы, как выражаются математики, узнали, *какого порядка* эти числа.

Такой первый шаг уже сделан и, что особенно важно, есть возможность *контролировать* наши результаты. Прибавим два слова об этих средствах контроля.

Одно из них встречаем еще, так сказать, на границах теории газов. Исходным пунктом наших вычислений мы брали длину среднего пути и наименьший объем массы газа — тот объем, при котором частицы касаются одна другой. Но если газ сжижен, объем его уже недалек от этого минимума. Таким образом, зная, во сколько раз сгущается газ при сжижении, мы можем повторить для него все наши последние выкладки (предполагая, что средний путь частицы известен).

Таким путем еще в 1865 г. Лошмидт в Вене старался определить частичные размеры: независимо от него то же

* Meyer, *Die kinetische Theorie der Gase*, pp 231—234 Van der Waals, pp 102—106 Способ вычисления у них несколько различен

сделали Стони (Stoney) и В. Томсон. Из свойств воды и углекислоты Максвелл находит диаметр частицы: для водорода $6/10^{-7}$, для углекислоты $9/10^{-7}$ -миллионной доли миллиметра*.

Другого рода поверки представляются, по идеям В. Томсона, в явлениях совсем иного порядка**. Они драгоценны тем, что дают нам *низший* предел частичных размеров, между тем как предыдущие способы знакомили нас с *высшим* пределом.

Рассуждая о свойствах тонкой пленки воды (мыльного пузыря), Томсон приходит к выводу, что нельзя допустить существования такой пленки менее *одной двадцатимиллионной доли миллиметра* в толщину: такое допущение повело бы к следствию, которое мы вправе считать физическим парадоксом.

Точно так же, рассуждая об электрическом притяжении разнородных металлов (например цинка и меди), Томсон находит, что было бы парадоксом допустить, хотя в идее, возможность металлической пластинки тоньше одной 30-миллионной миллиметра.

То и другое допущение нарушало бы такой физический закон, который мы можем считать всеобщим: закон сохранения энергии.

Повидимому, в том и другом случае мы имеем *один слой* частиц, и дальнейшее его подразделение уже физически невозможно или по крайней мере ведет к качественному (химическому) разложению вещества.

Этот *низший предел* размера частицы не более как в 10 раз меньше найденного нами *высшего* предела. Между ними, должно думать, заключается истинная величина частицы.

Таковы попытки проникнуть в мир тех незримо малых, из которых слагается вещество. Такова роль кинетической теории газов как первого шага в решении этой великой задачи.

* *Philos. Magazine* (4), vol. 46, p. 463 sq.

** *Nature*, 1870, n° 22.

ЭНЕРГИЯ СОЛНЦА *

(Посвящается Ф. А. Бредихину)

Most glorious orb! Thou material God,
And representative of the Unknown. .

Manfred

Солнце — этот „светоч мира“, по выражению Кеплера, — стало в последние 25 лет предметом усиленного изучения со стороны астрономов и физиков. Сложилась целая наука — назовем ее *гелиология*, — имеющая свои методы, свои обсерватории, свою богатую литературу. В предлагаемом очерке мы намерены рассмотреть одну сторону обширного предмета: мы будем говорить о количестве солнечной энергии, об ее таинственных источниках, об условиях ее сохранения или истощения. Ряд новых работ, новых гипотез по этим вопросам делает такой обзор довольно своевременным.

О размерах, составе, строении солнца напомним лишь немного. Громадная сфера солнца имеет диаметр в 109 раз более диаметра земли и почти вдвое более диаметра лунной орбиты. Расстояние солнца от земли слишком в 100 раз более его диаметра и составляет около 150 миллионов метров **

* Настоящая статья представляет в несколько дополненном виде реферат, читанный в годичном собрании Императорского московского общества испытателей природы 3 октября 1882 г.

** Из числа различных иллюстраций этого огромного расстояния приведем одну ради ее оригинальности. Физиологи измерили быстроту, с какой передается нервами раздражение органов чувств. Вообразим себе на земле, — говорит профессор Менденголл, — дитя с такой длинной рукой, что, протянув ее, оно коснется солнца. Дитя состарится и умрет естественной смертью прежде, чем успеет почувствовать обжог

Благодаря слабой плотности (она лишь $\frac{1}{4}$ средней плотности земли и только в $1\frac{2}{5}$ раза больше плотности воды), солнце только в 330 000 раз массивнее земли, что составляет, однако, более 100 000 квадриллионов (1 с 29 нулями) пудов. Эта масса оказывает на своей поверхности силу притяжения в 28 раз большую, чем сила тяжести на поверхности земли.

Солнце вращается около оси, почти перпендикулярной к плоскости эклиптики, делая оборот в 25 суток. Следствием этого должно быть, как и на земле, некоторое ослабление силы тяжести под экватором солнца от влияния центробежной силы.

Спектроскоп обнаружил нам отчасти химический состав солнца или по крайней мере наружных его слоев. Здесь с достоверностью найдены в состоянии раскаленных газов около 20 металлов, знакомых нам на земле*, в том числе водород. Из металлоидов указано с довольно большой вероятностью присутствие кислорода; менее убедительно обнаружены углерод, сера, азот; вовсе не найдено кремния, хлора, брома, иода, составляющих значительную часть земной коры. Наконец, прослежены два загадочных вещества, которых не встречаем на земле (одно из них названо *гелием*).

Несомненно, что наружные слои солнца состоят из паров и облаков раскаленного вещества, причем особенно видную роль играет легчайший из газов — водород. Фильтруясь сквозь эти газы и пары, луч солнца, идущий изнутри солнечной массы, лишается некоторых своих составных частей и дает в спектре черные (фраунгоферовы) линии, помощью которых и распознали присутствие названных веществ. В каком состоянии агрегации (твердом, жидком или газовом) находится внутреннее ядро солнца, дающее этот фильтруемый наружными слоями *непрерывный спектр*, это — вопрос, не решенный окончательно. С тех пор как утвердилось более точное представление об отношениях между тремя состояниями вещества, вопрос для физика сводится к другому: какие вещества составляют внутреннюю массу солнца и какова их температура? Для всякого вещества есть своя температура, так называемая *критическая точка*, выше которой оно не делается жидким или твердым, какому

* Железо, титан, кальций, марганец, никель, кобальт, хром, барий, натрий, магний, медь, водород, палладий, ванадий, молибден, стронций, свинец, ураний, алюминий, церий, кадмий.

бы давлению ни подвергалось. Если считать, что химическая родственность состава между солнцем и землей простирается и на внутреннюю массу солнца,— если притом температура солнца так высока, что превосходит критические точки всех земных веществ,— то следует заключить, что внутренняя масса солнца газообразна. Этот газ, благодаря громадному давлению, мог сделаться плотнее воды и потерять многие из свойств газа, взятого в обыкновенных условиях, спектр сильно сдвинутого газа также непрерывен, как спектр твердых и жидких тел. Большинство ученых склоняется теперь к такому представлению о солнце, как массе газообразной.

Впрочем, температура солнца известна нам только гадательно. Было время, когда, опираясь на некоторые опыты, эту температуру считали миллионами градусов (Секки). Но после более обстоятельной обработки тех же данных можно полагать температуру наружных слоев солнца, грубым счетом, около $10\,000^{\circ}\text{C}$ (Россетти); температура внутренних масс должна сильно превышать эту цифру.

Эти температуры во всяком случае гораздо выше всех тех, каких достигали на земле путем горения или электрического тока (не более 4800°C), и можно думать, что они выше критических точек земных веществ, хоть с точностью мы знаем лишь немногие из этих критических точек. Локьер из сопоставления некоторых спектроскопических данных заключает, что при подобных температурах не могут существовать все или многие металлоиды, что они разлагаются на составные части, хотя в наших земных условиях являются неразложимыми. Этим Локьер объясняет отсутствие многих металлоидов на солнце. Мы бессильны пока проверить такой вывод. Наши средства искусственно производить высокие температуры ограничены известными пределами. Единственный путь к расширению масштаба знакомых нам температур откроется, как думает Р. Пикте, когда обратимся к тому же солнцу, направляя на него громадные зажигательные зеркала.

От этого очага, далеко оставляющего за собой все его земные подражания, льется в пространство непрерывный поток лучистого тепла—поток энергии в форме работы волн эфира, идущих вперед и вперед и подновляемых новыми толчками из центра. Лишь ничтожная доля этого пучка лучей перехватывается телами планетной системы и утили-

зуется ими. Земля живет на *одну двухмиллиардную* долю этого потока, ибо такую долю занимает ее диск на небесном своде солнца. И эта кроха достаточна, чтобы поддерживать на нашей планете и цикл метеорологических явлений, и органическую жизнь. Из этого источника прямо или косвенно ведет начало работа воды (исключая прилив и отлив моря), работа ветра, пара, гальванических машин, мускульной силы. *Вне* этого источника энергии на земле стоят лишь немногие процессы — частью собственно земного происхождения (вулканические явления, химическая энергия самородной серы и т. п.), частью космического (работа прилива и отлива, отчасти обуславливаемая тоже солнцем, но не *лучами* его) — и ничтожная энергия сгорания метеоритов (Томсон)

Утилизуя косвенно энергию солнца в работе воды, угля, пара, гальванизма, сравнительно не так давно вздумали обратиться и прямо к источнику. Обширные степи Африки и Азии бесплодно поглощают громадное количество солнечного тепла, которое могло бы кипятить воду наших паровиков и стать источником механической работы. Таковы машины Эриксона, Мушо, Пифра, собирающие теплоту солнца помощью больших вогнутых зеркал и употребляющие ее в дело. Понятно, что такой солнечный двигатель удобен лишь для стран, где много безоблачных дней. В последнее время две комиссии в Монпелье (Ю. Франция) и Константине (Алжирия) разрабатывали практическую сторону вопроса о „солнечных машинах“. Летом 1882 г, на одном празднике в Тюльерийском саду подобная машина приводила в движение типографский пресс и печатала (по 500 экземпляров в час) импровизованную газету „Soleil“.

Энергия солнечных лучей на земле проявляется непосредственно в трех видах: как тепло, как свет и как химическое действие. Только часть солнечных лучей действует на наш глаз. Разлагая луч солнца в виде спектра посредством стеклянной призмы, мы найдем, что за пределами видимых, цветных лучей лежат, по обе стороны спектра, еще невидимые лучи, присутствие которых можно обнаружить действием на термометр и на фотографическую бумагу. В прежнее время думали, что темные лучи, лежащие за *нижним* (красным) концом спектра (ультракрасные), могут *только* греть, что темные лучи другого (*верхнего*) конца (ультрафиолетовые) действуют *только* химически

(например в процессе фотографии). Полагали даже, что ультракрасные лучи суть теплые по преимуществу, теплее светлых.

В эту ошибку вводил отчасти обычный снаряд для получения спектра — призму. В спектре, который она дает, лучи рассеиваются неравномерно: нижние сгущаются более, чем верхние, почему действие первых кажется сильнее. Равномерно рассеянный (*нормальный*) спектр дает так называемая *диффракционная сетка*. Это — пластинка стекла или металла, на которой начерчены тонкие параллельные линии, в равных и микроскопически малых расстояниях между собой. Пропуская через такую пластинку или отражая от нее луч солнца, мы получим тоже спектр (даже целый ряд спектров), но с более равномерным распределением цветов, так что красный конец кажется шире, фиолетовый уже, чем в спектре призмы. Чем тоньше промежутки между чертами сетки, чем больше ее площадь, тем сетка действует лучше. В последнее время в Америке фабрикация таких сеток получила важные усовершенствования: профессор Рюланд (Rowland) в Балтиморе делает сетки до 160 кв. сантиметров (25 кв. дюймов) величиной, имеющие до 43 000 черточек на ширине 1 дюйма (на 1 миллиметр приходится до 1700). Тот же ученый чертит сетки на вогнутом металлическом зеркале: такое зеркало заменяет разом и призму, и тот телескоп, который служит для подробного рассматривания спектра.

Но возвратимся к свойствам солнечных лучей. Ныне дознано, что *все* лучи спектра действуют в большей или меньшей мере и нагревательно, и химически. С одной стороны, удастся фотографировать не только верхнюю часть спектра, как прежде, но и нижнюю — красную и ультракрасную. С другой стороны, даже ультрафиолетовые лучи имеют, хотя слабое, термическое действие. Только на наш глаз действуют одни средние лучи спектра — отчасти потому, что прочие мало пропускаются оболочками и жидкостями глаза. Далее найдено, что *тахитит* как нагревательной, так и химической силы в нормальном спектре соответствует средним, именно оранжевым, лучам — тем, которые и на глаз кажутся наиболее яркими (Ланглей, Абней).

Таким образом чувствительный термометр может служить верным мерилем всей вообще энергии солнечного луча. Не таков наш глаз: из полного протяжения нормального

спектра солнца мы видим только $\frac{1}{7}$ долю, а от полной энергии солнечного луча, падающего на глаз, ощущаем лишь одну четверть. Ощущаемые глазом эфирные волны имеют длину волны от $\frac{4}{10}$ до $\frac{7}{10}$ микрона (микрон — тысячная доля миллиметра); между тем как термометром и фотографией можно проследить волны с длиной от $\frac{3}{10}$ до 3 микрон (Ланглей)*. Таким образом вся совокупность известных нам эфирных волн, идущих от солнца, представляет (говоря по аналогии со звуком) более трех октав.

Какова же цифра энергии, испускаемой солнцем в данное время, например — в каждую минуту? Здесь, повидному, нетрудно получить точный ответ. Следует, во-первых, измерить, какую теплоту приносит с собой в одну минуту луч солнца, имеющий известную площадь сечения (например один кв. метр). Зная размеры земли, найдем, сколько падает тепла на всю землю; а зная, что земля перехватывает $\frac{1}{2}$ 250 000 000 долю полного излучения, подведем окончательный итог.

Как ни проста задача, едва ли можно сказать, что мы ее решили, — мы знаем только *minimum* искомой цифры. Легко уловить и оценить ту теплоту, которая доходит до поверхности земли, но сколько осталось ее в верхних слоях атмосферы, сильно поглощающей некоторые лучи солнца, этого в точности не знаем.

Наблюдая нагревание тел солнцем на различных высотах над уровнем моря, при различных высотах солнца над горизонтом (следовательно, при различной длине *пути* лучей *сквозь атмосферу*), старались отсюда заключить, сколько отнимает атмосфера, и найти ту цифру теплоты, которая получилась бы, если бы делать опыт *вне* атмосферы. Таким путем Пульэ находил около 18 калорий в минуту на квадратный метр (предполагая, что лучи падают перпендикулярно), позднейшие наблюдатели (Виоль, Крова и другие) находят 22—25 калорий. Калория — это то количество тепла, какое нужно, чтобы нагреть килограмм воды на 1° Ц или фунт воды на $2\frac{1}{2}^{\circ}$. Объясняясь проще, — количество лучистого тепла, падающее перпендикулярно на какую-нибудь площадь в течение одной минуты, нагреет лежащий на ней слой воды в 1 дюйм толщиной на 4° Ц, если допустим,

* Самый высокий тон, еще слышимый ухом, дают воздушные волны длиной немного менее 9 миллиметров.

что вся эта теплота остается в воде. Не забудем, что вода нагревается с грудом (имеет большую теплоемкость); такой же слой ртути, золота или платины нагревается на 120° . Чем тоньше слой, тем значительнее будет нагревание.

Но и в этой оценке есть еще сомнение — и она, по видимому, слишком низка. В способах измерения есть недостатки; притом лучи, исходящие из солнца, весьма разнообразны и не все в равной мере пропускаются атмосферой: она действует как желтое или красное стекло, поглощая, с одной стороны, много темных лучей тепла, а с другой — много верхних (синих, фиолетовых, ультрафиолетовых) лучей спектра; сняв атмосферу или, иными словами, перенесшись за ее пределы, мы увидели бы солнце *голубым* *. Чтобы верно оценить поглощение в атмосфере и энергию солнца до этого поглощения, следует порознь перебрать все полоски, все линии солнечного спектра. Но это требует уже очень чувствительного к теплоте прибора, так как на такую полоску приходится немного теплоты. Этой цели удовлетворяет до некоторой степени известный термоэлектрический столбик Меллони; но еще лучше, еще гораздо чувствительнее недавно изобретенный прибор — *болометр* — американского профессора Ланглей (Langley). Этот ученый пользуется для измерения теплоты известным свойством металлов увеличивать по мере нагревания свое гальваническое сопротивление. Гальванический ток пропускается через разветвление проволок, известное под именем „Уитстонова моста“ и уже давно примененное Сименсом к устройству электрического термометра. У Ланглея две из этих проволок — чрезвычайно тонкие нити или полоски из стали, платины или палладия: они имеют до $\frac{1}{1000}$ доли миллиметра (!) в толщину и около $\frac{1}{5}$ миллиметра в ширину. Две полоски эти лежат рядом. Если они равно нагреты, гальванометр не показывает тока; но достаточно разницы в $\frac{1}{100\,000}$ градуса, чтобы ток обнаружился. Этот чувствительный и быстро действующий прибор Ланглей подвергает действию тонкой полоски солнечного спектра, полученного помощью диффракционной сетки. Таким образом можно измерить отдельно энергию каждой спектральной полоски, можно от-

* По соображениям Ланглея, об опытах которого говорим ниже, солнце вне атмосферы имеет цвет голубой линии спектра водорода (линия *F* Фраунгофера).

дельно проследить для нее законы атмосферного поглощения. Опыты производились частью на Аллеганской обсерватории, частью же на горе Уитней (Whitney) в Калифорнии — почти на высоте Монблана (три наблюдательные станции на этой горе находились на 800, 4000 и 4800 метров над уровнем моря). Для опытов служила одна из вогнутых сеток Роуланда. Результаты исследования, еще не оконченого, повидимому, заставят сильно повысить цифру полного итога солнечной теплоты: покамест Ланглей дает, как приблизительную цифру, 30 калорий в минуту на квадратный метр.

Допустим пока, что эта цифра — 30 калорий в минуту на квадратный метр — определена верно. Припоминая механический эквивалент теплоты (одной калории соответствуют почти 430 килограмметров работы), видим, что эта теплота представляет собой энергию в 215 килограмметров в секунду, или около трех паровых лошадей*. Припоминая размеры земли, заключаем, что работа солнца на земле составляет около 360 биллионов лошадиных сил. Вся поверхность солнца испускает в 2 250 000 000 раз большее количество энергии, т. е. *800 000 триллионов сил*, и на каждый квадратный метр поверхности солнца приходится более 130 000 сил.

Не с чем сравнить, нечем пояснить воображению эти громадные цифры. Самые колоссальные механические процессы на земле — только малые доли этого великого целого. Из этих отпрысков солнечной энергии на первом месте стоит разрушительная сила ураганов, которую оценивают нередко сотнями миллионов (но не биллионов!) паровых лошадей**. Водопад Ниагары представляет работу лишь около 20 млн. сил. Работа всех людей, животных и машин земного шара также не превышает нескольких десятков миллионов.

Не только количественная сторона солнечной энергии, но и качественная важна для нас, в частности важны те лучи, которые освещают нас и для которых наш глаз имеет свою особую мерку. Примем за единицу света тот,

* *Паровой лошадьё*, или *лошадиной силой*, или просто *силой* называется напряженность работы, равная 75 килограмметрам (15 пудофутам) в секунду

** Рейе высчитывает, что ураган, свирепствовавший в октябре 1844 г. на острове Кубе, работал трое суток с силою 473½ млн паровых лошадей.

который дает свеча на 1 метре расстояния.* Сколько таких свеч заменяет собою солнце? Около 70 000. Но расстояние солнца от нас — не 1 метр, а 150 млн метров. Приняв это в расчет, заключаем, что та люстра, которая, будучи помещена на месте солнца, заменила бы его нашему глазу, должна состоять из 6000 квадриллионов свеч (6 с 27 нулями!).

Мы сравниваем здесь полный свет двух светящихся поверхностей. Если хотим сравнить *напряженность* их света, то должно сравнить действие их при *одинаковой видимой величине*. Тогда для свечи результат еще скромнее: пламя свечи на расстоянии метра имеет большую видимую величину, чем солнце. Но для ярчайшего из земных источников — вольтовой дуги или „электрического солнца“ — приговор выходит гораздо утешительнее: эта небольшая светлая точка только в 3—4 раза (иногда, быть может, только в половину) слабее *соответственной* части солнца, т. е. части, имеющей такую же видимую величину. Этому очередному чуду нашего времени не столько недостаток напряженности, сколько малость светящейся площади, не позволяет соперничать со „светочем мира“. В этом отношении первая Вольтова дуга была истинным откровением.

Познакомившись с количеством солнечной энергии, с ее оптической стоимостью, перейдем в область гипотез. Спросим себя: каким процессом производится этот свет и эта теплота? Есть ли это процесс приходящий, грозящий более или менее близким концом, или он обеспечен навсегда?

Испускаемая солнцем энергия теряется для солнца. Для вселенной она не потеряна — она продолжает жить в волнах эфира, пока не упадет на какое-нибудь небесное тело, где частью поглотится и станет источником новых явлений. Но заметим, что на все планеты в совокупности приходится лишь одна двухсотмиллионная доля этой траты (вдесять раз больше, чем на одну землю). Роль всего остального расхода энергии для солнечной системы является, по нашим настоящим представлениям, как чистый убыток. Мы не знаем, на что нужны, что и где делают эти бесполезные, мимо идущие эфирные волны; для нас они — мертвый капитал. Если

* Слово *свеча* слишком неопределенно. Подразумевается такая, которая служит фотометрической единицей у англичан [спермацеватая свеча в $\frac{1}{6}$ фунта, сжигающая 120 гран ($7\frac{3}{4}$ грамма) в час].

бы мы могли доказать, что они, например, участвуют в механизме явлений тяготения, если бы мы, рассуждая в духе Рэнкина, могли думать, что, отражаясь от пределов эфира (за которыми, по мысли этого ученого, следует *совершенная пустота*), эти лучи собираются опять в солнце и тем отчасти вознаграждают его лучеиспускание, мы примирились бы с этой тратой. Но для таких гипотез нет точек опоры, и трата представляется непроизводительной

А эта трата уже давно заботит спекулятивные умы, хотя заботой, так сказать, бескорыстной: на памяти истории нет ни малейших признаков истощения солнца

Die Sonne tönt nach alter Weise...

Как объяснить это? Так ли громадна *полная* энергия солнца, что даже этот страшный расход ее за целые тысячелетия составляет лишь неприметную долю целого? Или есть нечто, питающее эту энергию извне, по мере ее расходования?

Большинство ученых склонилось к *первому* допущению. Так, Вильям Томсон и Стокс просто полагают, что внутренность солнца хранит громадный запас первобытного тепла, который тратится, относительно говоря, очень скупно. Наружные слои солнца сравнительно холодны, и так как вся масса жидка или газообразна, то эти слои, по мере остывания, спускаются в глубь и заменяются восходящими токами изнутри. Такие нисходящие токи постоянно происходят и в нашей атмосфере. При таком порядке вещей температура наружных слоев солнца может поддерживаться постоянной и весь процесс охлаждения происходит с неприметной для нас медленностью.

Но мало этого. Гельмгольц остроумно указывает источник тепла в самом процессе остывания солнца. Остывающее тепло сокращается в размерах; в массе жидкости или газа это сокращение выражается преобладанием нисходящих потоков над восходящими. От этого сжатия массы, оседания наружных слоев к центру, является теплота как в опыте с воздушным огнивом, где сгущением воздуха зажигают трут. Гельмгольц, принимая ядро солнца твердым или жидким, вычислил, что сокращения на $\frac{1}{10000}$ видимого диаметра солнца достаточно, чтобы покрыть расход тепла за 2000 лет; а такое сокращение неприметно даже для астрономов. Американец Лен (Lane) доказывает даже такую мысль, которая на первый взгляд кажется парадоксом. Если солнце все

газообразно, — говорит он, — то от остывания в окружающей среде оно должно делаться *теплее*, хотя меньше в объеме. Для массы газа, помещенной в холодную среду, прибыль теплоты вследствие сокращения более чем наверстывает убыток. Но с уплотнением массы, с увеличением притяжения на ее поверхности, наружные слои должны будут, наконец, обращаться в жидкость, и с этих пор начнется та стадия процесса, которая рассмотрена Гельмгольцем: дальнейшее остывание действительно поведет к понижению температуры, хотя оно будет отчасти парализоваться сжатием массы. В какой из двух стадий процесса находится теперь солнце, ответ зависит от того — можно ли считать хотя наружные слои его жидкими или же вся масса есть газ? Развивая эту точку зрения, Ньюком (Newcomb) вычисляет, что современные условия жизни на земле могли поддерживаться до 10 миллионов лет в прошедшем и обеспечены настолько же в будущем.

Эти соображения о сжатии солнца через остывание, о восходящих токах, восстанавливающих температуру его светящей поверхности, основываются на известных нам законах и не требуют вспомогательных гипотез. Они представляются поэтому наиболее естественными. С такой точки зрения история солнца есть *угасание* — непрерывное, но не приметно медленное.

В других гипотезах предполагается, что энергия солнца подновляется извне. Я не буду долго останавливаться на известной гипотезе Мейера и Томсона, по которой солнце есть как бы гигантская наковальня, ударяемая, как молотами, роем метеоритов (падающих звезд) или масс, составляющих около солнца так называемый зодиакальный свет. Сравнение, впрочем, не совсем точно: массы, которые стремятся на солнце, должны обращаться в пар с приближением к нему и низвергаться на него в виде газовых потоков. От этой идеи отрекся сам знаменитый ее приверженец В. Томсон, считая, что она обезоружена и астрономическими, и спектроскопическими данными: чтобы солнце могло восстанавливаться таким, и *только таким* путем, нужна слишком большая масса падающих тел, слишком громадная быстрота потоков.

Весной нынешнего года новая гипотеза о *питании* солнца наделала много шума, и действительно, при всей рискованности некоторых положений в ней не мало оригинального и возбуждательного. Гипотеза принадлежит Вильяму Сименсу, одному из двух знаменитых братьев электриков, и сообщена

Лондонскому королевскому обществу 2 марта (н. ст.) текущего года.

По Сименсу, солнечный процесс есть не что иное, как *горение*. Мысль простая, но если бы допустить горение без подвоза топлива, она не выдержала бы критики. Если бы все солнце состояло из угля, горящего в кислороде, оно сгорело бы в 6000 лет и уменьшилось бы на одну треть от Р. Х. до нашего времени. Все другие знакомые нам химические процессы — эти другие формы горения — повели бы к подобному же результату.

Но где же искать этого подвоза топлива? А подвоз должен быть огромный. Вся годовичная добыча каменного угля на земном шаре могла бы поддержать солнечную теплоту лишь на одну сорокамиллионную долю секунды: вся земля — если представим себе, что она состоит из угля, — наплатала бы солнечную печку на $1\frac{1}{2}$ суток, хотя та же земля, падая с своей орбиты на солнце, дала бы теплоты на 95 лет. По теории горения подвоз свежего материала должен быть еще больше, чем по мейеровой гипотезе метеоритов (что и побуждало физиков предпочесть эту последнюю).

По Сименсу, это топливо солнца *рассеяно повсюду* — в межзвездном пространстве. Оно потребляется постоянно, но постоянно же восстанавливается теми *лишними лучами солнца*, о которых мы говорили ранее. Лучи эти, по мнению Сименса, тратятся на то, чтобы перерабатывать продукты горения в новое топливо. Таким образом солнце с окружающей его средой представляет нечто в роде *регенеративной газовой печи* братьев Сименс, и конечно, самое это изобретение и называло разбираемую гипотезу в уме одного из изобретателей.

Межзвездное пространство наполнено, по Сименсу, не одним только светоносным эфиром физиков. В нем рассеяны крайне разреженные газы, может быть и твердые пылинки, в том числе водород, кислород, азот, углерод и их соединения. Сгущаясь около солнца и планет от силы тяготения, они составляют атмосферы этих тел. Прямое указание на присутствие этих веществ в пространстве Сименс находит в том факте, что падающие на землю из пространства метеориты (падающие звезды) переполнены газами, особенно водородом и окисью углерода (угарным газом). Нужно признаться, что этот аргумент слаб: при той низкой температуре и том низком давлении, какие мы должны приписать межпланетной среде, метеориты не могли *так сильно* на-

питаться ее газами — поглощение ими газов должно было совершиться где-то при иных условиях. Недавние наблюдения Абнея (Abney) скорее могут служить в пользу Сименса; находя в спектре солнца некоторые линии водоуглеродов (бензина, этила), не исчезающие даже при наблюдении на больших высотах над уровнем моря, Абней заключает, что эти водоуглероды находятся где-то между землей и солнцем.

Солнце, вращаясь в той среде, какую воображает Сименс, вызывает в ней известный круговорот. Вследствие более сильного притяжения у полюсов солнца, менее сильного при экваторе (где действует центробежная сила), образуется постоянное всасывание материи у полюсов и выталкивание ее в экваториальных широтах солнца. Межзвездное вещество постоянно притекает к полюсам и затем, спускаясь к экватору, растекается отсюда во все стороны. Намек на это обратное течение Сименс видит в той сплюснутой туманной массе, которая окружает солнце вдоль плоскости его экватора и называется зодиакальным светом.

В потоке всасывающем, водород, кислород, водоуглероды переходят из состояния крайнего разрежения и холода к большей плотности (вследствие возрастающего притяжения к солнцу) и к высокой температуре. Наконец, они воспламеняются с большим развитием теплоты. Результатом сгорания будут водяной пар и углекислота, и эти-то продукты горения исподволь выбрасываются в пространство обратным током, представляющим как бы дымовую трубу солнечной печи.

Известно, что химически сложные тела могут подвергаться более или менее полной *диссоциации* (разложению) от изменения температуры и давления. По С. Клер-Девиллю, которому принадлежит открытие явлений диссоциации, водяной пар под давлением атмосферы разлагается на половину (половина массы делается простой смесью водорода и кислорода), если температура доведена до 2800°C ; но если повысить давление, часть смеси снова воссоединится, и нужно повысить температуру, чтобы вернуться к прежнему составу массы. Наоборот, с уменьшением давления температура диссоциации понижается. По опытам самого Сименса, водяной пар, разреженный до $\frac{1}{1800}$ атмосферы, диссоциирует от одного действия лучей солнца (после такой инсоляции он дает под электрическим разрядом спектр водорода). Вообще лучи солнца производят частную диссоциацию, даже не нагревая особенно. Так, углекислота и вода диссоциируются

в листьях растений. Опыты Тиндаля, показывая, что сложные газы сильно поглощают лучи, тогда как простые свободно пропускают их, также косвенно намекают на то, что в сложных газах энергия лучей отчасти тратится на диссоциацию.

На основании этих данных Сименс полагает, что горение водорода и углерода в полярном солнечном потоке возможно: благодаря сильному давлению, тела *могут* вступать у поверхности солнца в химическое соединение, хотя температура и высока. Но в *обратном* потоке, идущем от солнца, с понижением давления диссоциация понемногу возникает вновь, несмотря на низкую температуру. Этой диссоциации помогают солнечные лучи, пронизывая продукты горения и возвращая им первоначальную их химическую энергию. Таким образом количество горючих веществ в пространстве восстанавливается по мере их расхода и постоянно готовится новое топливо для солнца.

Гипотеза встретила много возражений — многие пункты ее несомненно слабы. Не убедительно доказано, что циркуляция среды может поддерживаться в потребном размере вращением солнца и что при той степени разреженности, какую необходимо признать по астрономическим соображениям, среда даст достаточно материала для возобновления солнца*. Сколько-нибудь точная смета здесь невозможна по отсутствию многих данных.

Таким образом гипотеза затрагивает ряд вопросов, которые не по силам современному знанию; но в этом — ее возбудительная сторона. Как бы то ни было, не лишена заманчивости эта мысль о материальном общении небесных тел, вместо той изоляции их друг от друга, какая допускается в общепринятом представлении, где только непонятный закон тяготения и обмен лучей сквозь абстрактный эфир

* Для плотности межзвездной среды (эфира) физика может с некоторой вероятностью указать только *minimum*. Зная энергию солнечного луча и скорость света, можно вычислить, следуя Томсону, что эфир *не более* как в полтриллиона раз легче водорода, взятого в нормальных условиях (при 0° Ц и атмосферном давлении). По этому расчету, в объеме земного шара уместается не менее 200 килограммов (12 пудов) эфира. Глан находит основания увеличить в 7000 раз этот *minimum*. Цифры во всяком случае ничтожные даже сравнительно с самой совершенной „пустотой“, какую можем получать искусственно (в опытах В. де-ла-Рю разрежение газов доводилось до $\frac{1}{15}$ миллионной доли атмосферы). Но эти теоретические числа, повторяем, дают только *низший* предел плотности эфира.

связует небесные тела между собой. Развивая свою мысль, Сименс спрашивает: не питается ли и земля на счет продуктов горения солнца. Не от него ли она, находясь в дыму солнечной печи, получает свой ежедневный запас углекислоты и водяного пара, „как свежие булки к завтраку“? Этим объяснилось бы, по его мнению, то громадное количество углекислоты, какое должно было существовать в нашей атмосфере, чтоб образовать залежи доломитов и известняков, составляющие значительную часть земной коры.

Мысль о подобном составе межзвездного эфира, о возможной роли его для питания небесных тел встречается еще у Ньютона. В одной записке Ньютона (1675 г.), о которой вспомнили по настоящему поводу, находим любопытные соображения. „Не следует полагать, — говорит он об эфире, — что эта среда есть однородное вещество; она состоит частью из главного флегматического тела эфира, частью из разных других эфирных веществ (*ethereal spiritis*) — вроде того, как воздух составлен из флегматического воздуха, смешанного с другими парами и испарениями. Этот сложный эфир, простирающийся всюду, находится в непрерывном движении и обмене. Ибо природа — вечный круговращатель — порождает жидкое из твердого и твердое из жидкого, неподвижное из летучего и летучее из неподвижного, тонкое из грубого и грубое из тонкого, заставляет одни предметы подыматься и образовать верхние соки земли, реки и атмосферу, а другие, вследствие того, опускаться взамен предыдущих. И как земля, так, может быть, и солнце обильно впитывают в себя этот дух (*spirit*), чтобы сохранить свой свет и сдерживать планеты от дальнейшего удаления; и желающие могут предположить, что этот дух приносит с собой топливо для солнца и материальное начало жизни и что огромные эфирные пространства между нами и звездами суть достаточноеместилище для этой пищи солнца и планет. Так, быть может, все вещи происходят из эфира“. Слова замечательные — не пророческие ли? Это покажут дальнейшие успехи науки. Может быть не в той, так в другой форме возникает снова эта мысль, опираясь на более веские данные, и мы действительно проникнем в секреты „питания“ небесных тел...

Механизм, воображаемый Сименсом, не есть, конечно, невозможное *perpetuum mobile*. Во-первых, та часть солнечной энергии, которая задержана планетами, пропадает для

солнца. Во-вторых, наполняя пространство вещественной средой вместо идеального эфира — средой, способной сколько-нибудь сопротивляться движению, мы тем самым вносим известную непрочность в нашу планетную систему; будущее грозит замедлением планетных движений и падением планет на солнце. Наконец, мы не спасаемся от того рокового исхода, который является неизбежным выводом всех настоящих сведений о природе, — не спасаемся от того закона *расточения энергии*, который уживается рядом с законом об ее *сохранении*. По учению физиков, энергия природы, оставаясь себе равной количественно, должна постепенно переходить в такую форму, откуда нет пути к дальнейшим переменам, — и вселенная в конце концов должна превратиться в инертную, равномерно нагретую массу.

Но даже принимая эти выводы — принимая, что все, что мы знаем о природе, указывает на начало и конец ее настоящего порядка, — необходимо искать в ней той экономии, благодаря которой эта неизбежность конца примиряется с кажущейся неизменностью мирового процесса.

Природа представляет нам разом и видимую безграничность повторения, и общий закон рождения, развития и смерти. Эти два аспекта совпадают с субъективными потребностями нашего духа — потребностью начала и конца и потребностью бессмертия. Как мировое пространство мы не можем себе ясно представить ни конечным, ни бесконечным, так и для мировой истории мы не поймем ни пределов, ни беспредельности.

Попытки угадать эту историю всегда выходят за область строгого знания. Здесь наука, сознавая свои настоящие границы, но условно переходя их, старается дорисовать бесконечную картину по тем немногим чертам подлинника, которые она успела подглядеть. Но эти трансцендентные попытки, понимаемые в надлежащем смысле, имеют свою великую цену — как баланс наших сведений, как стимул к дальнейшему труду. И едва ли есть более поучительная мерка развития человечества, как история наших воззрений на жизнь космоса.

ФИЗИЧЕСКИЕ ЛАБОРАТОРИИ У НАС И ЗА ГРАНИЦЕЙ*

Нередко раздавались в известной части нашей печати и общества тенденциозные голоса, будто наши ученые не работают, будто требуются им какие-то новые помочи, дабы не ходили вкривь и вкось, а занимались своей наукой, и т. п.

По отношению к русским натуралистам, почтенный товарищ И. М. Сеченов — один из тех ученых, за которых России не стыдно перед Европой, — уже дал отпор такому предрассудку фактами и цифрами в своей статье „Научная деятельность русских университетов по естествознанию за последние 25 лет“ (*Вестник Европы*, ноябрь 1883 г.).

Говоря об успехах русской университетской науки, проф. Сеченов, как биолог, сосредоточивается по преимуществу на работах по биологическим наукам и близкой к ним химии. „Развитие физики, — говорит он, — по самому существу дела не могло идти столь быстро, тем более, что к началу нашего периода готовых работников почти не было“. В конце статьи автор, находя, что многое сделано за эти 25 лет, прибавляет:

„Двадцатилетний опыт ясно указал, что в учреждении лабораторий с соответственным против прежнего увеличением преподавательского персонала лежат условия, благоприятные для развития. Значит, для будущего, условия эти нужно или усилить, как это делается на Западе, или по крайней мере сохранять“.

Как член наилучше обставленного из наших университетов, И. М. Сеченов, мне кажется, слишком мягко выразил

* Сообщение, читанное в публичном заседании Отделения физических наук Императорского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии 14 декабря 1883 г.

свой конечный вывод. Дилеммы тут нет: „по крайней мере сохранять“ — этого мало; нужно „усиливать, как это делается на Западе“, — нужно созидать, где еще ничего нет. Иначе сойдем назад и с того пункта, который уже завоеван.

Под влиянием старых и новых заграничных впечатлений, мне хотелось сказать несколько слов для иллюстрации этой мысли по отношению к моему специальному предмету — физике. Как и что делается на Западе? Какими условиями обставлен ученый физик там и какими у нас? Посмотрим.

Было время, когда физика только что складывалась, когда физик содержался в черном теле, и главной своей добродетелью считал „уменье пилить буравчиком и сверлить пилой“ (слова Франклина). С тех пор наука росла быстро и стала творить чудеса: не ограничиваясь расширением умственного горизонта, она подарила человеку на первых же порах и паровозы, и телеграф, и гальванопластику, и фотографию. Для Запада эти невыгодные условия стали далеким прошлым. Там физик давно уже разжился, нашел средства приобрести и пилу и буравчик, обзавелся и более хитрыми снарядами. Он обставлен деньгами, помощниками, техническими исполнителями; разделение труда признано и здесь необходимым. Когда-то астроном В. Гершель сам делал свои телескопы; теперь для этого имеются Мерцы и Альван-Кларки, — только плати, да умей пользоваться инструментом. То же потом случилось и с физикой. Приемы исследований стали точнее, работа ученого отделилась от работы техника. Наконец, уже почти на наших глазах возник вопрос о *физических лабораториях*. Признано, что не всякое помещение, не всякий дом годится для точных физических работ, что посвященное им здание раз навсегда должно быть наделено известным специальным комфортом. Относительно астрономии и химии это признано было раньше; дошла очередь и до физики. Оказалось, что потребности успешной работы здесь никак не легче и проще, а чуть ли не еще сложнее, разнообразнее и ценнее.

Так возникли и возникают в Западной Европе и Америке одно за другим богатые здания, приспособленные для преподавания и для исследований. Незыблемые постаменты для таких инструментов, которых нельзя наблюдать при малейшей тряске, обилие солнечного и искусственного света, сподручное получение в данную минуту воды, того или другого газа, пустоты, вращательного и колебательного движения,

тепла и холода, электрического напряжения и электрического тока и т. д. и богатая коллекция приборов — вот главные потребности таких институтов. Прибавим, с педагогической стороны, аудиторию, устроенную так, чтобы всякий мог слышать и видеть, прибавим мастерскую для текущих поделок, химическую кухню и т. д.

Эти физические лаборатории растут не по дням, а по часам. С тех пор, как открыт спектральный анализ и настало новое движение в электротехнике, на физику особенно не жалеют денег, как уже издавна не жалели на химию и астрономию. Вопрос живой и новый, тип института только что выработался, и почти каждая новая лаборатория опереживает прежние комфортом. Поговорим о нескольких новейших — посмотрим, как они велики, что в них есть и во сколько они обходятся.

Чтобы привести примеры, я не пойду в Англию, страну богачей и частной инициативы, где в 1874 г. просвещенный аристократ (герцог Девонширский) дарит университету Кембриджа физическую лабораторию со всем необходимым инвентарем, жертвуя на это сотни тысяч. Любопытно, что эта „страна классического воспитания“ чуть ли не первая обзавелась вполне комфортабельными лабораториями, хотя ее ученые до сих пор плачутся на господство схоластического духа и недостаточную поддержку естествознания. Не пойду во Францию, где давно уже процветали точные науки, где стоит международное бюро мер и весов и готовится специальная электрическая лаборатория на выручку с выставки 1881 г. и где теперь на перестройку Сорбонны и Медицинской школы ассигнованы многие миллионы франков. Ограничимся двумя странами, наиболее близкими к России по географическим и другим соображениям, — посмотрим новейшие физические институты в Германии и в Австро-Венгрии.

В Германии возьмем Берлин и Страсбург. Одна из этих двух лабораторий выдается грандиозностью (теперь она самая обширная в свете); другая, как наиболее новая, отличается несравненным комфортом.

В двух шагах от берлинских Липок, на пространстве обширного квартала между Dorotheenstrasse, Neue Wilhelmstrasse и рекой Шпрее вырос в 70-х годах колоссальный и роскошный дворец, состоящий из двух отдельных половин, с садом в промежутке. Это — две лаборатории, физическая (директор проф. фон-Гельмгольц) и физиологическая (проф.

Дюбуа-Реймон). В целом, вместе с двором и садом, разделяющими на две половины здания, — площадь в 4000 кв. саж. ($1 \frac{2}{3}$ десятины)! Собственно под зданием физической лаборатории с принадлежащими квартирами — более 1300 кв. саж. в три этажа. Постройка начата в 1873 г., и теперь обе лаборатории в полном действии. На постройку всего здания отпущено из казны *семь миллионов марок* ($3 \frac{1}{2}$ миллиона рублей).

В физической половине — большая и малая аудитории со всеми удобствами для опытов и демонстраций, частная лаборатория профессоров, общие лаборатории для начинающих и отдельные для более самостоятельных работ, всевозможные специальные комнаты (магнитные, оптические, фотографические, для абсолютных измерений и т. д.), библиотека, мастерская, химическая кухня. Тут же квартиры директора, ассистентов и служителей. В большой и роскошной квартире обитает знаменитый и заслуженный директор — профессор фон-Гельмгольц, пользующийся на своем профессорском посту, не говоря об ученой славе, и министерским окладом, и почетом страны, как ее слава и гордость, и значением международного учителя. Лаборатория устроена прежде всего, конечно, для самих немцев (не так как бывает иногда у нас); но она давно сделалась международной, и ежегодно притекают туда англичане, американцы, японцы и наши русские — притекают учиться и работать — кто начинать, кто усовершенствоваться.

Берлин с своими миллиардами, конечно, нам не указ: Гельмгольцов у нас нет, народы учиться к нам не потекут. Возьмем что-нибудь поскромнее — посмотрим Страсбург.

Здесь целая новая часть города построена немцами на СВ конце, частью на месте прежних французских укреплений: это — новые здания университета. В настоящее время готовы и действуют: химическая лаборатория, физический институт и астрономическая обсерватория. Главное здание университета, более обширное, чем каждый из этих трех дворцов, еще не dokonчено.

Физический институт в Страсбурге (директор — проф. Кундт) стоил (здание и мебель) 550 000 марок (275 000 руб.). Понятно, он меньше берлинского; но зато он представляет последнее слово научного комфорта. Площадь здания около 340 кв. саж.; три этажа, кроме подвального. Аудитория всего на 120 человек (у нас в Московском университете

слушателей физики — математиков и медиков — до 600), освещена 24 лампами Эдисона, пользуется 4-сильным газовым двигателем, который дает и рабочую силу для движения, и электрический ток для света. Зала для коллекций занимает 70 кв. саж. и наполнена всем необходимым. Общие лаборатории для начинающих снабжены каждая своим инвентарем необходимейших снарядов, не входящих в лекционную коллекцию. Отдельные лаборатории — для профессоров, ассистентов, для работающих самостоятельно. Повсюду газ, вода, тяги, приспособление для получения безвоздушного пространства, телефоны и электрический ток. Прямым солнечным светом можно пользоваться почти во всякой комнате: луч с зеркала гелиостата может быть пропущен с конца на конец дома сквозь особые форточки в стенах. Специальные комнаты для оптики, для фотографии, для химических работ; комнаты для магнитных работ, где совершенно устранено железо до последнего гвоздика; платформа на кровле для спектральных наблюдений; вертикальный канал с верху до низу здания для опытов, требующих большой разницы уровня, и т. д. Аудитория имеет прямой отдельный ход для слушателей, которые таким образом не могут мешать работающим. Самостоятельно работающие друг от друга изолированы и однако пользуются удобствами общего помещения. Обзор большого здания необыкновенно облегчен, благодаря целесообразному размещению комнат. Квартира профессора расположена так, что из кабинета дверь на хоры аудитории, и легко проникнуть в любой угол дома.

Заглянем поближе к нам — в Австрию. Пока еще не отстроены грандиозные дворцы нового университета в Вене, поглощающие несметное число гульденов, — отправимся посмотреть Грац.

Грац — живописный город на южной дороге (через Зёммеринг), в 200 верстах от Вены; имеет около 100 000 жителей. Здесь, у подошвы зеленой горы и в соседстве с городским парком, отведен обширный участок земли под новые университетские здания. Центральное здание еще не поставлено; но две лаборатории, физическая и химическая, уже несколько лет открыты. Местность удобна простором и изолированным положением, хотя недалеко от центра города.

Физическая лаборатория построена по указаниям проф. Тёплера. Этот талантливый физик, бывший некогда профес-

сором политехнического института у нас в Риге, — один из тех немногих парадоксальных немцев, которые не уживаются в России. (Нечто подобное случилось и с знаменитым ботаником Шлейденом.) В настоящее время директором грацской физической лаборатории весьма известный в науке проф. Больцман.

Здание стоило около 400 000 гульденов. Оно в $1\frac{1}{2}$ раза больше нашего „нового университета“ — около 500 кв. саж., 3 этажа. Удобства почти те же, как в Страсбурге, для которого грацская лаборатория служила во многом прототипом. Прибавлено еще помещение с вышкой для метеорологических наблюдений. Богатая коллекция снарядов занимает 60 кв. саж. В первые годы по открытии нового института, на коллекцию отпущена была экстраординарная сумма в 18 000 гульденов.

Вот — образцы с ближайшего к нам Запада. Ограничусь ими, как более новыми и особенно комфортабельными; но они не единственные. В Лейпциге, Геттингене, Гейдельберге, Бонне, Мюнхене, Инсбруке, Праге, Кракове и пр. мы нашли бы тоже институты весьма удовлетворительные; местами приступают к сооружению новых, более удобных и богатых.

Обратимся к отечеству.

Подобно проф. Сеченову, я желал бы говорить только о русских университетах. С.-Петербургская академия здесь в строку не идет: у ней другие условия, ей жаловаться не на что...

Так называемая Физическая (точнее физикогеографическая) обсерватория в Петербурге, с суккурзалом в Павловске, — без сомнения роскошное заведение. Да и диво ли? Ведь она ежегодно тратит в десять раз больше, чем все физические кабинеты русских университетов в совокупности. Жаль только, что русскому, желающему поучиться и поработать, трудно туда проникнуть. Заметим еще, что метеорологическая наука стоит еще не на столь высокой степени совершенства, чтобы требовать слишком ухищренных наблюдений, что для физикогеографического исследования России было бы несравненно важнее иметь лишнюю сотню простых и дешевых метеорологических станций, чем одну роскошную. Еще недавно VII одесский съезд натуралистов и Императорское географическое общество подняли вопрос о том, как бы пополнить на иные средства, иным путем то,

чего не дает наша главная метеорологическая организация при Академии наук...

Но посмотрим на наши собственно *физические* институты при университетах, где *русские* работают и учатся работать.

Увы, их нет, — этих институтов! Нет во всей России ни одного здания, которое было бы построено собственно для физики.

Хорошо еще, если отведен для нее особый дом (хотя бы старый и не вполне удобный). Так, в Петербургском университете несколько лет тому назад воспользовались нижним этажом старого, екатерининских времен дома (так называемого же-де-пома) на университетском дворе, с затратой (собственно для физического института) около 15 000 руб. (Весь дом потребовал на возобновление большей суммы; верх его, кажется, пустует.) Аудитория — на 200 человек; коллекции помещаются в большой зале, служащей общей лабораторией студентов; отдельных лабораторий нет (кроме профессорской и двух черных комнат для оптики); рядом мастерская. В итоге около 220 кв. саж.

В *Казани* физика занимает один дом с химией: физика — в верхнем этаже, что представляет неудобство для помещения инструментов, не допускающих тряски. Пространство около 140 кв. саж. В числе неудобств помещения проф. Колли указывает на то, что рабочие комнаты проходные и что в аудитории слушатели сидят лицом к свету.

В *Одессе* помещение для физики — по русскому масштабу одно из лучших — занимает 158 кв. саж. в одном крыле общего университетского здания. При основании университета, на приспособление потрачено около 10 000 руб. Аудитория в 27 кв. саж. Квартир для директора вовсе нет.

В *Киеве* совокупность комнат, назначенных для физики, составляет около 120 кв. саж., в том числе до 50 под большой залой, которая служит и аудиторией, и хранилищем снарядов. „Если принять в соображение, что прочие комнаты имеют высоту 8 футов, что окна соответственно тому очень малы, то приходим к убеждению, что помещение нашей лаборатории мизерно до невозможности“ (проф. Авенариус).

В *Варшаве* физический институт помещен в 3-м этаже одного из университетских зданий и одной комнате 1-го этажа — всего около 70 кв. саж., не считая аудитории, где читаются и другие лекции. Квартир для заведующих

нет. С 1870 г. по 1883 израсходовано на снаряды и приспособления около 20 000 руб. (считая и штатный бюджет по 900 руб. в год) и доставлено из закрытого лодзинского технического института снарядов на 4000 руб.

В *Харькове* до осени 1882 г. физический институт университета помещался внизу одного из флигелей и занимал около 80 кв. саж., в том числе *аудитория (на 60 мест)* в $11\frac{1}{2}$ кв. саж. (!) В прошедшем году временно перемещено преподавание опытной физики в физикомеханическое здание предполагавшегося технологического института — и „неизвестно, чем постоянным разрешится это временное“ (проф. Шимков).

Как мелки эти цифры в сравнении с западными образцами. Обновление физических институтов, можно сказать, еще не началось у нас. Когда начнется? И неужели весь вопрос только о „сохранении существующего?“ По старому, физический кабинет и некое покушение на лабораторию гнездятся в каком-нибудь углу старого дома, не удовлетворяющего самым элементарным требованиям: тут нет солнечного света, там магнитометр пришелся вблизи чугунной лестницы, здесь не проведена вода — и везде тряска, теснота и безденежье...

В старейшем русском университете под физикой — около 110 саж. в один этаж (не считая аудитории, которая принадлежит одной кафедре); вся коллекция теснится на 30 кв. саж. Эта сотня квадратных саженей представляет притом чресполосицу — два участка, в двух разных домах, разделенных большими дворами и улицей: большое удобство для директора, живущего в верхнем этаже *третьего* дома! Аудитория лишена солнечного света, почти лишена и дневного, — имеет 140 мест — приблизительно для одной четверти наличного числа слушателей (оно доходит в текущем году до 389 человек на математическом факультете и около 300 на медицинском, коему читается особый курс) и представляет, как бы по особому заказу, все возможные неудобства. Коллекция бедна, и нужны многие тысячи, чтобы ее пополнить и облагородить.

Вот обстановка физических кафедр в нашей стране.

Понятно, что русский физик, остающийся при прежних примитивных условиях и до сих пор тшачийся выполнять рецепт Франклина о пиле и буравчике, теперь еще более осужден отставать от своих западных собратьев, чем в эпоху

Ломоносова, когда примитивность царствовала везде. *Вот* — главная причина, почему физика „не может у нас *итти быстро*“, — еще диво, если хоть как-нибудь идет.

Конечно, сравнивая русские современные порядки с теми, какие были у нас 25 лет назад, прогресс, вообще говоря, отрицать невозможно. Но останавливаться нельзя, ибо другие не стоят; а ограничиться „сохранением существующего“ (неужели и хуже может быть) значит остановиться, т. е. остаться назади.

Какая мораль вытекает из всего сказанного, какие заботы для правительства и для общества, если желают поднять уровень науки в стране (не на бумаге, а на деле), это, кажется, не требует дальнейших пояснений. . .

ЖИЗНЬ И ЛИЧНОСТЬ НЬЮТОНА

Sibi gratulentur mortales, tale tantumque
exitisse humani generis decus. (Из эпитафии
Ньютона в Вестминстерском аббатстве.)

В 1887 г. исполнилось 200 лет с тех пор, как одно из величайших творений человеческого ума, ньютоновы *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, было закончено и вышло в свет.

Немногие события в истории науки, в истории культуры вообще имели такое сильное и прочное влияние. Эпоха Ньютона есть начало новой истории человеческой мысли.

Желая отметить в общественном сознании двухвековой юбилей великой книги, два московские ученые общества — Императорское общество любителей естествознания, антропологии и этнографии совместно с Московским математическим обществом пришли к мысли устроить особое торжественное заседание для чествования Ньютона вообще и главного из его творений — в особенности. Точную дату для такого юбилея было бы трудно установить: известно лишь, что книга вышла *летом 1687 года*. По неудобству заседаний в летнее время торжество было перенесено к концу года и лишь пятью днями опередило 245-ю годовщину рождения гениального ученого.

Деятельность Ньютона поразительна — не по числу написанных им книг и статей, но по их громадному значению. Его главное творение принадлежит в равной мере механике, физике, астрономии и математике, но кроме *Principia* Ньютон имеет еще два права на бессмертие: он основатель ана-

* Речь, читанная в соединенном заседании Императорского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии и Московского математического общества, 20 декабря 1887 г.

лиза бесконечно малых в математике; он — автор важных открытий по физике в тесном смысле слова, из коих первое место принадлежит разложению белого луча света на цветные. Это — то открытие, которое за последнее 30-летие, благодаря недавно сошедшему в могилу Г. Р. Кирхгофу, дало начало целой новой науке, познакомило нас с новыми веществами на земле и с вещественным составом других миров вселенной. Достоинно замечания, что два капитальные отдела современной астрономии — небесная механика и астрофизика — ведут свое начало от Ньютона.

При такой обширности предмета, которому посвящены наши воспоминания, необходимо было разделить труд между несколькими специалистами, из которых каждый является референтом о Ньюtone в пределах своей ближайшей компетентности.

Но прежде чем зададимся изображением главных заслуг Ньютона по механике, астрономии, особенно физике и математике, полезно будет припомнить в кратком очерке главные факты его несложной внешней жизни, главные черты его облика. Это цель первого реферата*.

Исаак Ньютон — или, как называют его англичане, сэръ Айзэк Ньютон — родился 25 декабря 1642 г. (5 января 1643 г. по новому стилю**) в Вульсторпе (Woolsthorpe), деревне близ городка Грантам, в Линкольншире (восточная Англия), — почти год спустя после смерти Галилея, почти сто лет по смерти Коперника. Это было в последние годы Тридцатилетней войны — за несколько месяцев до восшествия пятилетнего Людовика XIV на французский престол, за 7 лет до казни Карла I в Англии. Чтоб охарактеризовать научный горизонт этой эпохи, скажем, что то был год знаменитого опыта Торричелли (изобретение барометра) — начало жарких споров о пустоте, еще раз подорвавших авторитет средневековой схоластики. Бекон умер 16 лет тому назад; Декарт (ум. 1650) приближался к апогею своей славы***, Локк был 10-летним мальчиком, а Лейбниц — впоследствии соперник

* Самую обстоятельную биографию Ньютона написал известный физик сэръ Дэвид Брюстер (Brewster, *Memoirs of the Life, Writings, and Discoveries of Sir Isaac Newton*, 2 vol., 1855).

** В то время англичане считали еще по старому стилю, и год начинался с 25 марта.

*** Его *Рассуждение о методе* (с добавкам диоптрики, метеоров и геометрии) вышло 1637 г., а *Начала философии* 1644 г.

Ньютона — родился тремя годами позже. Паскаль (19 лет), Бойль (15 лет), Гюйгенс (13 лет) переживали годы юности или отрочества.

Ньютон родился, несколько месяцев спустя по смерти отца (тоже Исаака), преждевременным, хилым ребенком. Родители были мелкие землевладельцы: Вульсторпское имение отца, да близлежащее поместье матери давали в сумме до 80 фунт. стерл. дохода. Через два года Анна Ньютон, урожденная Эскью (Ayscough), вышла замуж вторично, и маленький Исаак был поручен бабушке. После первоначального обучения в деревенских школах, он 12 лет был послан в городскую школу (в Грантаме). Мальчик был сперва ленив и в загоне; но вскоре задетое самолюбие (его поколотили) развил в нем и силу физическую, и силу интеллектуальную: он выдвинулся среди товарищей. С детства он имел склонность к механическим работам: устроил солнечные часы, мельницу, нечто вроде велосипеда и т. д. Любил рисовать и писал стихи. На 16 году мать, опять овдовевшая, взяла его к себе, для помощи по хозяйству, но это решительно не пошло, и согласились опять отпустить Исаака на учење. 18 лет он принят в Тринити-Колледж (Кембриджского университета) сперва как „subsizar“, потом как „sizar“*. Здесь он начал правильные занятия чтением Эвклида и Декарта; здесь потом получил степени В. А. (бакалавра) и М. А. (магистра), а в 1669 г. профессию (после Барро)**. В Кембридже сделал Ньютон свои великие открытия.

Эпоха детства и юности Ньютона замечательна в летописях науки. Это было мощное движение естествознания, впервые начинавшего сознавать свою силу и открыто порвавшего со схоластическими традициями, — прямое наследие эпохи Галилея. В Англии любовь к естествознанию, ставшему всеобщей модой, была в то время сильнее, чем где-либо***. С 1645 г., еще в смутную эпоху, собрался кружок („невиди-

* Так назывались две категории бедных студентов, обрекавшихся на различные мелкие услуги.

** Ньютон был вторым Люкасовским профессором (*Lucasian professor*): кафедра основана в 1663 г. на капитал, пожертвованный университету Генри Люкасом (*Lucas*). Ныне ее занимает (с 1849 г.) знаменитый физик Стокс. Большинство кафедр в английских университетах основаны на частные средства, в разные эпохи и на разных условиях.

*** Эта черта эпохи очень живо представлена у Маколея (История Англии, т. I, гл. III).

мая коллегия“), давший начало одной из важнейших академий Европы, сложившихся по образцу итальянской *Accademia del Cimento*: с реставрацией Стюартом он получил (1662 г.) официальное признание и имя „Королевского общества“ (*Royal Society*). Имена Бойля (Boyle), Гука (Hooke), Рена (Wren), а особенно молодого Ньютона (с 1672 г.) отмечают первые шаги учреждения, сохраняющего свой авторитет и поныне.

К первым же годам ученой деятельности Ньютона (еще до получения профессуры) относятся зачатки всех тех глубоких идей, разработка которых заняла значительную часть его жизни. В 1665—1666 гг. явились первые его записки (сохранившиеся в рукописи) о *способе флюксий* (дифференциальное исчисление). В то же время он приобретает стеклянную призму, с которой потом сделал свой знаменитый опыт, и занимается шлифовкой стекол и зеркал для телескопов. Наконец, сюда же относятся и первые мысли о тяготении.

В 1666 г. Кембриджский университет был закрыт по случаю чумы, и Ньютон вернулся в деревню. Здесь-то, говорит предание, упавшее яблоко возбудило в нем ряд соображений, закончившихся изданием *Principia*. Анекдот, что яблоко стало источником теории тяготения, — „равно как и всего вообще нашего познания“*, прибавляет один из рассказчиков, намекая на библейскую легенду, — анекдот этот нельзя считать достоверным: однако же, он дошел до нас двумя путями: через Вольтера, который слышал его от племянницы Ньютона, и через Грина — со слов президента Королевского общества. Дерево показывали до 1820 г., когда, за ветхостью, оно было срублено; остатки его сохранены. Первые соображения о действии земли на луну были однако же оставлены Ньютоном надолго: найдя, что земная тяжесть должна была бы уклонять луну с прямолинейного пути на 15½ фут. в минуту, между тем как действительное уклонение принималось в 13 фут., он не удовольствовался результатом. Несогласие происходило от ошибки в принятом диаметре земли, послужившем масштабом для вычисления размеров лунной орбиты.

В печати труды Ньютона вышли позже: по оптике — в записках (*Philosophical Transactions*) Королевского обще-

* „Quae sententia . . . originem ducit, ut omnis, ut fertur, cognitio no stra, a pomo“ (слова Грина).

ства с 1672 г. и полнее — в трактате *Optics* (1704 г.); по теории тяготения — в 1687 г. (*Principia*). Метод флюксий только сквозит в *Principia* (2-я лемма 2-й части содержит его основание), но опубликован впервые в виде письма Ньютона к Валлису, в сочинениях последнего (1693 г.), а потом — в приложении к 1-му изданию *Оптики* (*Tractatus de quadraturâ curvarum*) и полнее в 1711 г. При „Оптике“ же помещен другой замечательный математический трактат (*Enumeratio linearum tertii ordinis*). Наконец, *Arithmetica universalis* вышла к 1707 г. Остальное напечатано уже по смерти автора *.

То творение, юбилей которого мы празднуем по преимуществу, является плодом возврата к давней, оставленной мысли. Повидимому, этот возврат начинается не ранее 1679 г. Узнав о новом измерении градуса меридиана (Пикара), Ньютон переделал прежнее свое вычисление, кладя в основу более точные размеры земного шара. На этот раз согласие оказалось полным. Предание говорит, что когда вычисление стало подходить к концу, Ньютон, от волнения, не мог продолжать и обратился к помощи друга **.

В августе 1684 г. знаменитый астроном Галлей, и друг и поклонник Ньютона, узнает от последнего, что ему удалось доказать „законы небесных движений“; а в декабре рассказывает, что видел у Ньютона любопытный трактат *De motû* (о движении). Это был зародыш *Principia*. Книга созревает в течение 1685 и 1686 гг. 28 апреля 1686 г. первая часть *Начал* представлена Королевскому обществу; 6 апреля 1687 г. представлено окончание (3-я часть). Все сочинение вышло из печати в конце июня (about Midsummer, т. е. около Иванова дня) 1687 г. Оно напечатано на иждивение Галлея и посвящено *Illustrissimæ Societâti Regali*¹. В начале по старому обычаю в латинских гексаметрах Галлея восхваляется сочинение — *sæculi gentisque nostræ decus egregium*²: дань гению от восторженного друга-издателя.

Внешняя жизнь Ньютона в Кембридже, а потом в Лондоне и Кенсингтоне (ныне часть Лондона) течет однообразно,

* Полное собрание сочинений Ньютона, в 5 томах, издано Горслеем (1779—1785 гг.).

** Брюстер находит, что этот анекдот не согласуется с тем, что мы знаем о характере Ньютона.

¹ Знаменитому Королевскому обществу. (*Ред.*)

² Выдающееся украшение нашего века и нашего племени. (*Ред.*)

и о ней почти нечего сказать, хотя пережитая им эпоха, одна из важнейших в истории Англии, обнимает период двух революций и, начинаясь правлением Карла I, идет почти до конца царствования Георга I, причем сменяются Стюарты, Кромвель, реставрация, оранский и ганноверский дом.

В течение первых 27 лет своего профессорства Ньютон живет почти безвыездно в Кембридже, при самых скромных средствах, хотя к концу этого периода имя его приобретает уже громкую известность. С 1672 г. он член Королевского общества. Как раз в год издания *Principia* Ньютону, в числе нескольких товарищей, приходится успешно отстаивать права университета против произвольного нарушения их Иаковом II *. Вскоре после того он был избран одним из трех представителей Кембриджского университета в парламенте. Ньютон ни разу не говорил в парламенте, но письменно он и здесь содействовал упрочению прав своей корпорации. Впоследствии он участвовал еще в одной сессии.

В начале 90-х годов Ньютона, повидимому, посетила болезнь, которой некоторые биографы давали преувеличенное значение. После того титанического напряжения ума, какое потребовалось, чтобы построить механику вселенной, временный упадок сил телесных и душевных более чем понятен. Заметим, что во время наиболее сосредоточенных занятий Ньютон почти забывал о пище и подкреплял себя время от времени лишь малым количеством хлеба, вина и воды. Пожар, случившийся в его лаборатории, причем погибли ценные рукописи, повидимому, еще более его расстроил **. Пожар произошел, как рассказывают, вследствие того, что любимая собачка Ньютона, Даймонд, опрокинула свечу. „О Даймонд, ты не знаешь, каких бед ты наделал!“ — воскликнул Ньютон. Занося в свой дневник слухи о болезни Ньютона ***, Гюйгенс прибавляет, что он стал поправляться и начинает уже опять понимать свои *Principia*. В письмах Ньютона есть признания о расстройстве здоровья и угнетенном состоянии духа; но, во всяком случае, болезнь продолжалась недолго.

* Король (покровительствовавший католикам) требовал, чтобы университет дал ученую степень одному бенедиктинцу, не подвергая его установленной присяге.

** Другие относят пожар к более раннему времени.

*** *Newtonum in phrenesin incidisse*. В эпоху младенчества психиатрии, даже мягкие формы нервного расстройства обзывались страшным словом „сумасшествие“.

Материальное положение Ньютона поправляется с 1696 г., когда его друг Монтегю (впоследствии граф Галифакс), сделавшись канцлером казначейства, предложил ему место смотрителя (warden), а потом — директора (master) монетного двора. Эта последняя должность приносила до 1500 фунт. стерл. дохода и, при бережливости бессемейного Ньютона, составила ему порядочное состояние. В 1701 г. Ньютон оставил кафедру и жил то в Лондоне, то в Кенсингтоне.

Слава Ньютона распространялась по всей Европе, хотя правильное понимание и оценка его идей последовали не вдруг. В 1699 г. он принят в число восьми иностранных членов (associés) Парижской академии, вместе с Лейбницом, двумя Бернулли и Рёмером. С 1703 г. и до самой смерти он — президент Королевского общества. В 1705 г. королева Анна, посещая Кембридж, дает Ньютону рыцарское достоинство (knighthood). Он частый гость при дворе Георга I, и принцесса Уэльская Каролина (впоследствии королева, супруга Георга II) особенно любит его беседы.

К этим годам ньютоновой жизни, годам почета и обеспеченности относится полемическая буря, единственная по своему значению в летописях науки: мы говорим о споре между Ньютоном и Лейбницом.

Еще раньше, в более тесном кругу, приходилось Ньютону отстаивать первенство своих открытий: остроумный и завистливый Гук приписывал себе приоритет и в оптике, и в теории тяготения. Медлительный в издании своих сочинений, которые он долго вынашивал в уме, и в то же время не стеснявшийся сообщать свои мысли в частной переписке, Ньютон сам отчасти подготавливал опасность. Он неохотно пускался в эти споры; после полемики с Гуком он решил не издавать ничего более по оптике, пока жив соперник, и сдержал слово. Но раз втянутый в полемику, он твердо ведет дело до конца, с той непреклонностью ума и воли, которая характеризует его личность.

Но пререкания с Гуком, Линусом, Гюйгенсом по оптике были лишь прелюдией к знаменитой ученой тяжбе между Ньютоном и Лейбницом. Дело шло о первенстве в открытии анализа бесконечно малых. Спор начинается перепиской между Лейбницом и секретарем Королевского общества в 1674 г. (вскоре после поездки Лейбница в Лондон); но с особенной силой загорается в 1699 г. и тянется с большим ожесточением до смерти Лейбница (1716 г.). Многие

ученые ломают копья за ту или другую сторону. Особого рода следствие наряжается Королевским обществом, горячо стоящим за своего президента и за славу нации: результатом разбора переписки и разных документов является целая книга (*Commercium epistolicum de Analyysi promotâ*, 1713 г.). Потомство признало приоритет Ньютона, как доказанный бесспорно; хотя Лейбницу (который, повидимому, независимо пришел к тому же открытию и, во всяком случае, ранее публиковал о нем*) принадлежит развитие метода.

Последние годы жизни Ньютона были отягчены физическими страданиями. Он скончался на 85 году, 20 марта 1727 года, в Кенсингтоне. Через восемь дней тело торжественно похоронили в Вестминстерском аббатстве, пантеоне великих людей Англии. Лорд канцлер, два герцога и три графа — все члены Королевского общества — держали гробовой покров. Несколько лет спустя родные и наследники Ньютона воздвигли в Аббатстве великолепный памятник усопшему. Длинная латинская эпитафия на этом монументе закончена знаменитым изречением, которое да послужит девизом нашего юбилейного торжества:

Sibi gratulentur mortales, tale tantumque extitisse humani
generis decus!

(Да возрадуются смертные, что существовало такое украшение рода человеческого!)

Другой монумент поставлен позже на Тринити-Колледже (Кембридж). Это — статуя работы Рубильяка, изображающая Ньютона в раздумье, с призмой в руках; внизу стих из Лукреция:

Qui genus humanum ingenio superavit.
(Он превзошел умом людское племя.)

В 1798 г. возобновлен домик Ньютона в Вульсторпе. На мраморной доске, в комнате, где он родился, начертаны два стиха Попа:

Nature and Nature's laws lay hid in night,
God said: „Let Newton be!“ — and all was Light.

(Природа и ее законы были покрыты мраком; Бог рек: „да будет Ньютон“ — и бысть повсюду свет.)

* В 1684 г., то-есть за три года до издания *Principia*.

Ньютон не оставил потомства; он умер холостым*. Племянница его, миссис Катерина Бартон (по второму мужу миссис Кондьют), жила у него и вела хозяйство.

Ньютон был среднего роста, в старости довольно тучен, с живым и пронизательным взглядом, потускневшим в последние годы. До самой смерти он сохранил зубы и волосы (хотя рано поседел) и не нуждался в очках. Добрый, скромный и толерантный вообще, он делался раздражительным, лишь когда его раздражали. Он много помогал родным и чужим. В Лондоне, в достатке, Ньютон вел жизнь гостеприимную. Рассеянность — лучше сказать, сосредоточенность мысли — была свойственна ему в высшей степени; он часто забывал о пище и одежде, был неразговорчив в обществе. В молодости Ньютон занимался алхимией, и всю жизнь был ревностным теологом: по смерти изданы его толкования на пророка Даниила и на Апокалипсис. Не в перечне внешних фактов лежит интерес этой великой жизни. Жизнь Ньютона есть ряд его бессмертных идей и открытий, достигших кульминационного пункта в издании *Principia*.

Преобладающая черта его духовного облика — необычайная напряженность и упорство мысли, не останавливавшаяся ни перед какими трудностями предмета, вновь и вновь возвращавшейся к нему после первых неудач. На вопрос, каким путем он достиг своих великих открытий, Ньютон ответил этими классически простыми словами: „Я все думал об этом“. „Исследуемый предмет,— поясняет он,— я носил постоянно в уме, обращая его с различных сторон, пока не удавалось, наконец, найти ту нить, которая приводила меня к ясному представлению“. Другое знаменитое изречение Ньютона: „*hypotheses non fingo*“ (я не придумываю гипотез), подробнее развиваемое в его „философских правилах“ (*regulae philosophandi*), в 3-й книге *Principia*, характеризует логику его исследований**. С тех пор она стала

* В молодых годах, живя в Грантаме, он чувствовал привязанность к одной молодой девице, родственнице квартирного хозяина, мисс Стори. Повидимому, только недостаток средств помешал браку. Долго потом, в годы славы, Ньютон помнил эту подругу ранней юности (она была уже замужем), навещал ее каждый раз, как бывал на родине, и выручал из денежных затруднений. В преклонном возрасте, под 60 лет, он (по догадке Брюстера) думал жениться на одной вдове, леди Норрис; но и тут дело не состоялось.

** „Говоря свое „*hypotheses non fingo*“, Ньютон не думал сказать, что лишает себя удобств исследования, представляемых пред-

логикой точного естествознания: то, о чем лишь смутно мечтал и громогласно „трубил“ * Бекон, через Ньютона вошло в плоть и кровь науки.

Последние годы долгой жизни Ньютона мало прибавляют к его научной деятельности. Не будем удивляться и сетовать: уже в первой половине своего жизненного пути великий человек совершил такой беспримерный подвиг—он настолько опередил свой век, задав широкую программу для многих поколений,—что более не мог вместить один ум, и Галлей имел право сказать в конце своей похвальной оды:

Nec fas est propius mortali attingere Divos!
(Не может смертный ближе стать к богам!)

Не так думал о себе сам Ньютон. „Если я видел дальше других,— пишет он,— то потому, что стоял на плечах гигантов“. „Я не знаю, каким считает меня свет,— говорит он незадолго до смерти,— но самому себе я представляюсь как бы мальчиком, который играл на берегу моря, забавляясь, когда найдет гладкий камушек или красивую раковину, между тем как обширный океан истины лежал неизведанный предо мною“.

Потомство двух веков подтвердило приговор Галлея: оно признало Ньютона величайшим представителем точной мысли, какой жил среди человечества.

варительным предположением того, что он надеялся найти возможным доказать впоследствии. Без таких предположений наука не достигла бы своего нынешнего состояния; они—необходимые ступени при поисках за более достоверным, и почти все, что ныне — теория, было некогда гипотезой“. „Но в изречении Ньютона лежит та истина, что причина явлений, хотя бы она предварительно и не была известна, должна быть способна сделаться известной впоследствии, что ее существование должно быть доступно обнаружению и что связь ее с приписанным ей действием должна допускать возможность независимого доказательства. Возбуждая наблюдения и опыты, гипотеза и наводит нас на путь к такому независимому доказательству, если только оно действительно достижимо; а пока оно не достигнуто, гипотезу следует считать не более, как догадкой“. (Милль, *Система логики*, т. II.)

* Собственное выражение Бекона.

НЬЮТОН КАК ФИЗИК *

Переходя к изображению Ньютона как физика, следует оговориться относительно этого заглавия.

То, что очерчено предыдущими референтами, принадлежит также физике, в обширном смысле этого слова. Наука о природе все больше и больше сознает свою задачу, как изучение *механизма* вселенной. Разнообразные явления, когда-то казавшиеся не имеющими ничего общего с механикой (явления тепла, света, электричества), постепенно сводятся, а частью уже сведены на механическую почву¹, приписываются незаметным *движениям* вещества. Дать им объективное истолкование — значит указать, *что* и *как* здесь движется. Основы механики, в окончательной форме положенные Ньютоном, становятся поэтому основами всей рациональной физики („натуральной философии“, как называл ее Ньютон), которая зиждется на них и прилагает их к новому и новому содержанию. Следуя этому пути, физика выполняет завет Ньютона, который 200 лет назад сказал в предисловии к *Principia* эти глубокие слова: „Вся трудность натуральной философии состоит, повидимому, в том, чтоб из явлений движения исследовать силы природы, а потом из этих сил объяснить прочие явления“ **.

* Речь, читанная в соединенном заседании Императорского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии и Московского математического общества 20 декабря 1887 г.

¹ Необходимо напомнить, что Столетов под „сведением“ не имел в виду отождествления. Процесс проникновения механики в области, где она еще не применялась, у Столетова связывался с расширением — эволюцией самой механики. См. речь: „Гельмгольц и современная физика“. (Прим. ред.)

** Omnis enim philosophiae difficultas in eo versari videtur, ut a phaenomenis motuum investigemus vires naturae, deinde ab his viribus demonstremus phaenomena reliqua.

С другой стороны, тот грандиозный круг явлений, который объясняется теорией тяготения, есть до сих пор самая прочная и широкая глава в науке о природе. В своем трактате Ньютон не только дал общую пропедевтику и методологию физики, но и блистательно приложил ее к колоссальной задаче, обнимающей небо и землю. В теории тяготения мы имеем не только все или почти все, что знаем о механике небес, но и первую, важную главу механики родной нам планеты.

Всякие две частицы вещества притягиваются между собой с силой, пропорциональной их массам и обратно пропорциональной квадрату их расстояния: таков факт, доказанный Ньютоном. Если требовалось более непосредственное, более наглядное подтверждение его из опытов над двумя земными предметами, это сделано, с небольшим сотню лет спустя (1798), Кавендишом, который обнаружил тяготение между двумя свинцовыми шарами.

Есть ли это „ньютонианское тяготение“ факт *первоначальный*, которому нечего искать и нельзя найти *причину*, или он подлжет в свою очередь дальнейшему физическому объяснению?

Древние, а незадолго до Ньютона — Декарт и его школа, успокаивались при объяснении механических процессов лишь тогда, когда сводили их на непосредственное соприкосновение тел, на *толчок*. Ньютонова физика выводит на сцену новое представление — *действие на расстоянии* (*actio in distans*). Она не говорит о том, откуда берется это свойство двух тел притягивать друг друга, и как бы внушает, что об этом бесполезно (или рано) спрашивать. Приверженцам прежних взглядов такое свойство казалось, однако, мистическим, *потайным* (*qualitas occulta*); они не могли признать его *первоначальной* причиной явлений. Тело не может действовать там, где его нет, — говорили они, — разумея, что это действие может передаваться от тела к телу не иначе, как рядом соприкосновений, через *промежуточную среду*. Другие — последователи Ньютона — готовы были принять, что дальше некуда идти в поисках за причинами. Самая форма ньютонова закона — форма простая и как бы геометрически естественная — как будто наводила на эту мысль. Второй издатель *Principia* (еще при жизни Ньютона), математик Котс, в своем длинном предисловии уже прямо смотрит на тяготение как на свойство первичное, не подлежащее дальнейшему объяснению. И вот учение о действии на расстоянии мало-помалу вытесняет прежние взгляды, самый

толчок рассматривается как следствие сил, действующих на расстоянии, самое прикосновение двух тел отрицается как иллюзия. Эта школа находит самое полное и парадоксальное выражение в теории славянина Босковича (ум. 1787 г.): для него материя есть не что иное, как собрание „центров сил“ — собрание геометрических точек, к которым направлены силы притягательные или отталкивательные.

Так ли думал сам Ньютон? С его обычной воздержностью от лишних гипотез, он, повидимому, не шел так далеко. В своих знаменитых письмах к Бентлею он замечает: „Вы иногда говорите о тяжести, как о существенном и прирожденном свойстве вещества. Прошу вас, не приписывайте мне этого мнения, ибо я не имею притязания знать причину тяжести. . . Тяжесть должна причиняться некоторым деятелем (agent), действующим постоянно по известным законам; но каков этот деятель, вещественный он или невещественный, об этом я предоставил судить моим читателям“¹.

Так, с своей всегдашней мудростью, Ньютон не предпринимает вопроса, который и ныне разделяет физиков. Ньютон смотрит на тяготение, как на доказанный *факт*, можно ли, должно ли стараться свести его на какие-либо дальнейшие причины, об этом он не высказывается определительно.

Если можно найти причину тяготения, люди со временем найдут ее. Заметим, что до сих пор такие попытки не были удачны. Но в иных областях науки (в учении о силах электрических и магнитных) подобные стремления — по почину другого гениального англичанина, Фарадея, — развиваются с надеждой на успех. Здесь подробное изучение „взаимодействий на расстоянии“ уже ближе указало на ту роль, какую играет промежуточная среда (эфир), и силы, имеющие формальное сходство с ньютоновским тяготением, удалось представить как *следствия* некоторого сложного механизма, передающего действие от слоя к смежному слою среды. Такие попытки не противоречат духу ньютоновых исследований: надо только старательно различать *доказанное* от *гипотетического*.

Я удалился бы от моей темы, если бы стал рассказывать, как по мощному почину Ньютона возникли другие части теоретической физики — как возникли учение о частичных

¹ Необходимо иметь в виду, что термин „невещественный“ во времена Ньютона означал — непохожий на обычные весомые тела. Этот термин очень часто прилагался в качестве характеристики межзвездной среды — „эфира“. (Ред.)

силах и механические теории тепла, света, электричества, — как те же точки зрения, те же приемы мысли оказались плодотворными на всем дальнейшем пути науки. Титул чествуемой нами книги выбран не даром: она действительно стала краеугольным камнем и образцом для всего естествоведения.

Но и в собственно так называемой физике есть у Ньютона столь важные работы, что хотя они стоят на втором плане среди *его* деяний, но составили бы сами по себе право на бессмертие. Я разумею преимущественно его труды по оптике, и среди них как самый блестящий и важный — анализ светового луча, открытие *спектра*. Я уже напомнил ранее, что это открытие стало источником современной астрофизики, а потому говорить о нем здесь, вслед за небесной механикой Ньютона, логически уместно.

В 1666 г. Ньютон покупает призму, чтоб „попытать явление цветов“. Эта игрушка, на долю которой выпала такая важная роль в науке, стала известна с начала XVII века, но до Ньютона ничего ясного не сказала человечеству. Опыты Ньютона начались, повидимому, позже, ибо три года спустя предшественник его по кафедре (Барро) издает, при содействии Ньютона, свои лекции об оптике, которые могут служить образцом странных воззрений на этот предмет. По Барро, *красный* цвет соответствует свету сгущенному, с темными перерывами, *голубой* — разрежению света, *желтый* есть смесь белого с красным и т. п. Нечто, подобное этой путанице, пытался, как увидим, воскресить в науке Гёте.

Поводом к опытам с призмой послужили Ньютону работы по приготовлению телескопов, для которых он сам шлифовал стекла. Стекла со *сферическими* поверхностями не дают вполне ясных изображений предметов. Прежде думали, что это зависит исключительно от *формы* их, благодаря которой лучи, проходящие у краев стекла, сходятся несколько ближе к стеклу, чем лучи центральные. Декарт доказывал вычислением, что, давая стеклу другие формы, можно свести все лучи, из одной точки вышедшие, в одну же точку. Ньютон попытался осуществить такое стекло, но, находя в нем мало преимуществ перед сферическим, заподозрил, что есть другой источник неясности изображения. Опыт с призмой подтвердил эту счастливую догадку.

Сущность опыта весьма известна. Сделав круглое отверстие в оконном ставне и затемнив комнату, Ньютон пропустил на призму луч солнца и получил на противоположной стене

изображение, которое назвал солнечным *спектром* — изображение солнца, удлинненное в поперечном (относительно призмы) направлении и состоящее из продольных полос, непрерывно переходящих одна в другую. Дело не в том, что опыт был нов: раз существовала призма, ее цветные коймы, хотя в менее чистом виде, видал, конечно, всякий, кто вертел ее в руках. Дело в той глубине анализирующей мысли, какая была приложена к выяснению опыта.

Чрезвычайная несоразмерность между длиной спектрального изображения и шириной поразила Ньютона. Отчего оно так вытянуто в одном направлении? Не оттого ли, что в этом именно направлении меняется толщина стеклянного слоя, проходимого лучами? Опыт ответил: нет. Не от случайной ли неправильности в веществе или форме призмы? Нет, другая призма, в обратном виде помещенная за первой, восстановила *правильное* круглое изображение. Не оттого ли, что солнце не есть светлая точка (как звезда), а имеет заметную видимую величину, около $1/2$ градуса? Нет, от этого изображение могло расширяться лишь одинаково во все стороны, и по расчету оказалось, что продольное расширение как раз соответствовало этой причине, но поперечное, слишком *впятеро* большее, ею не объяснялось.

Отвергнув эти различные догадки, Ньютон сделал свой *experimentum crucis**. Из спектрального пучка лучей он выделил одну часть, например, красную, задержав остальное экранами, и пустил ее на *другую* призму, чтобы посмотреть, как этот *одноцветный* луч преломится вторично. Делая это порознь с лучом красным, желтым и пр., Ньютон убедился, что они *преломились неодинаково*: красный уклонился наименее, желтый больше и т. д., всего сильнее преломился фиолетовый. Вторичного дробления *таких* лучей не произошло: красный остался красным, синий — синим. Те же заключения Ньютон оправдал еще другим опытом (опыт с перекрестными призмами).

Этими простыми опытами был пролит свет на явление. *Вот* причина, почему первая призма разбросала белые лучи в виде цветного веера. Эти красные, желтые и другие лучи были в составе белого пучка смесь их и составляла то, что мы зовем белым цветом; но встретив призму, которая неравно

* Термин Бекона, заимствованный от крестов, которые ставились на перекрестках для указания пути.

отклонила их от прежнего пути, они разошлись и дали на экране ряд отдельных цветных изображений солнца. Собирая эти цветные лучи опять вместе, мы опять получим белый свет. Соединяя не все лучи, получим вообще луч цветной. Учение о смещении двух или более цветов также разработано Ньютоном.

Таким образом было доказано, что *солнечный луч есть неоднородная смесь лучей различной преломляемости* (heterogeneous mixture of differently refrangible rays), причем степень преломляемости характеризуется *цвет* отдельного луча.

Эта истина так проста, как всем знакома в наше время, что требуется усилие ума, чтобы понять, отчего она так долго встречала отпор и чуть не до наших дней служила еще темой для недоразумений. Но прежде скажем о дальнейших работах Ньютона

Установив сложность белого луча, он понял, что в нейто и лежит главная причина неотчетливости изображений, даваемых оптическими стеклами. Считая этот недостаток неустранимым (впоследствии найдено, что ослаблять его мы можем), Ньютон отказался от телескопов со стеклами и обратился к употреблению зеркал. Так возник собственноручно сделанный им (1671 г) первый рефлектор (отражательный телескоп), который хранится в библиотеке Королевского общества. Идея снаряда, в несколько иной форме, была раньше высказана у Грегори; но тот ее не осуществил, да и самая мысль получила особую важность лишь с тех пор, как была открыта разнородность лучей света.

Ньютон понял, что его открытием объясняются *цвета* (окраски) тел не светящихся. Красное стекло пропускает из белого луча лишь красную долю и потому на свет кажется красным; смотря сквозь него, в *синих* лучах спектра мы получим темноту. Красное сукно кажется красным потому, что отражает красных лучей больше, чем остальных, помещенное в синей полосе спектра, оно представляется черным, так как не отражает синих лучей. Так, путем пропускания и отражения, получается различное окрашивание освещенных (не самосветящихся) предметов.

Но Ньютоном исследован и еще иной способ происхождения цветности, отличный от двух указанных. Вспомним о мыльном пузыре, о тонком слое скипидара, налитом на поверхность воды откуда здесь эта иризация, эти радужные переливы? Жидкое вещество этих предметов — бесцветно и прозрачно, когда оно не в виде тонкого слоя. Условия отражения

и пропускания света, повидимому, должны бы быть одни и те же, имеем ли толстый или тонкий слой. В чем же дело?

Тонкая пластинка бесцветного прозрачного вещества дает известный цвет пропущенному через нее белому лучу, известный другой цвет — лучу огражденному. Цвета эти различны, смотря по *толщине* пластинки: оба цвета, вместе сложенные, составят белый (цвета взаимно *дополнительные*). Вот другое открытие Ньютона в оптике, стоящее в тесной связи с первым и дополняющее его теорию происхождения цветов. Понятно, что тонкий поверхностный слой непрозрачного тела может быть достаточно прозрачен и будет действовать как тонкая пластинка.

И здесь некоторые факты были знакомы ранее кому неизвестны мыльные пузыри? Гук верно назвал явление *цветами тонких тел*, указав этим на ближайшую причину. Но опыт, где роль толщины слоя видна с особой ясностью и где значение ее можно в точности проследить, принадлежит Ньютону (1675 г.). Это — опыт *ньютонových колец*.

Он взял два телескопных объектива, один — выпуклый с одной стороны, а с другой стороны плоский, и другой объектив — выпуклый с обеих сторон. Положив первый плоской стороной на выпуклость другого, Ньютон увидел, через отражение, ряд круглых колец радужных цветов. Воздушный слой между стеклами играет роль тонкой пластинки, расширяющейся в толщину от центра к краям, и каждая часть этого слоя имеет цвет, свойственный ей по ее толщине. Смотри *сквозь* такую систему стекол, увидим тоже кольца, но других (дополнительных) цветов.

Особенность этой формы опыта — в том, что толщину пластинки во всяком месте можно *вычислить*, зная, какова кривизна стекол. Можно, стало быть, проследить, как толщина влияет на оптические свойства слоя.

Если пустить на стекла не белый луч, а одноцветный, например, красный, то кольца будут попеременно красные и черные: в синем цвете будут синие и черные кольца. При этом красные кольца будут реже размещены, чем синие. Этот опыт поясняет, как происходят радужные кольца в случае белого света, состоящего из всех цветных лучей: здесь *светлое* кольцо одного цвета может лечь на *темное* кольцо другого, в каждом данном месте одни цвета присутствуют, другие нет, и таким образом получается через смешение та или другая окраска.

Как же распределяются кольца в зависимости от толщины воздушного слоя? Оказалось, что переход от светлого кольца к ближайшему темному или обратно (мы опять говорим об однородных лучах) везде соответствует *одинаковому приращению в толщине*; этот приращение тем меньше, чем преломляемость луча больше (т. е. всего меньше для фиолетового). Этот закон весьма важен для *теории явления*.

Ньютон пытался дать такую теорию, но на этом пути был менее счастлив. Известно, что та теория света (теория *истечения*), которой он держался, которую развивал и защищал с характеризующим его упорством мысли, не выдержала дальнейшей критики и теперь оставлена¹. Явление света объясняют не полетом мелких частичек, отрывающихся от светящего тела, а дрожанием частиц, которое сопровождается распространением волн в эфире — вроде того, как звучащее тело вызывает волны в воздухе (теория *волнений*)². Много можно сказать в оправдание этой неудачи Ньютона. Заметим, что он и сам считал свою теорию лишь попыткой, далекой от непогрешимости, хотя не хотел бросить ее без решительных доводов, какие явились только впоследствии. В сочинениях его видны даже колебания в пользу гипотезы эфирной среды, и один из основателей новой теории, Юнг, находит, что „собственное мнение Ньютона разнится от нее меньше, чем обыкновенно думают“. В обструкционизме против новой теории виноват не Ньютон, а его менее гениальные последователи. Наконец, прибавим, что именно главнейшее оптическое открытие Ньютона — явление спектра — могло мешать ему перейти на верный путь. Оно и теперь еще не вполне объяснено даже теорией волнений.

Из сказанного уже видно, что хотя главная заслуга Ньютона — в его математическом мышлении, он был в то же время образцовый экспериментатор; эти два свойства редко соединяются в высокой степени в одном лице. Оптические работы Ньютона (телескопы, спектральные и другие исследования) дают обильные тому доказательства. И по другим частям физики есть у него важные экспериментальные работы, но о них не говорим за нехваткой места таковы опыты над качаниями маятника (для доказательства про-

¹ В настоящее время эта теория появилась вновь под видом теории фотонов (*Ред*)

² В настоящее время в теории света рассматриваются и волны и частицы — фотоны. (*Ред*.)

порциональности между массой и весом), опыты над сопротивлением воздуха и воды, термометрические работы и несколько опытов по электричеству и магнетизму.

Но возвратимся к главной работе — к открытию спектра. Я уже заметил, что оно долго встречало отпор и недоверие. Любопытно, что не далее как в 30-х годах текущего столетия биограф-панегирист Ньютона, знаменитый специалист по оптике сэр Д. Брюстер, усомнился в ньютоновом анализе светового луча. Он проводил мысль, что в каждом месте спектра совмещены три луча (красный, желтый и синий), имеющие одинаковую преломляемость. Блестящее опровержение этому дал, в одной из своих первых работ, ныне столь знаменитый Гельмгольц.

Но есть другой знаменитый случай, имеющий более широкое значение, чем спор двух специалистов по данному специальному вопросу. Я говорю о *Farbenlehre* великого Гёте.

Известно, что Гете был не только первоклассный поэт, но и выдающийся естествоиспытатель. Его труды в области биологических наук освещают капитальные вопросы светом 101, в ту пору новой, идеи об *эволюции*, которая так блистательно развилась на наших глазах. Не странно ли, что в своем покушении на физику, в своем позднем и бессильном отпоре ньютоновой теории спектра и цветов, этот зоркий ум стоит ниже всякой критики.

Эта печальная полемика имеет, однако, свой высокий интерес, как показал Гельмгольц в своей речи о Гёте как естествоиспытателе*. Не простую случайность следует видеть здесь, а принципиальный разлад между художником и точным мыслителем, борьбу двух различных способов воззрения на природу. Остановимся несколько подробнее на этом эпизоде, пользуясь указанным источником.

Гете сам рассказывает, как начались его занятия цветами. Желая выяснить себе основы колорита в живописи, он хочет припомнить слушанное им когда-то в университете учение о спектре. Он берет у григеля призму и, смотря сквозь нее на белую стену, с удивлением находит, что никаких цветов не видно. Цвета возникают только, если смотреть на границу белого с черным. Ньютон обстоятельно разъясняет, почему это так, и всякому знакомому с физикой во времена Гете дело было совершенно ясно. Но Гете решает, что Нью-

* v Helmholtz, „Ueber Goethe's naturwissenschaftliche Arbeiten“ (Vorträge und Reden)

тон неправ, и затем никакое чтение, никакие разъяснения знатоков не могут свернуть его с этой точки зрения, которой он держится до конца жизни. Он продолжает твердить, что мысль о сложности белого цвета нелепа, что цвета происходят от смеси света с темной и т. п.; делает новые „опыты“, как дилетант, и толкует их, как предубежденный.

Гёте, — рассуждает Гельмгольц, — был по натуре, прежде всего, поэт. „Сущность поэтической, как и вообще художественной, деятельности состоит в том, чтобы сделать материал искусства непосредственным выражением идеи. Не как результат логического развития, но как дело непосредственного духовного созерцания, как продукт возбужденного чувства, едва сознательно для самого поэта, должна содержаться и господствовать идея в совершенном произведении искусства“. Тот же особенный способ духовной деятельности поэт переносит и в другие области. „Природу он не старается разложить на отвлеченные понятия: он стоит перед ней, как перед замкнутым в себе художественным произведением, которое должно само собой открыть чуткому созерцателю свое духовное содержание“. В этом поэт Гёте сходится с натурфилософией Шеллинга и Гегеля. Сложные опыты, подробный и упорный анализ явлений — все это претит целостному воззрению художника, идет в разрез с его обычным духовным приемом. Гёте смеется над узкими отверстиями и стеклами ньютоновой оптики, опыты в сиянии солнца, под открытым небом, кажутся ему не только проще, но и убедительнее. „Как истинно художественное творение не терпит чуждых посягательств, — они вредят ему, — так и природа не выносит вмешательства экспериментатора: нарушенная в своей гармонии, замученная, спутанная, она обманет нарушителя искаженным фантомом“:

Geheimnisvoll am lichten Tag,
Lässt sich Natur des Schleiers nicht berauben,
Und was sie deinem Geist nicht offenbaren mag,
Das zwingst du ihr nicht ab mit Hebeln und mit
Schrauben*.

* Тайнственна в сиянии дневном,
Природа свой покров сорвать не позволяет,
Не вынудишь у ней винтом иль рычагом,
Что духу твоему она не открывает

(Монолог Фауста)

Такова философия художника. Там, где широкий взгляд, скользящий мимо подробностей, где непосредственное чутье к неясной закономерности явлений может сослужить службу науке, еще не возвысившейся до точного метода, — там Гёте, как естествоиспытатель, достоин своего имени. „Но тот шаг в царство *понятий*, который необходимо сделать, если хотим подняться до причин явлений природы, — этот шаг устрашает поэта“... „Физик хочет ввести его в мир невидимых атомов, движений, притягательных и отталкивательных сил, представляющих хотя закономерное, но крайне сложное сплетение. Для физика чувственное впечатление не есть опровержимый авторитет: он исследует его права, спрашивает, действительно ли сходно то, что чувства выдают за сходное, действительно ли различно то, что кажется различным, и часто приходит к ответу отрицательному... Оценка чувственного, к какой привела наука, вполне противоположна той, какую носит в себе поэт, и именно ньютоново утверждение, что белый луч слагается из всех цветов спектра, было первым зародышем этого, впоследствии развившегося взгляда... Поэт как бы почуял, что следствиями этого положения подрывается весь его принцип, и потому-то оно кажется ему столь немыслимым, столь абсурдным. В его *Учении о цветах* следует видеть попытку отстоять непосредственную правдивость чувственного впечатления против посягательств науки“. Но в этой попытке остановить победоносный ход точного знания поэт бессилён и жалок.

Сетовать ли вместе с поэтом? Жалеть ли, что наука, с ее кропотливой возней в мелочах, с ее осторожным, строгим анализом явлений, с ее скептицизмом и неохотой к преждевременному обобщению — что наука отвращает нас от той цельности воззрений, от того широкого синтеза, какими задается искусство?

Нет! „Мы не победим механизма материи простым отрицанием, мы можем победить его, лишь подчиняя этот механизм целям нашего духовного существа. Мы *должны* узнать его рычаги и веревки, хотя бы этим нарушалось наше поэтическое созерцание природы, — узнать затем, чтобы управлять ими по нашей воле. В этом — полноправность физического исследования и его значение для культуры человеческого рода“.

Но мало того. В своем медленном ходе наука не теряет из вида обобщения и синтеза. Другим путем и в ином смысле

она ищет той же цельности воззрения. Камень за камнем слагается ее здание — и желанный синтез постепенно зреет если не в душе отдельного лица, то в ряду веков и поколений. Не Ньютон ли дал нам лучший образец такого синтеза? Картина бесчисленных миров, управляемых взаимным тяготением, не внушает ли нам благоговейного восторга — не только своею колоссальностью, но и своею простотой? Призма Ньютона разбивает „единство вечного света“, — жаловался Гете. Но не она ли, на нашей памяти указала нам — еще прямее, чем говорит о том всеобщность тяготения — на вещественное единство видимой нами вселенной.

Напоминать ли подробнее, как скромный опыт Ньютона разросся в целую науку о спектре; как виденное им радужное изображение, в 1 фут с небольшим длиной, фотографируется ныне полосой в десяток саженей длины, с десятками тысяч линий и подробностей, — составляет целый атлас, который так же относится к своему прототипу, как звездные карты наших дней к небу Гиппарха и Птолемея? Напоминать ли, как изучение спектра солнца и других светил уже посвятило нас во многие секреты небесной химии, и однакож, по словам авторитетного астрофизика Жансена, есть лишь начало труда, обещающего бесконечные горизонты в будущем? Следя за этими успехами науки о спектре, мы видим, как малый ручей становится мощной рекой, река — морским течением, и оно несет нас по тому океану неизведанного, о котором мечтал умирающий мыслитель. А у истоков ручья навеки записано все то же незабвенное имя — имя Исаака Ньютона.

ЭФИР И ЭЛЕКТРИЧЕСТВО *

If there be an aether, it should have other uses than simply the conveyance of radiation.

Faraday.

Мм Гг.

Получив лестный призыв Распорядительного комитета произнести речь в одном из общих собраний Съезда, я не мог колебаться в выборе темы. В настоящий момент у физиков *одна* тема господствует над прочими, одна у всех на языке. Перед нами зреет один из самых величавых синтезов нового времени

„Скажите мне, что такое электричество, — говаривал лет сорок тому назад знаменитый сэр В. Томсон, по свидетельству его учеников, — и я вам объясню все остальное“. Эта роковая загадка упорно преследовалась в течение всего XIX века. Электрические явления хорошо изучены, это изучение давно уже стало приносить обильные практические плоды, позволяя нам удовлетворять самым разнообразным потребностям, осуществлять самые фантастические затеи, а внутренний механизм электрических процессов все оставался глубокой тайной.

Не скажу, что теперь эта тайна *вполне* разгадана. Но почин сделан еще 25 лет назад, а замечательные работы двух последних лет наглядно показали, что мы на правильном пути, что эскиз теории намечен верно.

Этот почин принадлежит гениальному Джемсу Кларк-Максвеллу, скончавшемуся с небольшим десять лет тому назад (2 ноября н. ст. 1879 г.). Еще Фарадей, с его беспримерным

* Речь, произнесенная на общем собрании VIII съезда естествоиспытателей и врачей в Пестербурге 3 января 1890 г.

чуьем, нащупывал верный путь, но требовался Максвелл, чтобы развить и оформить его догадки.

В 1865 г. явился мемуар Максвелла „Динамическая теория электромагнитного поля“; вскоре потом он развил свои идеи в знаменитом „Трактате об электричестве и магнетизме“ (1873 г.). Многое уже в те годы давало опору для максвелловой теории, но особенным триумфом для нее являются новейшие исследования.

„Нельзя изучать эту удивительную теорию, — говорит Герц, — не испытывая по временам такого чувства, как будто в математических формулах есть самостоятельная жизнь, собственный разум — как будто они умнее нас, умнее даже своего автора, как будто они дают нам больше, чем в свое время было в них вложено“ *.

Идеи Максвелла ставят на первый план участие *эфира* — той самой среды, которая распространяет лучи света и тепла. Естественно поэтому ожидать, что новая теория электричества соприкасается со старой „теорией света“ Но это — не просто *соприкосновение*, это — *поглощение* одной теории другой: волнообразное явление, именуемое светом, становится, как частный случай, в ряд тех механических процессов эфира, когорые — поскольку мы можем обнять их в настоящую минуту — исчерпываются условным термином *электромагнетизм*.

Столь широкое обобщение должно интересовать не одних специалистов физики. Мне казалось поэтому уместным познакомить присутствующих в немногих словах с сущностью вопроса. Не могу и не буду вдаваться ни в подробности фактические, ни в точную аргументацию; постараюсь набросать лишь главные штрихи, помочь непривычному уму схватить основные представления, имея в виду по преимуществу не физиков (им речь моя даст мало нового), а представителей других отраслей естествознания.

Физика учиг о различных формах энергии, о их взаимных отношениях. Обыкновенная („весомая“) материя бывает носителем энергии кинетической и потенциальной, молярной и молекулярной. Различные формы этой энергии, с их эквивалентными превращениями одной в другую, представляются нам в явлениях тяготения и частичных сил (сюда включаем и явления звука), а также в явлениях теплоты, поскольку

* Hertz, *Ueber die Beziehungen zwischen Licht und Elektrizität*, Vortrag, 1889.

речь идет о теплоте в (весомых) *телах*, рассматриваемой как энергия частичных колебаний.

В случаях, наиболее доступных изучению, мы находим, что энергия передается между двумя частями вещества *постепенно и последовательно*, т. е. через посредство промежуточных частей и с течением времени. Но иногда мы затрудняемся проследить такую передачу: затрудняемся либо уловить время, на нее потраченное, либо указать то вещество, ту среду, которая служила посредником.

Мы не можем а priori отвергать возможности *непосредственного* сообщения энергии через пространство, без участия промежуточного вещества; но мы в праве утверждать, что такое непосредственное действие (*actio in distans*), если оно существует, должно быть *мгновенным*. Быть может, таково тяготение. Но как скоро мы находим, что передача энергии потребовала времени, хотя бы малого, мы должны заключить, что она происходила при участии промежуточного вещества. Если не замечаем обыкновенного вещества, мы должны постулировать новое, незаметное.

Впервые пришлось необходимо допустить такое особое вещество, когда занялись вопросом о передаче света и тепла от солнца и других небесных тел через пространство, где, по видимому, не может быть иной материи, кроме разве следов крайне разреженных газов. Весьма значительная быстрота (но не мгновенность) передачи (300 000 000 метров в секунду), а также и самый характер процесса исключали возможность объяснить его присутствием газов. Все обличает, что процесс передачи света до некоторой степени аналогичен распространению звука; но звук в воздухе (все одно, в густом или редком) идет лишь 300 метров в секунду, а к передаче, в миллион раз более быстрой, никакой газ, никакое „обыкновенное“ вещество не способно. Далее, явления *поляризации* световых волн, не имеющие аналогии в волнах воздушных, указывают на некоторое различие в форме процессов: световые волны — необходимо *поперечные*, а не продольные.

Но поперечных волн наши газы и жидкости совсем не допускают: в них возможны только волны продольного типа, при которых колебания частиц совершаются вдоль линий распространения волны.

Итак, межзвездное пространство должно быть наполнено особой средой, распространяющей поперечные волны.

Этой среде присвоили старое название *эфир* *. Посмотрим, что можно узнать об эфире, изучая его волны.

Как ни мала должна быть плотность эфира, она громадно превосходит ту, какую можно приписать далеким следам планетных атмосфер **

Эфир своим волнением напоминает нам не жидкость упругую или капельную, а скорее упруго-твердые тела в них одних мы находим способность к поперечным волнам. Такая твердость (ригидность), т. е. способность сопротивляться изменению формы, могла бы, однако, проявляться и в жидком веществе, если бы в нем были возбуждены вихревые движения.

Этой quasi-твердости эфира не противоречат свободные движения небесных тел, причем эфир должен частью расступаться и вновь затягиваться, пропуская тела или их частицы, как вода пропускает невод, частью — увлекаться телом, как вода греческой губкой. Дело в том, что это — движения крайне медленные сравнительно с тем, что происходит в световой волне. Одно и то же вещество может относиться как твердое к быстрому колебанию, как жидкость — к медленному напору. Из бургундской смолы можно сделать камертон, он будет звучать, как сталь, а между тем слой такой смолы в сосуде с водой позволит пробке исподволь (в течение месяцев) пробраться со дна наверх, а свинцовой пуле провалиться с поверхности воды на дно ***.

Эфир — носитель той волнообразно переливающейся энергии, — в каждом месте поочередно то кинематической, то потенциальной, — которую мы называем лучами света и тепла. Для этой *лучистой энергии* слово *свет* слишком узко, ибо не все лучи ощущаются нашим глазом. Называть же ее „лучистой *теплотой*“, как часто делают, не совсем свойственно: теплотой зовется другая форма энергии (чисто

* „αἰθήρ, вероятно, от αἶψα, горю, хотя Платон, в своем „Кратиле“, производит имя эфира от его вечного движения ὅτι θεῖ τὸν ἄερα ῥεων αἰθερ διαίως ἂν γαλοῖτο — Maxwell, *Enc Brit.* 9 ed, vol VIII.

** По В. Томсону плотность эфира в солнечной системе должна быть не менее триллионной доли (10^{-11}) плотности воды. (Триллионом называю миллион миллиардов, миллиардом — миллион миллионов)

*** Sir W. Thomson, *Baltimore Lectures on Molecular Dynamics*, 1881

кинетической) — та, которая породила такой луч, или та, которую он породит, когда поглотится каким-нибудь телом и *нагреет* его. Луч есть переходный вид энергии: она *была* теплотой в источнике, может *сделаться* теплотой опять; но может также обратиться в механическую работу („скрытая“ теплота) или в работу химического процесса.

Прежде делили лучи на тепловые, световые и химические*. Теперь дознано, что тепловое и химическое действие свойственны *всякому* лучу. Только действие на глаз остается исключительной принадлежностью эфирных волн среднего регистра, тех, которые несут от 400 до 800 миллиардов** колебаний в секунду. Остальные волны могут действовать на глаз лишь посредственно, после того как превращены в волны указанного типа.

Собственно *свет* есть лишь малая доля того комплекса эфирных волн, который доносится к нам от солнца: приблизительно одна из шести октав солнечного спектра, если выражаться языком акустики. В темном *инфракрасном* спектре светил и земных тел Ланглей уследил сравнительно низкие „ноты“ с 15 миллиардами колебаний в секунду (длина волны равна $\frac{1}{50}$ мм.), тогда как верхнему концу *ультрафиолетового* спектра солнца и звезд соответствуют слишком 1000 миллиардов колебаний (длина волны равна 0,000290 мм.). Еще более мелкие (или более „высокие“) волны от светил не пропускаются нашей атмосферой, но в спектре вольтовой дуги с металлами верхний предел отодвигается еще на целую квинту вверх (длина волны до 0,000180 мм.). Эти пределы известных нам лучей, без сомнения, еще более расширятся с развитием средств наблюдений.

Эфир наполняет все междучастичные пространства, существующие даже в самых плотных и на взгляд непрерывных телах, и находится в какой-то, довольно слабой, связи с весомым веществом. В телах более или менее *прозрачных* он еще способен распространять те или другие волны, хотя, сделавшись менее упруг или более плотен, передает их уже с меньшей скоростью, притом со скоростью, зависящей от качества волн (от периода колебаний). Так называемый *показатель преломления* обратно пропорцио-

* Употребляемое иногда выражение „активные лучи“ есть забавный плеоназм.

** Опять по немецкому счету: миллиард = миллион миллионов = 10^{12} .

нален скорости луча В телах *непрозрачных* лучистая энергия *поглощается* верхней пленкой тела (всегда более или менее прозрачной) встречая какое-то затруднение на пути, волны тут же потухают; лучистая энергия не идет далее в прежнем виде, она обращается в иную форму движения весомых частиц и эфира — в *теплоту*.

Изучение лучистой энергии само по себе уже неограниченно *заставляет* нас признать, что существует эфир, оно его *доказывает*; другие, новые доказательства мы увидим даьше. Лишь преувеличенный скептицизм побуждает некоторых и донныне смотреть на световой эфир как на нечто гипотетическое. При настоящем состоянии науки эфир не гипотеза, он — такая же реальность, как вода и воздух, если не более: по В. Томсону, он — единственное вещество, которое мы обязаны признать.* Лишь старинные злоупотребления этим издревле идущим словом могут объяснить то недоверие, ту „боязнь эфиров“, которая, „как род наследственного предрассудка“, встречается даже у Дж. Стюарта Милля**.

Мы далеки еще от полного знакомства со свойствами эфира, и однако же, — замечает Томсон, — в некоторых отношениях мы знаем о нем больше, чем о каком-либо другом веществе¹. Отчасти именно это малое знакомство с „обыкновенным“ веществом мешает нам освоиться более и с эфиром эфир *несвободный* (т. е. эфир в телах) особенно нас затрудняет. Свободный эфир межзвездных пространств есть, вдроятно, простейшая форма вещества.

Наши сведения об эфире не могли не быть односторонними, пока они почерпались лишь из явлений лучей. Самое представление об эфирной волне, быть может, сформулировано слишком узко в той теории света, которая развита Френелем. Оно может быть расширено, без вреда делу, если то потребуется другими соображениями: существенно сохранить лишь *периодичность* процесса и некоторый отпечаток *поперечности*.

Найдутся ли эти „другие соображения“? „Если есть эфир, — говорит Фарадей, — он должен иметь и другие

* „That (the luminiferous ether) is the only substance we are confident of in dynamics“ (Thomson, *Popular Lectures and Addresses*, vol. I, 310.)

** Maxwell в *Encyclop Brit*, 9 ed., vol VIII, 569.

¹ *Baltimore Lectures*, p 9.

назначения, кроме передачи радиаций“ * . Посмотрим, как же.

Под именем электричества** или, общее, *электромагнитизма* мы разумеем, так сказать, весь остаток физики — всю область самых разнообразных превращений энергии, порядок и последовательность которых мы не умеем объяснить ни свойствами весомого вещества, ни лучистой энергией эфира. Но здесь следует отличить непосредственно видимое или ощущаемое от невидимой, внутренней подкладки. Производя электромагнитные опыты, присутствуя при работе телеграфа или динамомашин, мы имеем перед собой явления, в отдельности нам знакомые: происходят различные движения тел, развитие тепла и света, химические реакции. В этих процессах собственно нет ничего „электрического“, и всякий из них мы умеем более или менее удачно воспроизвести иным путем, не прибегая к так называемому электричеству. Но взаимное сцепление этих процессов, их эволюция один из другого, в данном случае представляются нам в таком виде, что заставляют признать участие каких-то особых переходных форм энергии, — в роде того как действие солнечных лучей на землю говорит нам о волне эфира. И в то время как эту последнюю мы можем иногда непосредственно ощущать нашим глазом — для потаенной энергии, скрывающейся за „электрическими и магнитными“ явлениями, мы не имеем особого чувственного органа: мы исследуем лишь результаты, продукты разрушения, этой энергии. После увидим, какую оговорку придется сделать к этим словам.

Вникая в смысл той загадочной группировки превращений энергии, которая представляется нам под рубрикой электричества, находим в основе ее *две* переходные формы энергии, и их то собственно мы называем — одну *электрической*, другую *магнитной энергией*. Они находятся в известной, довольно сложной зависимости друг от друга.

В пространстве, где имеются электрически заряженные тела с неизменно локализованными зарядами, проявляются только электрические (или *электростатические*) силы. В пространстве, где есть движение заряженных тел или же так называемое *движение электричества* (электрические токи),

* Faraday, *Exper. Researches in Electr.*, § 3075

** Термин введен в науку Гильбертом (1600): „*Vim illam electricam nob's placet appellare*“

действуют, кроме того, силы *магнитные* (или *электрокинетические*). Самые магниты мы, со времени Ампера, признаем системами частичных электрических токов.

С электростатикой мы познакомились всего раньше: это была „наша первая любовь“, говорит о ней Томсон. Дело истолкования явлений казалось сравнительно легким: оно начинается с Гильберта (1600 г.), а под влиянием бессмертной книги Ньютона вылилось в ту же форму, как теория тяготения. И здесь, как там, легли в основу силы, действующие непосредственно и мгновенно через расстояние; самый закон их действия напоминал Ньютоново тяготение. Пришлось, однако, приписать эти силы особым веществам *vis generis*, электрическим жидкостям, существующим внутри обыкновенной материи, способным перемещаться в ней с большей или меньшей легкостью под влиянием электрических сил. Подобным образом можно было рассматривать и собственно магнитные явления, пока Эрстед и Ампер не связали их с учением об электрическом токе.

Еще в 1729 г. Стивен Грей впервые подметил, что электричество может распространяться, как бы *течь*, по *проводникам*; он и разделил тела на *проводники* и *непроводники*. В первый год текущего столетия (1800 г.) Вольта указал мощный источник постоянного тока в так называемой гальванической батарее. Ом (1827 г.), руководясь аналогией с током теплоты, дал теорию постоянных электрических токов в проводящей цепи. Эрстед, Ампер (1820 г.) и Фарадей (1831 г.) открыли внешние действия тока — *электромагнетизм* в тесном смысле слова. Индуктивные токи Фарадея оказались наиболее удобными для технического употребления: ими мы пользуемся в наших динамомашинках.

Мало-помалу сложная картина действий *тока* заняла место сравнительно бедной схемы электростатических явлений. Эти-то действия тока и дают начало тем разнообразным превращениям энергии, которые связаны у нас с мыслью об электричестве. Даже в большей части так называемых электростатических опытов (электрические движения легких тел, извлечение искр и пр.) мы имеем, собственно говоря, явление токов.

Прежняя теория уже не годилась для того, чтобы объяснить свойства *электромагнитного поля*: так называемое пространство, где действуют токи. Локализовать энергию, проявляемую током, указать центры производимых им сил,

было не легко. Простой закон квадратов расстояний не обнимал всех явлений, а попытки дополнить его (закон Вебера) рнушали недоверие своей сложной и необычной формой. Представление о непроводниках как о телах, безучастных к электрическим процессам, не могло оставаться после опытов Фарадея; непосредственность и мгновенность электрического действия становились все сомнительнее; доказать материальность электричества не было надежды.

Все указывало, что нужно иначе взяться за дело. Фарадей давно уж настойчиво проводил мысль, что следует сосредоточить внимание не на „проводниках“ электричества, а на окружающей их „непроводящей“ (или, как он выражается, *диэлектрической* *) среде. Усвоив эти идеи и придав им математическую отчетливость, Максвелл предложил свою „динамическую теорию электромагнитного поля“.

Чтобы представить, так сказать, топографию такого поля, Фарадей и Максвелл проводят в нем *силовые линии*. Идя из любой точки поля все по направлению электрической силы, мы опишем электрическую силовую линию; следя за тем, как направлена магнитная сила, опишем магнитную силовую линию. Оказывается, что электрическая и магнитная силовые линии пересекаются всегда под прямым углом. Силовыми линиями того и другого рода поле делится на волокна или жилки (*силовые нити*). Эти нити можно выделить так, что бы их густота (число нитей, обнимаемых единицей поперечной площади) соответствовала *величине* силы в каждом месте поля.

В электростатическом поле всякая силовая линия начинается в точке, имеющей положительный „заряд“, и упирается концом в точку с отрицательным зарядом: внутри проводников нет зарядов, нет электрических сил, нет и силовых линий.

Вблизи проволоки, замыкающей гальваническую батарею, электрические силовые линии идут параллельно проволоке, а магнитные линии имеют вид круглых колец, нанизанных на проволоку своими центрами.

Это простое графическое изображение сил имело в глазах Фарадея более глубокий смысл. По его идеям, все вещество электромагнитного поля есть сложный механизм, все части

* „Я называю диэлектриком вещество, сквозь которое действуют электрические силы“ (Фарадей).

которого связаны между собой; оно напоминает собой не планетную систему Ньютона, где немногие центры взаимодействуют через расстояние, при безучастии промежуточной среды, а скорее — бассейн воды с погруженными в него телами, где всякое местное давление или движение постепенно передается дальше и отзывается более или менее повсюду. Чтобы понять силы, действующие в электромагнитном поле, мы должны иметь в виду состояние вещества во всех частях поля; и обратно, топография этих сил дает указание на состояние вещества.

И в области чисто механических явлений кажущаяся *сила* не всегда есть признак непосредственного действия издали: она может явиться как результат местных аффектов или же аффектов окружающей среды в целом обширном районе.

Тело вращающееся испытывает так называемые центробежные силы: все части его как бы отталкиваются от оси вращения. Обруч, пока катится, сохраняет вертикальное положение, какая-то сила не дает ему упасть; но он падает плашмя, как скоро остановлен. Здесь из самого акта движения возникают *quasi*-силы, которых не было, пока тело покоилось.

Легкое тело всплывает в воде, аэростат взлетает в воздухе. Значит ли это, что они отталкиваются землей? Нет, источник силы подъема — в окружающей среде: всякая часть воды или воздуха, будучи сдавлена, обладает некоторой энергией, и эта-то частичная энергия всей жидкой массы проявляется в стремлении вытолкнуть вверх погруженное тело.

Частям воздуха или воды (для видимости окрашенным цветной примесью) можно сообщить так называемые вихревые движения. В грубом виде такие вихри — дымные кольца — легко получаются при курении. Следя за двумя вихревыми кольцами, мы заметим, что они то притягиваются, то отталкиваются. Эти кажущиеся взаимодействия — результат кинетической энергии, присущей всем частям среды.

Наконец, в изящных опытах Бьеркнеса тела, погруженные в воду, оказывают взаимодействие, весьма близко напоминающее об электрических и магнитных силах. Для этого погруженным телам сообщают мелкие и быстрые движения — качательные или пульсирующие; легко убедиться, что частицы окружающей воды также приходят в подобные колебания. Опять — видимые нами взаимодействия имеют источником

ту энергию мелких движений, которая сообщена твердым телам и от них сообщилась окружающей жидкости.

Во всех этих случаях мы стали бы на неудачную точку зрения, построили бы искусственную и несостоятельную теорию, если бы сосредоточили внимание на видимых притяжениях или отталкиваниях, не всматриваясь в те движения или деформации, в которых собственно и лежит разгадка явлений.

Не так ли следует смотреть на электромагнитное поле? Свойственная ему полярность не есть ли результат полярности частичной? Относительно магнитов давно уже пришли к заключению, что в них всякая частица есть маленький магнит: в этом убеждает нас простой опыт дробления магнита. Этот прием мысли нетрудно распространить. Всякую силовую нить поля (электрическую, магнитную) позволительно рассматривать как ряд поляризованных (наэлектризованных, намагниченных) частичек, нанизанных вдоль силовой линии и сросшихся попарно разнородными концами (полюсами).

Но этого мало. Что значит полярность каждой частички? Что значит: частица наэлектризована или намагничена? Механическая роль ее в сложной машине, именуемой электромагнитным полем, должна быть следствием механического аффекта самой частицы, ее наличных деформаций или движений. Уже Фарадей представлял себе, что всякая силовая нить поля натянута по направлению своей длины и сдавлена с боков соседними нитями; другими словами, всякая поляризованная частица поля стремится сократиться вдоль силы и раздаться в поперечных направлениях. Максвелл доказал, что такое представление о структуре поля в точности соответствует тем силам, которые в нем проявляются.

Такая картина электромагнитного поля, хотя она и далека еще от полной отчетливости, оказывает нам важную услугу. Но прежде всего заметим, что она стоит в резком разладе с обычными, ходячими представлениями о роли проводников и диэлектриков.

Остановимся сперва на явлениях электростатических. Мы привыкли говорить о „заряженных проводниках“, хотя давно знаем, что „заряды“ помещаются собственно на границе проводника с воздухом или другим диэлектриком (общее говоря, на границе двух разнородных тел). Внутри проводников нет силовых линий, эти линии идут лишь в диэлектрике и обрываются у входа в проводник. Следуя воззрению Фарадея

и Максвелла, мы должны всю электрическую энергию, все то частичное возмущение, которым объясняются свойства электростатического поля, приписать исключительно непроводящей среде. Проводник есть именно та часть пространства, куда не проникает эта особая форма энергии. Вместо того чтобы говорить: „заряжен проводник“, мы должны бы сказать: „заряжен энергией окружающий воздух“.

И нетрудно видеть, что такой взгляд имеет на своей стороне большую физическую вероятность. Внутри проводника вещество ни в чем не изменилось от электризования — ни в температуре, ни в молекулярном строении. Безразлично, из какого металла сделан проводник: при данных размерах и форме и при данном источнике электричества, платина и алюминий зарядятся одинаково, и электростатические действия их будут одни и те же*.

Обращаясь к окружающему непроводнику, мы заметим совсем иное. Электрические силы изменятся, если мы заменим воздух другим газом; изменятся еще больше, если место воздуха займет жидкий или твердый диэлектрик (сера, парафин, стекло и т. п.). Наконец, опыт прямо обнаруживает, что в диэлектрике электрическими силами производятся какие-то натяжения, изменения структуры: стеклянный слой лейденской банки раздается в толщину, когда она заряжена; стекло, и даже жидкие диэлектрики, под действием электрических сил обнаруживают двойное преломление света, как известные кристаллы.

Все эти факты говорят в пользу того, что в электростатических действиях исключительное участие принимает диэлектрическая среда. Но такой средой может служить и „пустота“. Следовательно, и она может быть местом электростатической энергии? Почему же нет: мы знаем, что эта quasi-пустота наполнена веществом — *эфиром*. Но, в таком случае, и в диэлектрике весомом главное участие должно принадлежать собственно эфиру, а в „проводниках“ эфир становится, по видимому, вовсе неспособным к электрической полярности.

Так получаем первый просвет на сродство явлений лучистых и явлений электрических. Те же среды — эфир свободный или эфир прозрачных тел — служат носителем энер-

* Так называемым „электричеством контакта“ можно пренебрегать, когда речь идет о сильных зарядах.

гии и там и здесь. Действительно, большинство непроводников (воздух, бензин, парафин, стекло, даже эбонит) — тела более или менее прозрачные для тех или других лучей. Лучшие „проводники“ — металлы — непрозрачны: в них не проникает электростатическая энергия, как не проникают лучи света.

Обратимся к собственно электромагнитному полю, — к полю электрических токов. Предыдущее уже подготовило нас к тому, что и здесь придется идти в разрез с обычными представлениями. В проводнике, замыкающем гальваническую батарею, мы привыкли видеть канал, внутри которого течет электричество. Но отказавшись от материализации электричества, можно признать за этой фразой лишь условный, фигуральный смысл — в роде того, как говорится о движении энергии.

Под каждым из этих символических изречений скрывается некоторое действительное движение; так и в процессе тока должно быть движение вещества, он имеет *кинетический* характер. Прямой опыт (Роуланда) показал, что, *двигая* электрически заряженное тело, мы вызываем магнитные силы в окружающем пространстве: здесь несомненное *движение вещества* действует как *электрический ток*. С другой стороны, способность тока поворачивать плоскость поляризации лучей (опыт Фарадея) также удостоверяет, по указанию Томсона, что ток — явление кинетическое.

Но слова: *в проволоке идет электричество* или *идет ток*, не указывают нам ни того, что и как здесь движется, ни даже того, как распространяется движение.

Ток есть изменение электростатической полярности поля, и это изменение сопровождается магнитными силами. В разряде лейденской банки мгновенный ток оканчивается разрушением электрического состояния; в стационарном токе гальванической батареи непрерывный разряд непрерывно восполняется новым зарядением.

Признав в электростатических явлениях частичную энергию эфира, мы должны видеть в электромагнитном поле *токи* этой *эфирной энергии*. Распределение силовых линии должно указать нам, где именно она заключена и по каким путям совершается ее перенос.

Следуя этим указаниям, придется приписать электромагнитную энергию как эфиру проводников (цепи), так и эфиру окружающей среды (воздуха). Так и делает Максвелл. Один

из его продолжателей Пойнтинг* определеннее указывает на особую роль проводников; я позволяю себе придать его мысли еще большую резкость.

Металлические проводники суть *разрушители, гасители* электромагнитной энергии. В металлических, вполне однородных проводниках, входящих в состав замкнутой гальванической цепи, происходит развитие *теплоты*; этой теплотой вполне исчерпывается их доля энергии. Но это уже не та особая форма „электромагнитной“ энергии, какую мы находим в окружающем пространстве; эту теплоту или, лучше сказать, ее излучение позволительно назвать электромагнитной энергией лишь с той обобщающей точки зрения, которая откроется нам впоследствии. Ни один опыт доселе не показал, чтобы внутри металла ток производил что-либо, кроме нагревания, эффекты, замеченные на *проводах* (изменения упругости, особые удлинения и пр.), поскольку они не являются результатом теплоты, объясняются *поверхностным* действием, а частью прямо опровергнуты.

Роль металла, как гасителя электромагнитной энергии, особенно ясна из отношения его к переменным (альтернативным) токам. Ни один из так называемых „непроводников“ теплоты не защищает от долговременного действия тепла или холода, но они защищают от более или менее быстрых перемен. Такую роль играют металлы относительно перемен электрического тока переменные токи не проникают сквозь толщу металла, они гаснут тем на меньшей глубине, чем быстрее перемены. Недавние опыты Герца** над быстро переменными токами прямо показали, что они задерживаются тончайшей металлической оболочкой ($1/20$ мм) и далее вглубь не проникают. Даже менее быстро сменяющиеся токи обыкновенных динамомашин ограничиваются наружным слоем проводника, если он достаточно толст: при 80 альтернациях в секунду, в медном проводнике 10 центим. диаметра, плотность тока на 1 цент. глубже поверхности становится не более $7^{1/2}$ проц, и кажущееся сопротивление проводника почти вчетверо (3,8) больше, чем для тока постоянного***.

Как воздух, пух и т. п. мы называем непроводниками тепла, так и с таким же правом мы должны признать ме-

* Poynting, *Philos Trans*, 1884, 1885.

** Hertz, *Wied Ann*, XXXVII (1889)

*** W. Thomson, *Ether, Electricity and Ponderable Matter* (1889).

талл *непроводником электромагнитной энергии*. По Пойнтингу, энергия гальванической цепи распространяется через диэлектрическую среду (обыкновенно воздух); путь ее идет под прямым углом к линиям электрической и магнитной силы. Частью она, так сказать, скользит вдоль металлических поверхностей, частью отходит от них в окрестное пространство и, вторгаясь в металл в разных точках, разрешается в теплоту*.

Таким образом, вопреки ходячим мнениям, распространение электрического процесса в воздушной телеграфной линии идет через *воздух*, в подземной или подводной — через *изоляцию* кабеля, точнее сказать, через эфир этих диэлектриков.

Замыкающий „проводник“ существенно необходим, но роль его иная, чем думали прежде. Проводник нужен как гаситель электромагнитной энергии: без него установилось бы электростатическое состояние; своим присутствием он не дает осуществиться такому равновесию; постоянно поглощая энергию и перерабатывая ее в другую форму, проводник вызывает новую деятельность источника (батареи) и поддерживает тот постоянный наплыв электромагнитной энергии, который мы называем „током“. С другой стороны, верно то, что „проводник“, так сказать, направляет и собирает пути энергии, которая преимущественно скользит вдоль его поверхности, и в *этом* смысле он отчасти оправдывает свое традиционное имя. Роль проволоки несколько напоминает фитиль горящей лампы: фитиль необходим, но горючий запас, запас химической энергии — не в нем, а около него; становясь местом разрушения горючего вещества, светильня втягивает новое на смену и поддерживает непрерывный и постепенный переход химической энергии в тепловую.

Сказанное о металлах нельзя буквально прилагать к тем молекулярно разнородным проводникам, обыкновенно жидким, которые разлагаются от тока. Эти тела (электролиты) составляют как бы переход от металлов к диэлектрикам, и в замкнутой цепи являются обыкновенно *источниками* тока — поставщиками химической энергии, которая превращается в электромагнитную. Где именно очаг этого превращения, где зарождается энергия электромагнитная — этот вековой вопрос и теперь не порешен окончательно. По мнению Лоджа, пути электромагнитной энергии в элементе Вольты

* См. также Lodge, *Phil Mag* (5), vol 19 (1885).

(цинк, вода, медь) берут начало преимущественно у погруженной поверхности цинка, но ответвление энергии в окружающее поле происходит у спая двух металлов.

Обозревая наши последние соображения, мы можем резюмировать их так.

1) Носителями электромагнитной энергии служат непроходники (диэлектрики) или, лучше сказать, наполняющий их (и ими видоизмененный) эфир.

2) Эта энергия распределена непрерывно во всей диэлектрической среде и зависит частью от деформаций, частью от движения мелких частей среды.

3) Металлические „проводники электричества“ суть непроходники электромагнитной энергии: попадая в них, она разрешается в энергию тепловую.

Эти три положения останутся буквально справедливыми, если вместо „электромагнитной энергии“ подставим в них энергию „лучистую“. Оба эти вида энергии, формально отличаясь друг от друга, живут в одних и тех же средах: оба имеют частичный характер — частью кинетический, частью потенциальный.

Нельзя ли поэтому ожидать особенно тесной связи между этими видами энергии? Нельзя ли лучом вызвать электрический процесс, нельзя ли электрическим процессом осуществить луч или подобие луча?

Интерес, конечно, — в *непосредственных* превращениях: косвенно всякую форму энергии можно превратить в любую иную форму.

Что лучи могут быть причиной токов, это мы видим уже на термоэлектрическом аппарате Меллони. Но здесь лучистая энергия переходит сперва в теплоу спая, и ток вызывается посредственно; ток явится и при ином способе нагревания спая.

Опыты Беккереля и др. показали, что два однородные металла в жидком электролите образуют гальваническую пару, когда один из них освещен; детали явления внушают мысль, что оно происходит при посредстве химической энергии.

Но особенно поразительны подобные явления в воздухе и вообще в газах. Лучи, особенно крайние ультрафиолетовые, разряжают отрицательно заряженное тело, положительно электризуют незаряженное. Действие обнаруживается на всякого рода телах, твердых и жидких, среди весьма различных газов, при единственном условии — чтобы дея-

тельные лучи поглощались поверхностным слоем тела. Эти явления, по почину Герца (1887 г.), исследованы многими, в том числе и мною*, и все еще остаются загадочными. Происходит ли на этот раз прямое превращение лучистой энергии в электрическую или и здесь есть посредствующий фактор — неизвестно.

Как бы то ни было, из нижеследующего придется заключить, что луч всегда несет с собой электрические токи, но эти токи обыкновенно не замечаются нами как таковые, вследствие их особого характера.

Перейдем к другой стороне вопроса: от явлений *актино-электрических* к явлениям *электро-актиническим*.

Еще Фарадей (1845 г.) показал, что мы можем *изменить* свойства луча, действуя на него электрическим током: магнитные силы поворачивают плоскость поляризации луча. Можно ли *создать* луч с помощью электрической энергии? Повидимому, нечего и спрашивать: мы это делаем во всякой электрической лампе; всякий ток нагревает проводники и заставляет их излучать теплоту. Но тут опять превращение *непрямое*, и речь пока не о нем. Быть может, прямое превращение происходит в известных трубках Крукса; но здесь процесс для нас еще неясен.

Нельзя ли заведомо процессу распространения электрического тока дать такую форму, которая представляла бы подобие луча света?

Максвелл (1865 г.) теоретически подошел к этой задаче и получил результат необыкновенной важности.

Выразив математически законы электромагнитного поля, Максвелл спрашивает себя: как должна распространяться через непроводящую (диэлектрическую) среду энергия *переменного* (альтернативного) тока? Образцы таких токов мы имеем в снаряде Румкорфа, в альтернативных динамомашинках, в цепи телефона, наконец, — при механических качаниях заряженного тела. Всякий из таких снарядов служит источником электромагнитных возмущений в эфире окружающего воздуха. Какого типа будет передача этих возмущений?

Ответ получился такой:

1) Энергия будет распространяться *поперечной волной* со скоростью, зависящей от электромагнитных свойств

* Столстов, *Активно электрические исследования*, 1889 г.

среды. По всякой линии, идущей из источника переменных токов, последовательно передаются подобные же переменные токи, или периодические „колебания электричества“, направленные перпендикулярно к этой линии. Возбуждаемая при этом электрическая сила направлена вдоль колебания, а сила магнитная — под прямым углом к нему. Три линии: путь энергии, направление электрической силы и направление магнитной силы, взаимно перпендикулярны. (Мы уже видели, что это соблюдается при всяком вообще электромагнитном процессе.)

2) Вычисляя скорость распространения такой „электрической волны“ в эфире воздуха (или, что почти то же, в свободном эфире), находим 300 000 километров в секунду. Совершенно такова и скорость лучей в той же среде.

Для других прозрачных тел скорость света обратно пропорциональна показателю преломления. Для электрических волн скорость, по теории, должна быть обратно пропорциональна квадратному корню из так называемого „диэлектрического коэффициента“ среды. Но сличая показатель преломления с квадратным корнем диэлектрического коэффициента (тот и другой известны для многих тел из опыта), находим, что они близки к равенству. Для газов и других совершенных диэлектриков (сера, парафин, петролеум) — соответствие полное. Для менее совершенных диэлектриков (с так называемой *абсорбцией*), а особенно для электролитов, цифры несогласны вследствие особых причин; но разногласие исчезает, если измерять диэлектрический коэффициент помощью достаточно *быстрых* электрических процессов*. Наконец, при исследовании кристаллов с двойным преломлением (серы), где скорость света по разным направлениям различна, такая же разница оказалась и в скоростях электрической волны.

Вообще приходим к заключению, что скорость электрической волны и скорость световой волны, в одном и том же теле, по одному и тому же направлению и при той же длине волны, равны между собой.

Эти результаты поразительны. Максвелл нашел или предсказал их путем теории. До последнего времени никто

* Так, например, резкое разногласие для *стекла* недавно устранено опытами Дж Томсона, который употреблял электрические колебания весьма малого периода (*Proceed. Royal Soc.*, 1889).

не мерит прямым опытом скоростей электрической волны, о них заключали по цифрам диэлектрического коэффициента; никто не наблюдал самой передачи электрического процесса волной сквозь непроводящую среду. Оставалось проверить предсказания теории.

Эта-то важная победа науки достигнута блестящими опытами Герца в 1888 и 1889 гг.*. Их покажет нам на днях проф. Н. Г. Егоров; мои слова будут, полагаю, бесполезным вступлением к его демонстрации

Трудность задачи была, повидимому, неодолима. Если электрическая волна идет столь же быстро, как свет, то *прямо измерить* ее скорость едва ли возможно — тем более, что такая волна, как увидим, „гаснет“ уже на умеренном расстоянии от источника. Естественно прибегнуть к *интерференции* электрических волн; предполагая, что знаем *период* колебаний, достаточно *смерить длину волны*, чтобы найти скорость распространения.

Но каких размеров ожидать от длины волн? Механические колебания, которые мы можем производить, имеют сотни, много — тысячи периодов в секунду. Таким путем мы производим переменный ток в снаряде Румкорфа, в телефоне. Если электрические колебания идут в такт с механическими, длина электрической волны должна быть громадная: например, при 1000 колебаний в секунду она будет 300 километров!

Очевидно, нужны колебания несравненно более быстрые, многие миллионы раз в секунду, чтобы длина волны уменьшилась до удобных размеров. Повидимому, дело становится безнадежным. Однако же это не так.

Электрические колебания могут происходить и без помощи механических колебаний. Еще в 1842 г. Генри заподозрил, что разрядный ток лейденской банки может иметь такой „колебательный“ характер. Это подтверждено теоретическим исследованием Томсона и оптическим анализом разрядной искры (Феддерсен). Эти колебания могут быть достаточно быстры для нашей цели. Чем меньше „емкость“ разряжающегося тела и чем меньше его „коэффициент самоиндукции“, тем быстрее период колебаний. Известно, что всякое тело имеет „собственные тоны“, т. е. известные тоны оно может издавать и воспринимать особенно легко. По-

* Hertz, *Wied Annalen*, XXXI (1888), XXXIV, XXXVI (1889).

добно этому всякий проводник имеет, так сказать, свой „электрический тон“, период которого зависит от размеров и формы проводника

Этим-то обстоятельством воспользовался Герц. Чтобы осуществить крайне быстрые электрические колебания, он присоединяет ко вторичной обмотке румкорфова снаряда проводник с малой емкостью и малой самоиндукцией, проводник с „высоким электрическим тоном“. Заряд, сообщаемый ему действием аппарата, разряжается искрой, и этот разряд имеет характер альтернативного тока с периодом, несравненно более коротким, чем период колебаний прерывателя первичного тока. Прерыватель служит лишь для того, чтобы по временам подновлять электрические колебания, — в роде того, как повторяемый время от времени удар смычка поддерживает звучание струны. К сожалению, прерыватель действует непомерно редко, и вместо постоянного „электрического тона“ мы получаем лишь ряд коротких, быстро замирающих тонов, с сравнительно большими паузами.

Так удалось вызывать электрические колебания, которые чередуются сотни, тысячи миллионов раз в секунду; длина волны для них поэтому будет выражаться немногими метрами или даже долями метра.

Таким образом мы получили электрический „вibrator“, и важно, что мы знаем наперед период его колебаний. Но является новая трудность: чем будем ловить и обнаруживать передачу электрической волны через окружающий воздух? Пока волна идет в воздухе, она неощутима; надо принять ее на новый проводник *с соответствующим электрическим тоном* — на электрический „резонатор“. Откликаясь (электрически) на волну, этот проводник будет повторять то, что происходит в вибраторе, — в роде того, как один камертон откликается издали на звук другого, если оба настроены в унисон.

Употребляя как резонатор согнутую проволоку приличных размеров, с узким перерывом между концами, Герц получает в ней искру, иногда яркую, иногда едва заметную. На значительном расстоянии от вибратора (на десятке метров) действие волны слабо, искра может перескакивать лишь ничтожный промежуток, например, в 0,01 миллиметра. Искра появляется только в момент наибольшего наплыва зарядов у концов проволоки и длится меньше миллион-

ной доли секунды. И все-таки мы видим эту искру: как неожиданно велика чувствительность глаза. Не сделав прямого опыта, трудно было бы поверить, что он удастся.

Обеспечив себя производителем колебаний (вибратором) и приемником (резонатором), Герц делает следующий ряд опытов.

Он доказывает, что его электрическая волна распространяется по всем направлениям и может быть прослежена до 15—20 метров расстояния.

Волна свободно проходит через деревянную или каменную (непроводящую) стену, как свет через прозрачную пластинку, но не проникает сквозь металлический лист, — отражается от него и дает за листом „электрическую тень“. Электрическая энергия распространяется здесь *прямолинейно*.

Поместив вибратор в фокусе большого (2 метра вышины) вогнутого зеркала (из жести), получим пучок параллельных *электрических лучей*. Собирая эти лучи другим зеркалом, найдем в фокусе последнего усиленное действие, как в известном опыте Пиктэ с лучами тепла.

Пропуская электрический луч через большую „электропрозрачную призму из асфальта“ (1,5 метра вышины, 1,2 ширины), замечаем, что луч преломляется приблизительно с таким же показателем преломления, какой соответствовал бы лучу световому.

Лодж*, устроив две громадные линзы из асфальта (около 1 кв. метра поверхности, около 200 килограммов весом каждая), собирал помощью их электрические лучи, как собираем мы теплоту солнца зажигательным стеклом.

Электрическая волна действительно *поперечна*, а следовательно, способна к так называемой поляризации (в оптическом смысле слова). В этом убеждаемся, давая резонатору тот или другой наклон к лучу. Можно поляризовать такую волну и подражать всем эффектам поляризованного света.

Наконец, электрические лучи способны давать интерференцию, при таких же условиях, как световые и звуковые волны. Бросая, например, такой луч перпендикулярно на металлическую стену, мы получим интерференцию падающего луча с отраженным в виде так называемой *стоячей волны*: в известных местах (узлах) по линии луча резонатор не

* *Philos Magazine* (5 ser.), vol. 26 (1889 г.).

дает действия Расстояние двух узлов даст нам длину волны, а следовательно, позволит вычислить скорость волны.

Эта скорость действительно такова, как скорость света.

Одним словом, наша электрическая волна, или наш электрический луч, представляет самое близкое подобие с обыкновенным лучом тепла и света и передается, несомненно, той же средой.

Действительно ли здесь только *подобие*? Не есть ли это *тождество* двух процессов — тождество во всем, кроме размера длины волны? Электрический луч Герца имеет сравнительно громадную длину волны; *но не этим ли только* он отличается от луча теплового, подобно тому как луч слегка нагретого тела только длиной волны разнится от ультрафиолетовых лучей вольтовой дуги?

Какие действия дает электрический луч? В резонаторе он разрешается теплотой и светом; нег сомнения, что он (как и всякий электрический ток) способен действовать химически. Но то же произведет и луч солнца, поглощаясь телом. *Одного* лишь недостает лучу электрическому: он не действует на наш глаз и, конечно, в знакомой нам природе не существует глаза, чувствительного к лучам с длиной волны в 1 метр. Но ведь и тепловые лучи далеко не все ощущаются как свет.

Весьма естественно принять, что волна поперечных электрических колебаний, вызываемая переменным током, и и та поперечная волна эфира, которую мы зовем волной света, суть процессы вполне *тождественные* при равной длине волны. Если так, то всякий луч тепла и света есть электромагнитный процесс, волна электрических колебаний, крайне быстрых. Излучение теплоты есть переход ее в электромагнитную энергию определенного типа. Глаз есть орган, воспринимающий электрические колебания известных периодов.

Выражаясь таким образом, по Максвеллу, мы как будто пытаемся объяснить более понятное менее понятным. Не проще ли будет приурочить определение электромагнитного процесса к более ясному для нас понятию о световом луче?

Процесс лучистой передачи света и тепла мы знаем в форме вполне определенной. Процесс электромагнитных возмущений может иметь различные виды и в том числе специальный вид волны. Более общее нельзя описать словами, заимствованными из частного случая. Пытаясь описать электромагнетизм, как „темный свет, идущий кривыми лучами“, мы построим

голько туманную фразу во вкусе старинной натурфилософии, и все-таки она будет недостаочно обща.

С другой стороны, следует заметить, что прежние (френелевское) представление о световой волне, как о „поперечной волне упругих колебаний“, слишком узко, чтобы объяснить ее электромагнитные свойства. Я уже заметил раньше, что мы вправе обобщить это представление, не жертвуя существенными чертами. Говоря „волна поперечных *электрических* колебаний“, мы и делаем такое обобщение. Правда, оно делается в ущерб ясности, пока мы не умеем точнее описать, что следует разуметь под этими словами. Заменяя прежний, механически ясный образ („поперечное движение частиц эфира“) не вполне законченным абрисом („поперечное электрическое колебание в эфире“), мы делаем шаг назад в теории света в смысле простоты и законченности рисунка.

Но зато, решаясь на эту временную уступку, мы теперь же, сразу, все учение о лучистой энергии вводим как часть в более общее учение об электромагнитном процессе, г. е. в общую механику эфира.

Мало того. Для самой теории света эта перемена оказалась благотворной. Некоторые трудные и спорные вопросы прежней теории разрешаются весьма просто с точки зрения максвелловой „электромагнитной теории света“, несмотря на остающийся пробел в новой, обобщенной идее о световой волне.

Конечно, этот пробел нужно пополнить, и наша механика электромагнетизма — пока только канва для будущего рисунка. Пока мы не умеем отчетливо изобразить, что делается в каждой эфирной клетке, и говорим только „некоторое возмущение“, „некоторое колебание“, а для дальнейшей спецификации его прибегаем к условному эпитету „электрическое“; пока мы не освоились с незримиыми ремнями и колесами сложной машины, именуемой электромагнитным полем“, и эта задача приводит в уныние даже такие мощные умы, как В. Томсон*, — наше знание взшло лишь на первую ступень. Но и с нее уже открылась нам широкая перспектива. Мы далеко ушли вперед от смутной грезы Фарадея, который, спрашивая себя, не есть ли радиация быстрое дрожание силовых линий (a high species of vibrations in the lines of force), вслед затем как бы пугается своих мыслей,

* S. r W Thomson, *Ether, Electricity and Ponderable Matter*, 1889

сознаваясь, что это лишь „тень умозрения“ (the shadow of a speculation)*.

Есть и теперь попытки досказать недосгающее слово, но попытки едва ли удачные Такова, например, догадка Лоджа**, который в новую эфирную теорию электрических явлений ввлекает старинную Симмерову гипотезу двух жидкостей По Лоджу, эфир есть соединение двух веществ — положительного и отрицательного электричества Частичное электризование среды есть расщепление ее эфира на своего рода „ионы“***, электрическая энергия — род химической энергии Едва ли стоит возвращаться к двум „электрическим материям“, хотя бы и в обновленном виде Едва ли позволительно, ради ясности представлений, сводить электричество к химизму, — а не наоборот Подождем чего-нибудь менее искусственного.

Мы не коснулись одного пункта Мы *допустили*, что электрический луч Максвелла и Герца тождествен с лучом световым. Нельзя ли *доказать* это? Такое доказательство мы получили бы, если бы удалось, уменьшая период колебаний вибратора, дать электрической волне *все* свойства световой — сделать ее способной вызывать ощущение света

Уменьшая размеры вибратора, мы будем приближаться к этой цели; но чтобы ее *достигнуть*, пришлось бы обратить вибратор в *одну молекулу* Не умея распоряжаться отдельными молекулами, мы должны отказаться от такого опыта — от мысли сознательно и умышленно производить такие электрические колебания Без умысла мы производим их во всякой электрической искре, да и во всяком вообще источнике света; но не умеем обнаружить их электрический характер.

Еще один вопрос Нет ли в спектре солнца лучей с большой длиной волны, вроде герцевых лучей? Весьма возможно, что есть, что солнце шлет к нам лучи, лежащие далеко за пределом инфракрасного спектра, не производящие заметного нагревания, но способные действовать электромагнитно Быть может, такими лучами придется объяснить несомненное *магнитное* действие солнца на землю Рассматривая целое солнце как „проводник“, приходится приписать

* Faraday, Thoughts on Ray-vibrations, 1846. (*Exp. Res on Electr.*, vol III)

** Lodge, *Modern Views of Electricity*, 1889

*** Так называются продукты разложения электролита током.

ему период электрических колебаний в 6,6 секунды (длина волны 1 900 000 километров) Стоит подметить, говорит Лодж, не отзывается ли такой период на наших магнитометрах. А наши „магнитные бури“ — и следы ли это особенно крупных электромагнитных возмущений на солнце, переданные на землю посредством длинных волн эфира? Что касается так называемого „атмосферного электричества“, то уже составилась остроумная попытка (Аррениуса) объяснить его актино-электрическим действием коротких волн солнечного спектра.

Но пора закончить. Сведем последние итоги.

Электромагнитная энергия, лежащая в основе электрических и магнитных явлений, есть энергия всепроникающего эфира, зависящая от его частичных деформаций и движений, подробности которых нам еще неизвестны.

Одна из форм распространения этой энергии есть то, что издавна известно нам, как луч света и тепла. Молекулярные колебания нагретого тела вызывают в эфире тот самый процесс, который, с другим масштабом длины волн, производится всяким снарядом, дающим альтернативные электрические токи.

Лучом солнца, как источником тепла, мы можем вращать динамомашину переменного тока и током ее питать вольтову дугу, а это „электрическое солнце“ в своих лучах обратно изольет часть энергии в мировое пространство. Все главные стадии этого цикла мы в праве обозначить как *электромагнитизм*, и все они совершаются по специальному типу *света* в широком смысле этого слова.

Новые факты еще раз доказывают существование эфира и окончательно разрушают теорию непосредственного действия электромагнитных сил через расстояние.

Механика электромагнитизма, со включением лучей света и тепла, есть механика эфира.

В 1881 г., закрывая Международный конгресс электриков в Париже, покойный Дюма провозгласил наш век „веком электричества“. Столетие, начатое вольтовым столбом и завершаемое введением электричества во все сферы нашего быта, вполне заслужило такое имя.

Но я видел и другой смысл в словах Дюма, о чем тогда же заявил знаменитому химику При всех триумфах науки

и практики мистическое слово „электричество“ слишком долго лежало на нас упреком. Пора освободиться от него, пора объяснить это слово, ввести его в ряд ясных механических представлений¹ Традиционный термин может остаться, но пусть это будет не *asylum ignoantiae*, а ясный лозунг обширного отдела мировой механики

Конец века быстро приближает нас к этой цели Слово *эфир* уже идет на помощь слову *электричество* и скоро сделает его излишним Механика эфира, — еще далекая пока от полной отчетливости, но обещающая быстрый рост, — уже заступает место и старозаветной теории „электрических жидкостей“ и позднейшего — позитивного, но голого и недосказанного — „учения об электромагнитных силах“.

Разрешит ли та же механика эфира и другие загадки космоса, объяснит ли она нам тайну материи и ее тяготения, как надеются нетерпеливые умы, это — более гадательно: быть может, здесь черед наступит не так скоро. Но для „электричества“ уже занялась заря эфирной механики: для этой обширной науки XX век будет *веком эфира*

¹ У Столетова механика и механическое представление не имеют столь узкого смысла, как это обыкновенно имеет место. Под механикой Столетов понимает общее физическое учение о движении. См. подробнее: *Гельмгольц и современная физика* (настоящий том, стр. 307) (*Прим. ред*)

СОФЬЯ ВАСИЛЬЕВНА КОВАЛЕВСКАЯ *

Биографический очерк **

Софья Васильевна Ковалевская (ум. 29 января 1891 г.), урожденная Корвин-Круковская, родилась в Москве, в январе 1850 года ***. Отец ее, генерал-лейтенант артиллерии Василий Васильевич Корвин-Круковский (ум. 1875) — один из отпрысков широко разветвленного рода, ведущего свое начало от венгерского короля Матвея Корвина, — был в ту пору начальником московского арсенала. Мать С. В. Ковалевской, Елизавета Федоровна, урожденная Шуберт (ум. 1879) — дочь генерала от инфантерии Фед. Фед. Шуберта, хорошего математика, начальника корпуса топографов; отцом его (прадедом С. В. Ковалевской) был еще более известный в конце прошлого столетия астроном. Как указания на некоторую наследственность вкусов и дарований, эти данные не лишены интереса.

С 1858 г., выйдя в отставку, отец С. В. Ковалевской поселился с семьей в родовом своем поместье Палибине

* Реферат, читанный 19 февраля 1891 г. в заседании Московского математического общества, посвященном памяти С. В. Ковалевской.

** Печатными источниками служили „Воспоминания детства“ покойной (*Вестн. Евр.*, июль и август 1890 г.). „С. В. Ковалевская в воспоминаниях домашнего наставника И. И. Малевича“ (*Русск Старина*, декабрь 1890 г) и несколько мелких статей в разных журналах (между прочим, в английской *Nature* 1891, за подписью Р. К.) Ценными указаниями и поправками я обязан Ю. В. Лермонтовой, коротко знавшей покойную.

*** По показанию Ю. В. Лермонтовой. Обыкновенно считают 1853 г., но это не согласуется ни с рассказом Малевича, который, в 1858 г. начинает уроки с „восьмилетней“ девочкой, ни в особенности с фактом бракосочетания С. В. Ковалевской в 1868 г.

(Невельского уезда, Витебской губернии).* Здесь протекают годы детства С. В. Ковалевской, так художественно очерченные в ее „Воспоминаниях“. В семье было трое детей — две дочери и сын Старшая дочь, Анна Васильевна (впоследствии, по мужу, Жакляр), также весьма талантливая, умерла в молодых годах; она напечатала несколько рассказов и обратила на себя особое внимание Достоевского

Первые уроки, помимо гувернанток, дает Софье Васильевне, с восьмилетнего возраста, известный в то время домашний наставник Малевич, недавно поместивший в *Русской Старине* воспоминания о своей ученице, в семействе которой он пробыл около девяти лет. „При первой встрече с моей даровитой ученицей, в октябре 1858 г., — говорит Малевич, — я видел в ней восьмилетнюю девочку, довольно крепкого сложения, милой и привлекательной наружности, в карих глазах которой светился восприимчивый ум и душевная доброта. В первые же учебные занятия она обнаружила редкое внимание, быстрое усвоение преподанного, совершенную, так сказать, покладливость, точное исполнение требуемого и постоянно хорошее знание уроков. Развивая ее способности..., я не мог, однако же, заметить при первых уроках арифметики особых способностей к этому предмету: все шло так, как с прежними моими ученицами, и даже я был смущен по следующему случаю. Однажды, за обедом, генерал спросил свою любимую дочь: „ну что, Софа, любила ли ты арифметику?“ — „Нет, папочка“, был ее ответ... Не прошло четырех месяцев, как ученица моя, почти на такой же вопрос отца, сказала:

„Да, папочка, люблю заниматься арифметикой, она доставляет мне удовольствие“.

... „Прошли три-четыре года всегда успешных занятий без всяких выдающихся эпизодов, но когда дошли мы в геометрии до отношения окружности круга к диаметру..., ученица моя, излагая данное при следующем уроке, к удивлению моему, пришла совсем другим путем и особенными комбинациями к тому же самому выводу“. Малевич признается, что, когда он указал на несколько окольный характер пути, избранного ученицей, юный математик покраснел и заплакал: „но, — прибавляет он — это были первые и пос-

* Теперь Патибино перешло в другие руки; по отзыву М. И. Семеновского, дом и сад запущены (*Русск. Старина*, дек. 1890, стр. 713)

ледные слезы ученицы за уроком во все время моего девятилетнего преподавания“*. С Малевичем С. В. Ковалевская прошла всю геометрию и алгебру; он же преподавал и другие предметы, кроме языков. С. В. Ковалевская характеризует своего учителя, как человека „тихого и знающего“, который „давал превосходные уроки“.

Да будет позволено привести из прелестного рассказа покойной одну страницу — единственную, кажется, страницу, посвященную математике**. О первых проблесках интереса к этой науке она упоминает впервые, говоря о своих детских беседах с любимым дядей Петром Вас. Корвин-Круковским, великим начетчиком.

„Хотя он математике никогда не обучался, но питал к этой науке глубочайшее уважение. Из разных книг набрался он кое-каких математических сведений и любил пофилософствовать по их поводу, причем ему часто случалось размышлять вслух в моем присутствии. От него услышала я, например, в первый раз о квадратуре круга, об асимптотах, к которым кривая постоянно приближается, никогда их не достигая, о многих других вещах подобного же рода, смысла которых я, разумеется, понять еще не могла, но которые действовали на мою фантазию, внушая мне благоговение к математике, как к науке высшей и таинственной, открывающей перед посвященными в нее новый чудесный мир, недоступный простым смертным.

„Говоря об этих первых моих соприкосновениях с областью математики, я не могу не упомянуть об одном очень курьезном обстоятельстве, тоже возбудившем во мне интерес к этой науке.

„Когда мы переезжали на житье в деревню, весь дом пришлось отделать заново и все комнаты оклеить новыми обоями. Но так как комнат было много, то на одну из наших детских комнат обоев нехватило, а выписывать-то обои приходилось из Петербурга; это было целой историей, и для одной комнаты выписывать решительно не стоило. Все ждали случая, и в ожидании его эта обиженная комната так и простояла много лет с одной стеной, оклеенной простой бумагой. Но, по счастливой случайности, на эту предварительную оклейку пошли именно листы литографированных

* *Русск Старина*, дек. 1890, стр 639—640.

** *Вестн. Европы*, июль 1890, стр. 97—98.

лекций Остроградского о дифференциальном и интегральном исчислении, приобретенные моим отцом в его молодости

„Листы эти, испещренные странными непонятными формулами, скоро обратили на себя мое внимание. Я помню, как я в детстве проводила целые часы перед этой таинственной стеной, пытаюсь разобрать хоть отдельные фразы и найти тот порядок, в котором листы должны бы следовать друг за другом. От долгого, ежедневного созерцания, внешний вид многих из формул так и врезался в моей памяти, да и самый текст оставил по себе глубокий след в мозгу, хотя в самый момент прочтения он и остался для меня непонятным

„Когда много лет спустя, уже пятнадцатилетней девочкой я брала первый урок дифференциального исчисления у известного преподавателя математики в Петербурге, Александра Николаевича Страннолюбского, он удивился, как скоро я охватила и усвоила себе понятия о пределе и о производной — „точно я наперед их знала“. Я помню, он именно так и выразился. И дело, действительно, было в том, что в ту минуту, когда он объяснял мне эти понятия, мне вдруг живо припомнилось, что все это стояло на памятных мне листах Остроградского, и самое понятие о пределе показалось мне давно знакомым“.

В 1866 г. С. В. Ковалевская с матерью и старшей сестрой ездила впервые за границу, а потом жила в Петербурге, где брала уроки математики. В сентябре 1868 г. в Палибине отпразднована ее свадьба с Владимиром Онуфриевичем Ковалевским. Немедленно после свадебного обеда, новобрачные отправились в Петербург, а потом за границу. В это время план серьезных научных занятий был уже намечен. Довольно характерен тот эпизод, что, познакомившись заочно, письмами, с Ю. В. Лермонтовой (занимавшейся химией), С. В. Ковалевская нарочно приехала из Петербурга в Москву познакомиться с родителями последней и „выпросить“ у них за границу свою новую подругу. Обе приятельницы поселились в Гейдельберге, где С. В. Ковалевская в течение двух лет посещала математические лекции в университете. В 1872 г. мы находим ее опять в Германии, в Берлине. Слушать лекции здесь она не могла, по правилам университета; но знаменитый математик проф. Вейерштрасс, заинтересованный ее познаниями, предложил ей всякое содействие, и по нескольку раз в неделю она пользовалась его беседами.

С этих пор Ковалевская начинает интересовать своими успехами и русскую, и немецкую публику. В 1874 г. Геттингенский университет. по защите диссертации (Zur Theorie der partiellen Differentialgleichungen), признает ее доктором философии. В 1879 г. она делает сообщение на VI съезде естествоиспытателей в Петербурге, в 1883 г. — на VII съезде в Одессе.

В 1881 г. талантливый и предприимчивый муж С. В. Ковалевской, уже имевший громкую известность натуралист, был избран в доценты Московского университета, по кафедре геологии и палеонтологии, поселился в Москве, с женой и малолетней дочерью. В это время С. В. Ковалевская избрана в члены Математического общества (17 марта 1881 г.). В эту пору я познакомился с Ковалевскими, бывал у них (они жили в Петровских линиях) и радовался приятному знакомству, живой и разнообразной беседе мужа и жены, их умению найти общие интересы с собеседником. Но недолго продолжалась оседлая жизнь даровитой четы. Весной 1883 г. В. О. Ковалевский погиб безвременной смертью.

Оставшись вдовой, С. В. Ковалевская переселяется в 1884 г. в Стокгольм, где, по рекомендации Вейерштрасса, получила кафедру математики в университете (Högskola), с обязательством читать лекции первый год по-немецки, а потом по-шведски. Она быстро акклиматизируется в новой стране, быстро овладевает языком в такой степени, что вскоре печатает по-шведски не только работы по математике, но и беллетристические вещи, к которым всегда чувствовала склонность. (Стихи она писала еще ребенком.) Среди шведской публики она становится популярной. Шведские газеты с любовью поминают ее, называя „наш профессор Sonya“.

Несколько раз бывала С. В. Ковалевская в России. У меня сохранилась записка ее (с поклонами от „наших стокгольмских физиков“ и от общих знакомых в Париже), писанная летом 1887 г., когда Ковалевская заезжала в Москву и провела несколько недель на даче в Семенкове, у Лермонтовых. (Меня она не застала в Москве, и мне не пришлось повидать ее еще раз.)

В Стокгольме начинается вполне самостоятельная жизнь Ковалевской, начинается и ее более солидная известность в ученом мире, основанная уже не на интересе к женщине-математику, а на внутреннем достоинстве работ. В 1888 г. эта известность становится общеевропейской. В числе оче-

редных премий на 1888 г. в Парижской академии наук, премия Бордэна (prix Bordin), возвышенная до 5000 фр., требовала: „Perfectionner en un point important la théorie du mouvement d'un corps solide“. Комиссия* единогласно присуждает премию автору сочинения под девизом: „Dis ce que tu sais, fais ce que dois, advienne que pourra“. По вскрытии пакета с именем автора, провозглашается Софья Ковалевская (24 декабря н. ст. 1888). „Ce remarquable travail, — говорят академические судьи, — contient la découverte d'un cas nouveau dans lequel on peut intégrer les équations différentielles du mouvement d'un corps pesant, fixé par un de ses points. L'auteur ne s'est pas contenté d'ajouter ainsi un résultat du plus haut intérêt à ceux qui nous ont été transmis sur ce sujet par Euler et par Lagrange; il a fait de la découverte que nous lui devons une étude approfondie dans laquelle sont employées toutes les ressources de la théorie moderne des fonctions. Les propriétés des fonctions θ à deux variables indépendantes permettent de donner la solution complète sous la forme la plus précise et la plus élégante“**. Сочинение Ковалевской по определению Академии напечатано в *Mémoires des Savants Etrangers*.

В следующем году (1889), за два сочинения, стоящие в связи с предыдущей работой, Ковалевская получила премию от Стокгольмской академии (1500 крон), а 29 декабря 1889 избрана членом-корреспондентом Петербургской академии наук.

Скончалась С. В. Ковалевская неожиданно, в полном расцвете духовных сил, после немногих дней болезни. Проведя прошлую зиму на юге Франции, она 23 января (ст. ст.) вернулась в Стокгольм, а через два дня, прочитав первую лек-

* Commissaires MM Maurice Lévy, Phillips, Resal, Sartau; Darboux rapporteur

** *Comptes Rendus de l'Acad. des Sciences*, t CVII, p 1042 (24 décembre 1888) („Эта замечательная работа содержит открытие нового случая, когда можно проинтегрировать дифференциальное уравнение движения тяжелого тела, закрепленного в одной из своих точек. Автор не удовлетворился тем, что он таким образом прибавил высоко интересный результат к тем, которые были достигнуты Эйлером и Лагранжем, но на почве своего открытия сделал глубокое исследование, в котором применяются все ресурсы современной теории функций. Свойства функции θ от двух независимых переменных позволяют придать полному решению форму, наиболее точную и наиболее элегантную“)

цию, слегла в постель. Быстро развилось воспаление легких, вероятно, вследствие слишком резкого переезда на север, среди суровой зимы, а 29 января 1891 г. ее не стало. 4 февраля совершенно отпевание по православному обряду, и гроб опущен в могилу на новом кладбище (Nya Kyrkogården), при большом стечении публики, в том числе академиков, профессоров, студентов. Наш бывший товарищ М. М. Ковалевский и ректор Стокгольмского университета г. Миттаг-Леффлер сказали приветствия; приведу слова последнего, по русским газетам. „От имени Стокгольмского университета, от имени работников на поприще математических наук во всех странах, от имени всех близких и далеких друзей и учеников — обращаюсь я к тебе с последним прощанием и благодарностью. Благодарю за глубину и ясность, с которыми ты направляла умственную жизнь юношества, за что потомство, как и современники, будут почитать твое имя. Благодарю за те сокровища дружбы, которыми ты оделяла всех близких твоему сердцу“.

После покойной осталась дочь, Софья Владимировна, 12 лет.

Специальные труды С В Ковалевской по математическим наукам будут предметом двух последующих рефератов. Я же напому в заключение, что в последние годы жизни покойная проявила выдающийся литературный талант. По-русски ею напечатаны: „Воспоминания о Джордже Элиоте“ (*Русская Мысль*, июнь 1886), „Воспоминания детства“ (*Вестник Европы*, июль и август 1890), особенно обратившие на себя внимание — этюд „Три дня в крестьянском университете в Швеции“ (*Северный Вестник*, декабрь 1890) и два очерка в *Русских Ведом.* 1888 г („В больницах La Charité и La Salpêtrière“). Сверх того она напечатала несколько повестей на шведском языке: „Сестры Раевские“, (переделка „Воспоминаний“), „Vae victis!“ и отрывок из большого романа „Семья Воронцовых“, под псевдонимом Тани Раевской. Это последнее произведение, по словам английского некролога, окончено автором и вполне приготовлено к печати.

Эту двойственность вкусов, это колебание между математикой и литературой, покойная очень метко объясняет в письме к г-же Шабельской*. „Я понимаю, что вас так

* *Русские Вед.* 5 февр. 1891 г.

удивляет, что я могу заниматься зараз и литературой, и математикой. Многие, которым никогда не представлялось случая более узнать математику, смешивают ее с арифметикой и считают наукой сухой и aride. В сущности же это наука, требующая наиболее фантазии, и один из первых математиков нашего столетия говорит совершенно верно, что нельзя быть математиком, не будучи поэтом в душе. Только, разумеется, чтобы понять верность этого определения, надо отказаться от старого предрассудка, что поэт должен что-то сочинять несуществующее, что фантазия и вымысел — это одно и то же. Мне кажется, что поэт должен только видеть то, чего не видят другие, видеть глубже других. И это же должен математик. Что до меня касается, то я всю мою жизнь не могла решить, к чему у меня больше склонности — к математике или к литературе. Только что устанет голова над чисто абстрактными спекуляциями, тотчас начинает тянуть к наблюдениям над жизнью, к рассказам, и наоборот, в другой раз все в жизни начинает казаться ничтожным и неинтересным и только одни вечные, непреложные научные законы привлекают к себе. Очень может быть, что в каждой из этих областей я сделала бы больше, если бы предалась ей исключительно; но тем не менее я ни от одной из них не могу отказаться совершенно“.

Этими скромными словами покойной о себе закончим наш бледный очерк, спешно составленный по немногим источникам, бывшим под рукой.

Г. ф.-ГЕЛЬМГОЛЬЦ

Биографический очерк и общая характеристика *

Мм. Гр.

Как ближайший организатор ряда лекций, открываемого профессорами Московского университета в честь своего почетного сочлена Германа фон-Гельмгольца, считаю долгом прежде всего разъяснить мотивы и план нашего предприятия.

31 (19) августа нынешнего (1891) года исполнится семьдесят лет жизни великого ученого и учителя многих поколений. Блестящие труды его наполняют собою половину XIX столетия ** и составят крупную долю в том наследии, какое наш век передаст векам грядущим.

Ввиду того, в Берлине еще истекшею зимой образовался комитет, который вскоре стал международным. Приглашение почтить маститого деятеля, покрытое 170 подписями ученых Европы и Америки, предполагает увековечить в мраморном бюсте внешний облик чествуемого и основать фонд для *международной медали имени Гельмгольца*, которая будет присуждаться за выдающиеся исследования по тем областям науки, где работал Гельмгольц, без различия национальности авторов.

Упреждая действительный юбилей, мы желаем заранее и в более удобное для того время познакомить не специалистов со значением работ Гельмгольца и во-время внести московский вклад в пользу учреждаемого фонда ***.

* Публичная лекция, читанная 4 апреля 1891 г. в Физической аудитории Московского университета.

** Докторская его диссертация появилась в 1842 г.

*** Сроком поступления взносов назначен был конец апреля нового стиля. Лекция читана 4, 7 и 11 апреля 1891 г.

Гельмгольц дорог нам не только как гениальный ученый: он — в то же время самый заслуженный из современных насадителей науки вообще, и в частности — в нашем отечестве. Многие десятки русских натуралистов и врачей, получивших известность своей общественной деятельностью и учеными трудами, обязаны своим специальным образованием Гельмгольцу. Значение его в качестве международного учителя, думаю, ни для одной страны (кроме родной ему Германии) не было так велико, как для России.

Долгие годы руководя лабораториями — сперва как физиолог, потом как физик, — Гельмгольц производил неотразимое влияние своей могучей личностью на молодых людей, отовсюду стекавшихся к нему на выучку. „Кто раз пришел в соприкосновение с человеком первоклассным, у того духовный масштаб изменен навсегда, — тот пережил самое интересное, что может дать жизнь“... Эти слова говорил сам Гельмгольц, вспоминая о своем учителе Иоганне Мюллере; эти слова повторит каждый из его учеников при мысли о Гельмгольце.

Но не только специалиста-исследователя, специалиста-учителя мы чтим в том человеке, именем которого призываем вас на наши беседы. Перед нами явление вполне исключительное, натура истинно титаническая — человек первоклассный из первоклассных. Тут действительно есть место для чествования международного и всенародного, для горячего и восторженного привета, — не только от ученых, не только от учеников, но и от всех тех, кому — выше всех специальных отраслей человеческого знания — дорог *разум*, породивший знание, дорог *идеал человека*, как воплощенной разумности.

Сперва практический врач, потом, поочередно, профессор анатомии и патологии, физиологии, физики — гениальный физиолог и физик с глубоким фондом математических познаний — Гельмгольц является, прежде всего, представителем единства и цельности *естествознания* в гораздо большей мере, чем некогда был знаменитый Гумбольдт. Прибавим, что в наше время, вследствие особенно быстрого роста отдельных частей естествоведения, такая универсальность — не дилетанта, не компилятора, а *исследователя*, пролагающего новые пути — стала много труднее, чем полвека тому назад и, казалось бы, далеко не по силам одной личности.

Но и этого мало. Необычайная разносторонность этой феноменально одаренной природы, его глубокое философское образование, его живое чутье к поэзии и искусству, ко всему, что возвышает и красит жизнь, — все это дает особый колорит научному творчеству Гельмгольца, особый вес его словам, даже вне широкого круга естественных наук. Наряду с „логической индукцией“, столь характерной для естествознания, он обладает в высокой степени и той, по его собственному выражению, „художественной индукцией“ (künstlerische Induction), которая проявляется в созданиях искусства. „Взгляд художника — тот взгляд, который таких людей, как Гёте и Леонардо да-Винчи, и в науке приводил к великим идеям, — должен быть у всякого истинного исследователя“, — говорит сам Гельмгольц; и сам он служит живым образцом этого дара.

Среди своих ученых трудов он берется порой за те именно, особенно сложные вопросы, где естествознание не довлеет самому себе и соприкасается с циклом наук о духе. Никогда до Гельмгольца вторжение натуралиста в область психологии и искусства не было сделано так властно, так твердо и в то же время с таким тонким чувством меры, никогда не сопровождалось оно таким блистательным и бодрящим душу успехом. В этом отношении, среди разнообразных трудов Гельмгольца, его исследования *о зрении* и *о слухе* представляются мне наиболее оригинальной частью его вклада, центральным пунктом его научного подвига.

Уже собрание популярных лекций и речей Гельмгольца (Vorträge und Reden) дает понятие об этой универсальности автора. Нельзя перечитывать без наслаждения эти художественные эскизы. Одни из них посвящены более специально работам самого Гельмгольца по физике и физиологии, с отступлением в область психологии и эстетики, живописи и музыки. В других — автор бросает взгляд на широкие задачи культуры: то говорит он о взаимном отношении различных наук, то о свободе университетов; там следит за историей медицинского мышления, здесь анализирует Гёте как поэта-натуралиста. И везде слово его веско, трезво и глубоко.

Вот эта-то *универсальность* представляет особенно характерную и удивительную сторону чествуемого нами ученого. Среди растущих усложнений человеческой культуры, среди бесчисленных разветвлений науки, техники и всех сторон деятельности человека, жизнь каждого проходит

в узких рамках, уподобляя его одному колесу в бесконечно сложной машине. Счастлив тот, кто с любовью выполняет свое скромное дело; но потребность широких взглядов и симпатий неизгладима и драгоценна. Это не одна, так сказать, физиологическая потребность отдыха и разнообразия, не только голос умственной гигиены: это — законное стремление духа жить цельной жизнью и жизнью целого, чувствовать себя не пассивным, а разумным соучастником в общей работе. Не без борьбы, не без припадков уныния, стараешься примирить в себе частное с общим. И здесь-то люди, которые, благодаря особой даровитости, служат живым примером такого примирения, — люди, подобные Гельмгольцу, — получают особую цену в наших глазах. Глядя на них, видишь воочию осуществление заветного идеала, видишь, что многосторонность не всегда есть бесплодный дилетантизм, что упорное изучение специальных задач не закрывает душу для широких горизонтов.

Не всякий, даже специалист-естествоиспытатель, охватит во всем объеме и с ясной оценкой тот ряд трудов, который явился плодом неустанной 50-летней деятельности такого колоссального ума. Каждый из нас, присяжных представителей науки, взявшихся говорить о Гельмгольце, детально разучил лишь ту или другую часть его богатого творения. Но всякому полезно и радостно знать, до какой широты духовного развития способен подняться человек, как бодро, умело и успешно справляется он с океаном окружающих его вопросов, догадок и сомнений, внимательно всматриваясь в мелочи и не теряя из виду общих перспектив. Всякому поучительно познакомиться и с самым содержанием этой работы: в ней выразился наш момент в истории мысли, широкий умственный охват истекающего XIX столетия.

Задачей последующих лекций будет — очертить в отдельности главнейшие из научных работ Гельмгольца. Некоторые из них, как было указано, представлены в сжатой и общедоступной форме в его „Vorträge und Reden“. Акустические исследования обработаны в великолепной книге „Учение о слуховых ощущениях“, доступной для всякого любителя серьезного чтения. Указание на эти источники пусть облегчит и дополнит нашу работу. Но если живое слово, освещение его опытом или рисунком и некоторая систематизация материала помогут вам в усвоении общих результатов ученой деятельности Гельмгольца, то наш труд не будет лишним.

В предстоящие три вечера придется ограничиться самыми общими очерками: более подробное изложение потребовало бы гораздо более продолжительного времени.

Мне остается указать на внешние черты жизни Гельмгольца и проследить общий ход его научных исследований.

Длинных биографических указаний я не могу предложить. Не извне, а изнутри богата эта жизнь.

Герман-Людвиг-Фердинанд фон-Гельмголец родился 31 (19) августа 1821 г. в Потсдаме, где отец его, Фердинанд Гельмголец, был учителем гимназии. Мать, Каролина, урожденная Пенн, происходила из английской семьи, выселившейся в Германию. Скромные средства отца побуждали дать сыну медицинское образование. С 1838 г. молодой Герман, в качестве воспитанника (*élève*) медико-хирургического института, слушает лекции в Берлинском университете. Уроки знаменитого Иоганна Мюллера привлекают его особенно к изучению анатомии и физиологии. 2 ноября (21 октября) 1842 г. Гельмголец получает степень доктора медицины, по защите диссертации „*De fabrica systematis nervosi evertibratorum*“ и становится ординатором в берлинской больнице *Charité*, а в 1843 г. — военным врачом в Потсдаме. В 1848 г., уже по издании своей брошюры „*Ueber die Erhaltung der Kraft*“ (1847 г.), полагающей начало его знаменитости, он приглашается в Берлин ассистентом при анатомическом музее и преподавателем анатомии при академии художеств, а в следующем 1849 году — профессором физиологии и общей патологии (сперва экстраординарным, а с 1852 г. — ординарным) в Кенигсбергском университете. В 1855 г. он переходит на ту же кафедру в Бонн, а в 1858 г. в Гейдельберг, где остается до 1871 года.

На это время профессорства в Кенигсберге, Бонне и Гейдельберге (1849—1871 гг.) приходится наибольшее число работ Гельмгольца, которые, возникая большей частью на почве физиологии чувств, переходили в область чистой физики и даже теоретической механики. Все это время Гельмголец руководит физиологическими работами (особенно в Гейдельберге, где при нем открыто новое здание физического и физиологического институтов, так называемое

„Friedrichsbau“)*, и большое число биологов и врачей (в том числе много русских) перебивали в его школе**.

С 1870 г. Берлинский университет начинает притягивать к себе лучшие научные силы Германии. Два гейдельбергских корифея — сперва Гельмгольц (1871 г.), а потом и Кирхгоф — перешли в Берлин, и только третий из знаменитой триады, Бунзен, остался верен берегам Неккара.

В Берлине Гельмгольц, уже давно знаменитый как физик, впервые выступает официально профессором этой науки. Первые годы ему приходится действовать в сравнительно небольшой и неудобной лаборатории, устроенной при его предшественнике Магнусе в главном корпусе университета. Лаборатория Магнуса*** была *первой*, по времени основания, университетской лабораторией для физики в Европе****, и Гельмгольц — вторым ее руководителем. В 1874 г. для физического и физиологического институтов при Берлинском университете открыто новое здание (на углу Dorotheenstrasse и Neue Wilhelmstrasse), стоившее до 7 миллионов марок, — до сих пор величайший и роскошнейший из институтов этого рода.

В Берлине деятельность Гельмгольца, понятно, принимает несколько иной характер, и учениками его являются уже исключительно молодые физики*****. Тяжелый труд руководства физическим институтом Гельмгольц несет до 1888 г., а потом, оставаясь профессором физики и сдав институт перешедшему из Страсбурга в Берлин профессору Кундту, назначается президентом вновь устроенного „Physikalisch-technische Reichsanstalt“ в Шарлоттенбурге (близ Берлина). Это — государственная лаборатория для исследований и измерений (между прочим, для выверки мер, весов и других

* В 1875 г. физиологический институт вновь переселился в отдельное здание.

** Из русских: проф. Е. Адамюк, проф. Н. Бакст, М. Воинов (ум.), проф. Л. Гиршман, проф. И. Догель, проф. В. Дыбковский (ум.), проф. Ф. Заварыкин, проф. А. Иванов (ум.), С. Ламанский, проф. Е. Манделъштам, В. Розов (ум.), проф. И. Сеченов, проф. А. Ходин, проф. Ф. Шереметевский (ум. 1891 г.), проф. Э. Юнге и др. (Не ручаемся за полноту списка.)

*** Прежде того она помещалась на квартире Магнуса (на улице Kirfergraben).

**** Если не считать геттингенской, специально устроенной для магнитных наблюдений.

***** Из русских: проф. П. Зилов, проф. Р. Колли (ум. 1891 г.), В. Мичельсон, проф. А. Соколов, проф. Н. Шиллер и др.

эталон), не имеющая педагогического характера, — нечто в роде северского „Bureau des Poids et Mesures“.

Излишне говорить, что Гельмгольц состоит членом всех главных академий Европы и имеет множество почетных отличий всякого рода: эти титулы ничего не прибавляют к блеску такого имени *. В 1883 г. он возведен германским императором в дворянство — почеть, весьма ценная в Германии, — и с тех пор именуется фон-Гельмгольц.

Гельмгольц женат во втором браке. Супруга его известна как переводчица нескольких популярных книг, по естествознанию (под инициалами А. Н.). В 1889 г. он имел несчастье потерять сына Роберта, в самом начале его ученой карьеры, обещавшего стать выдающимся физиком.

Говоря о деятеле, столь многообъемлющем и еще современном, трудно проследить генезис его работ; руководясь хронологическим порядком и внутренней связью их, можно сделать лишь некоторые общие замечания и догадки.

В своем первом периоде (1842—1871 гг.) Гельмгольц является *физиологом* по преимуществу, не только по занимаемой кафедре, но и по общему течению своих работ. Не опуская из виду задач физиологической динамики и глубоких вопросов о деятельности органов чувств, он как бы по пути дает первоклассные исследования в области механики и физики.

С одной стороны, его — как и другого, дорогого физикам врача (Ю. Р. Майера), — вопросы о животной теплоте, о химических процессах в живом и мертвом организмах, подводят к великому „началу сохранения энергии“ **. Это начало, в смысле общего *физического* закона, которому

* В эпохи самого страстного шовинизма в Германии Гельмгольц ни разу не позволял себе тех резких выходов против Франции, от каких несвободны даже люди как Вирхов, Дюбуа-Реймон, Штраус. В прошлом (1890) году, присутствуя как делегат Берлинского университета на праздновании 600-летия университета в Монпелье, он был предметом восторженных оваций со стороны французов.

** В своих первых трудах Гельмгольц говорит о сохранении силы (*Erhaltung der Kraft*), условно употребляя слово *сила* в том смысле, для которого несколько позже вошел в употребление термин *энергия*.

подчиняются *все* явления природы, как безжизненной, так и живой, входит в сознание именно в 40-х годах, с реформой учения о теплоте, вызванной в особенности опытами Джауля. Подготовлен этот закон был издавна на тесной почве механики; но всеобщую применимость его впервые смутно почувствовал Майер, и в строгой форме выразил Гельмгольц, в то время еще 26-летний потсдамский врач; о размышлениях Майера он не знал, и лишь к концу своего труда познакомился с первыми опытами Джауля. С тех пор начало сохранения энергии, подкрепляемое самыми разносторонними исследованиями, постепенно получает значение надежной путеводной нити для всего естествознания.

Важное значение Гельмгольца в открытии этого закона вполне бесспорно, хотя сам он определяет свою роль как „научное формулирование“ закона. Но и теперь еще встречаются порой недоразумения. Одни (даже сам Майер!) находят, что закон высказан еще Гюйгенсом, без малого за двести лет. Теорему абстрактной механики о том, что силы известного характера удовлетворяют так называемому „уравнению живых сил“, смешивают при этом с утверждением физики, что *все* силы в природе *действительно* таковы, какими условно предполагались в теореме. Другие, чувствуя, что сказано что-то новое, но видя, что мысль старая, а фактов новых не прибавлено,—недоумевают, в чем же именно *открытие*? В том, что старые факты подведены под старую идею? Да; *только* в том, что теперь *все* старые факты подведены под идею, найденную когда-то для *немногих*, и твердо высказано убеждение, что все новые подойдут под нее же, что и оправдывается с тех пор на каждом шагу. Кажется, немного, а на самом деле — колоссальное открытие. „В типографских кассах наборщика,—говорит Гельмгольц,—свалена вся мудрость мира, все, что уже открыто и что может быть открыто когда-либо; надо *только* суметь подобрать буквы“.

Насколько *новыми* казались эти *старые мысли* в сороковых годах, видно из того, что статью Гельмгольца „Ueber die Erhaltung der Kraft“ не решился поместить редактор специально физического журнала (Поггендорф), и молодой врач напечатал ее отдельной брошюрой (1847 г.)*. Впо-

* 23 июля (н. ст.) 1847 г. статья сообщена в Берлинском физическом обществе, возникшем в 1845 г. из кружка молодых физиков, собиравшихся у Магнуса. Гельмгольц был одним из членов-осно-

следствии этот небольшой этюд (72 страницы) стал началом европейской славы автора.

Далее, занятия нервной системой и ее отправлениями (начиная уже с докторской диссертации) ведут Гельмгольца двумя длинными путями, через механику и физику, к исчерпывающей разработке учения о зрении и о слухе.

Идя по *первому* пути, он мимоходом дает физике исследование о смещении цветов, доказательство видимости ультрафиолетовых лучей, опровержение брюстерова учения о тройном составе спектра и великолепные физико-математические главы своей „Физиологической оптики“ (Handbuch der physiologischen Optik, 1-е изд. начато 1856, кончено 1867 г., 2-е изд. печатается теперь). Эта объемистая книга (около 900 страниц) содержит полный свод литературы предмета, и нет в ней страницы, куда гений автора не внес бы нового освещения: удивительное слияние кропотливого труда и глубокой оригинальности. Здесь нашли место все те исследования Гельмгольца, которые произвели эпоху в офтальмологии: его глазное зеркало (1851 г.), позволившее рассматривать внутренность глаза; теория аккомодации (приспособления глаза к расстояниям); учение о цветовых ощущениях; анализ движений глаза и пр. Изучение психической стороны зрения приводит Гельмгольца, в отдельных этюдах, к вопросам об основных аксиомах геометрии.

Другой путь ведет нашего исследователя в область слуховых ощущений. Находя крупные недочеты в физической теории распространения звука, он разрабатывает заново теорию звучащих труб, дает новый взгляд на „биения“ и на „комбинационные тоны“ и открывает новую категорию этих последних. Тут же, вероятно тоже по пути, возникают классические исследования по гидродинамике вообще, в том числе знаменитый мемуар о вихревых движениях жидкости (1858 г.). В предмете, занимавшем Лагранжа и Эйлера, Гельмголец сумел найти новую сторону, разработал ее с замечательной наглядностью и изяществом и дал тему для многих позднейших изысканий*. Проникая, далее, в физиологическую сторону акустики, Гельмголец доказывает

вателей этого общества и много лет участвовал в его издании „Fortschritte der Physik“ своими превосходными рецензиями.

* Упомянем об остроумной гипотезе В. Томсона, по которой атомы обыкновенного вещества суть вихри некоторой совершенной жидкости, наполняющей вселенную.

способность уха анализировать звук на „простые тоны“, устанавливает объяснение „тембра“ звуков (впервые наметенное Омом), иллюстрируя его искусственным синтезом гласных букв, и подвергает подробному обзору роль частей слухового органа.

Здесь мы подходим к преддверию музыкального искусства. Упомянутые факты дают Гельмгольцу возможность формулировать решение загадки, ведущей начало от Пифагора: как и почему мы ощущаем консонанс и диссонанс музыкальных звуков? Обладание техникой и литературой музыки позволяет автору не ограничиться общими чертами разъяснения: он с любовью и мастерством развивает его в приложении к вопросам о гаммах и аккордах, о ведении голосов и гармонизации, пропагандирует возвращение к натуральному строю и полагает краеугольный камень для будущей „физиологической теории музыки“. Все это изложено в трактате „Учение о слуховых ощущениях как физиологическая основа для теории музыки“ (*Die Lehre von den Tonempfindungen, als physiologische Grundlage für die Theorie der Musik*, 1-е изд. 1863 г., 4-е изд. 1877 г.). Об этой книге без преувеличения сказано, что она дает для акустики то, что ньютоновы „Principia“ дали для астрономии.

Рядом с разработкой двух фундаментальных вопросов физиологии чувств — науки, можно сказать, созданной Гельмгольцем, — он, в связи с некоторыми исследованиями по электричеству, впервые измеряет быстроту, с которой распространяется раздражение по нервам, — время, в течение которого чувственное впечатление доходит до сознания, импульс воли передается мускулам. Нет надобности говорить о важности и оригинальности этого результата. Существовавший предрассудок о крайней скорости таких процессов был опровергнут рядом простых и убедительных опытов.

В позднейшем, берлинском периоде своей деятельности (с 1871 г.), Гельмгольц сосредоточивается на науках собственно физических. За эти 20 лет мы имеем ряд исследований по теории электричества, новое освещение трудных вопросов электрохимии и термохимии, новые работы по механике, теорию аномальной дисперсии света, исследовании об энергии ветра и волн и пр. В беглом очерке трудно даже обозначить сколько-нибудь яснее темы этих работ. Укажу только, что своими критическими трудами по электродинамике Гельмгольц способствовал падению теории

„действий на расстоянии“; его собственная теория электричества примыкает к идеям Фарадея и Максвелла, вводя участие „среды“ (эфира). Остановившись, далее, на некоторых загадочных явлениях при электролизе (разложении жидкостей электрическим током), он упорно работает над этими вопросами (с 1873 г.) и по поводу их развивает (1882 г.) весьма важный „принцип свободной энергии“, вытекающий из двух основных законов механической теории теплоты; этому принципу, несомненно, предстоит широкая роль в физической химии.

Работы Гельмгольца с 1842 по 1882 г. (кроме упомянутых отдельных книг по оптике и акустике) собраны в двух больших томах „Wissenschaftliche Abhandlungen“.

Такова в беглом очерке деятельность человека, которого — так же как и Ньютона — справедливо можно назвать „украшением рода человеческого“*.

* *Humani generis decus* (слова из эпитафии Ньютона в Вестминстерском аббатстве).

РАБОТЫ ГЕЛЬМГОЛЬЦА ПО АКУСТИКЕ *

Мм. Гг.

Не легко в одной лекции дать понятие о такой книге, как гельмгольцово „Учение о ощущениях тонов“. Я сделаю центральным пунктом моего очерка вопрос о причине консонанса и диссонанса звуков.

Еще Пифагор заметил, что когда две струны звучат в консонанс — в октаву, квинту, кварту, — то длины струн относятся как простейшие числа: 1:2, 2:3, 3:4. Новая физика, исследуя дрожание звучащих тел, заменила этот закон более общим: *периоды колебаний* относятся как простые числа (в случае струн эти периоды пропорциональны длинам).

Но почему простота числового отношения отвечает приятно созвучию, почему уклонение от этой простоты дает ощущение беспокойного, как бы болезненного характера? Этот вопрос и в новейшее время оставался в тумане слов. Так, Лейбниц говорит, что „музыка есть тайное и бессознательное упражнение души в арифметике“. Почти ту же мысль подробнее развивает Эйлер; мы прямо чувствуем больший или меньший порядок в комплексе звучных волн, поражающих наше ухо. Но какие имеем мы пути, чтобы чувствовать здесь простоту или порядок? Ощущение звука ничего не говорит нам даже о существовании колебаний и волн; музыкальное ухо могло ни разу не слышать курса физики. Наконец, почему слегка расстроенная квинта не так приятна, как совсем фальшивая, тогда как *простота отношений* в первом случае нарушена еще больше?

* Публичная лекция, читанная 7 апреля 1891 г. в Физической аудитории Московского университета.

Эта загадка составляет центр гельмгольца исследования. Чтобы подойти к ее решению, вспомним основные факты акустики.

Известно всякому, что звучащее тело находится в дрожании. Дрожания или колебания, периодическая смена давлений, распространяющихся до наших чувственных нервов, — таков внешний объект, лежащий в основе большинства наших ощущений: слуха, зрения, отчасти осязания. Без колебаний природа была бы мрачна, нема и холодна для нас — лучше сказать она не могла бы быть предметом ясных ощущений. Колебание становится *звуком*, когда затронет слуховой нерв, *светом* — будет зрительный, и т. д. *Ощущения* получаются вполне разнородные, несравнимые; но это зависит от разнородности не внешних процессов, которые могут быть сходны, а тех *приемников* в чувствующем организме (нервов), которые при этом возбуждаются.

Посредником между звучащим предметом и органом слуха обыкновенно служит воздушный океан, которым омываются и тот и другой; в духовых инструментах и звучащим телом служит отдельная порция воздуха. Толчками дрожащей струны или воздуха органной трубки порождаются *волны* в окружающем воздухе; эти волны, идя во все стороны дальше и дальше, доходят до уха и приводят его части в колебание, подобное тому, какое происходит в звучащем теле.

Звук становится *музыкальным*, если колебание повторяется много раз в правильном, строго периодическом порядке; иначе мы ощущаем, шум, стук и пр. Чтобы ощущаться как звук, колебание не должно повторяться ни слишком редко, ни слишком часто: примерно не меньше 20 раз в секунду, не больше 40 000 раз; иначе мы его не услышим. Звуки, употребительные в музыке, дают от 40 до 4500 колебаний в секунду. Чем больше число колебаний (чем меньше продолжительность или *период* одного колебания), тем звук выше. Эта „сирена“ (рис. 4) — любимый музыкальный инструмент физиков — покажет, как повышается тон с возрастанием числа колебаний. Вставленная в акустический мех,

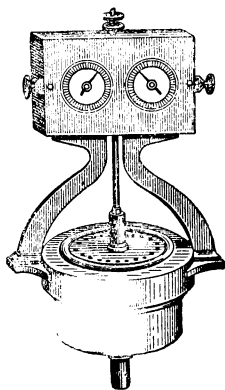


Рис. 4.

откуда, действуя педалью, я выпускаю сильную воздушную струю, сирена начинает петь. Воздушная струя вертит крышку сирены, имеющую несколько — положим 20 — отверстий и лежащую над подобной же неподвижной крышкой, причем то запирает себе выход наружу, то открывает. Наружный воздух получает таким образом по 20 толчков в течение каждого оборота крышки, и мы получаем звучную волну. По мере того как крышка вертится быстрее и быстрее, звук от низких



Рис. 5.

нот переходит к более и более высоким. До предела высоких нот, т. е. до колебаний столь частых, что они уже не слышны, я не дойду таким путем. Другой маленький снаряд, особого рода свисток (рис. 5), даст мне более высокие звуки. Это — маленькая трубочка, которую я могу сделать длиннее и короче и к которой присажен резиновый шар: сжимая воздух в последнем и сокращая длину трубочки, я получаю все более и более высокий писк; под конец он слышен только вблизи, а потом не слышен даже мне самому (слышен только шум сжимаемого шара)

Ряд восьми камертонов различной величины, укрепленных каждый на резонансовом ящике (рис. 6), дает мне некоторые из этих звуков, так сказать, фиксированными. Каждый раз, когда я — руками, молоточком или смычком — привожу в качания самый большой из этих камертонов, он дает мне одну и ту же ноту do_2 , совершая при этом 128 качаний в секунду. Это число качаний можно с точностью сосчитать особыми способами. Второй, меньшего размера камертон дает верхнюю октаву предыдущего звука, do_3 (256 кач.); третий — квинту второго звука, sol_2 (384 кач.); четвертый — кварту третьего или вторую октаву первого, do_4 (512 кач.); пятый — большую терцию четвертого, mi_4 (640 кач.); шестой — малую терцию пятого или октаву третьего, sol_4 (768 кач.); и т. д. Эти числа — числа качаний моих камертонов — относятся как 1 : 2 : 3 : 4 : 5 : 6 : 7 : 8; но

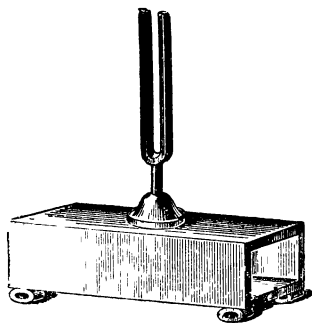


Рис. 6.

этот ряд мог бы быть продолжен. Музыкальные обозначения этих звуков и соответственные числа колебаний показаны на прилагаемом чертеже*.

1	2	3	4	5	6	7	8
Do_2	Do_3	Sol_3	Do_4	Mi_4	Sol_4	$La_4^{\sharp+}$	Do_5
128	256	384	512	640	768	896	1024

Кроме *высоты* мы различаем *силу* звука. Она зависит не от числа качаний, а от величины размахов звуковой волны в нашем ухе, а это значит — от величины размахов звучащего тела и от его расстояния от уха. Сотрясая камертон сильно или слабо, слушая его вблизи или издали, я получаю ту же самую ноту, только она звучит то громче, то тише.

Наконец, всякий знает, что одна и та же нота, взятая на рояли, скрипке, флейте, у того или другого певца, имеет особый *оттенок* или *тембр*. В чем состоит эта разница, увидим дальше.

Я сказал, что звук приносится в ухо воздушной волной. Слово *волна* взято от всем знакомого процесса, наблюдаемого на воде то в виде мелкой ряби, то в виде гигантских валов. Бросая камень в воду, мы видим вокруг места удара кольцообразный вал, он как бы раздвигается, становясь шире и ниже, пока не потеряется из виду или не наскочит на преграду, которая отбросит его назад. Это движение вала вдоль воды есть видимость; каждая капля воды поднимается вверх и падает вниз, в стороны разносится только толчок изнутри кольца наружу; всякий вал, возникая и сглаживаясь на одном круге, становится причиной подъема

* Строй этих камертонов и всех вообще ниже упоминаемых инструментов несколько ниже, чем принятый у музыкантов: среднее la (la_3) нормального музыкального строя имеет 435 качаний, тогда как для наших камертонов оно соответствовало бы 427. Знаком \sharp обозначаем, что звук несколько выше, чем обозначено нотой.

и падения следующего, и г. д. Повторяя удары камнем в такой такт, чтобы поддержать в месте удара периодическое качание воды вверх и вниз, мы вызовем ряд водяных колец, как бы бегущих друг за другом. В каждом из них есть *вал* (подъем) и *дол* (углубление), расстояние от одной вершины до следующей есть *длина волны*; с каждым новым ударом одна волна как бы замещает другую, т. е. подвигается на длину волны.

Волна воздушная аналогична водяной, но не вполне. Верхняя кривая линия *a* (рис. 7) изображает ряд невысоких волн

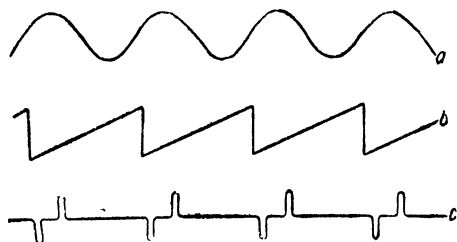


Рис 7.

на воде (мы ее и на зываем *волнистой* линией). Вообразим себе, что эти волны придавлены сверху и сглажены, но так, что жидкость не подалась в стороны: где был подъем, там жидкость сгустилась, где был дол волны, там не произошло сгущения;

вместо валов и долин будут поочередные изменения плотности. Мы получим идею о том, что делается в воздухе вокруг звучащего предмета; но надо еще прибавить, что волны воздушные бегут не горизонтально только, а и вверх, и вниз, и во все стороны, стелются не кругами, а шарами.

Тот же чертеж может изображать нам эти невидимые волны воздушных сгущений, но не как *рисунок*, а как *символ*, всякий подъем на чертеже надо понимать как подъем плотности (а следовательно, и давления); где подъем выше, там соответственно сгустился воздух, поднялось его давление. В *этом* смысле мы будем говорить о *форме* воздушных волн.

В числе этих форм, которые могут быть бесконечно разнообразны, есть одна, особенно плавная и вполне симметричная: ее изображает верхняя кривая *a*. Такую звучную волну в воздухе дает каждый из наших камертонов. Но струна скрипки даст волну формы *b*: здесь плотность воздуха расгет медленно, потом падает сразу. Струна цитры пошлет волну формы *c*: плотность повышается и падает

короткими толчками, а в промежутках остается без перемены.

Вот эти-то особенности в *форме* звучных волн, соответствующие особенностям в *форме* колебаний звучащих тел, должны быть, так или иначе, причиной различия в *тембре* звука. Все три волны имеют одинаковую длину (и одинаковое число колебаний), у всех одинаковые размахи — и тем не менее они ощущаются различно. Чем плавнее форма волны, тем мягче тембр; чем она угловатее, тем он резче, острее.

Но каким путем мы можем ощущать это различие? Этот вопрос, *вопрос о тембре*, очень важен для нашей цели.

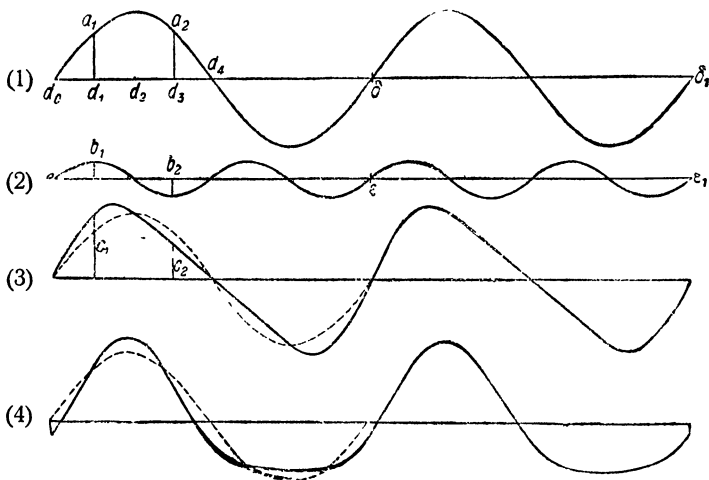


Рис. 8.

Чтобы подойти ближе к нему, поговорим о так называемом *наложении волн*.

Всего проще иметь в виду волны на воде; что скажем о них, прилагается и к волнам воздушным.

Когда идут две, три волны, то они *налагаются* одна на другую. Если одна имеет (рис. 8) форму (1), другая — форму (2), то обе вместе дадут новую форму (3), которая представляет как бы наложение одной волны поверх другой: каждая точка формы (2), например точка b_1 , ляжет настолько выше или ниже соответственной точки a_1 кри-

вой (1), насколько на отдельном чертеже она лежала выше или ниже среднего уровня. Результатом этого и является составная волна (3); при другом относительном расположении двух составляющих волн (1) и (2), из них получилась бы волна вида (4) или еще какая-либо другая.

Таким образом могут наслаяться или налагаться не только две, но и сколько угодно волн. При этом, как говорят в математике, приходится *алгебраически складывать* отдельные подъемы (т. е. действительные *подъемы* прибавлять, а *спуски* вычитать). Короче сказать, волна по волне идет так же, как и по гладкой поверхности.

Эти явления легко наблюдать на море. Но здесь дадим слово Гельмгольцу.

„Это поучительное зрелище, — говорит он, — я всегда наблюдал с каким-то особенным наслаждением, ибо здесь наглядно представляется телесному оку то, что в случае звучных волн, пересекающих воздух, открывается лишь умственному оку математика-мыслителя... Часто проводил я часы в таком созерцании на крутых, лесистых берегах Балтийского моря.

„Редкий день не увидишь тут в несчетном множестве ряды волн, различной длины, распространяющиеся по различным направлениям. Самые длинные идут обыкновенно с открытого моря на берег; там, где крупные волны раздробляются прибоем, возникают более короткие, идущие обратно в море. Иной раз ударит на воду хищная птица и вызовет ряд колец, которые, перепрыгивая поверх других валов зыбкой поверхности, стелются также правильно, как бы на тихом зеркале озера. Таким образом перед наблюдателем — начиная с далекого горизонта, где появление белых гребней пены на синестальной поверхности впервые обличает наступающие ряды валов, и кончая берегом у ног, где волны чертят на песке свои дугообразные следы, — развертывается величавая картина необъятной силы и вечно нового разнообразия — картина, которая не смущает, а приковывает и возвышает душу, ибо глаз легко находит в ней порядок и закон.

„Подобным образом вы должны представлять себе воздушное море концертной или танцевальной залы: оно — не по поверхности только, а по всем своим направлениям — пересечено пестрой толпой перекрещивающихся волн. Из

рта мужчин идут крупные волны 6—12 футов длиной, из уст женщин более короткие, $1\frac{1}{2}$ —3 фута. Шуршание платьев вызывает мелкие вихри воздуха, всякий тон оркестра посылает свои волны, и все эти системы волн распространяются шарообразно вокруг своих исходных пунктов, пробираются одна сквозь другую, отражаются стенами залы, и так ходят вперед и назад, пока, наконец, не погаснут, пересиленные вновь возникшими волнами.

„Это зрелище закрыто для телесного глаза; но другой орган помогает нам разобраться в нем — наше ухо. Оно *разлагает* смесь волн — смесь гораздо более сложную, чем волны моря, — разлагает ее вновь на отдельные тоны, из которых она сложилась; ухо различает в ней голоса мужчин и женщин, голоса отдельных лиц, звуки различных инструментов, шелест платья, шум шагов, и т. д.“

И воздушные волны, как морские, *суммируются*, налагаются одна на другую в каждой точке воздушного пространства, налагаются и в ухе слушателя. В результате воздух слухового канала совершает *одно* движение. Это одно движение мы должны снова *разложить* ухом, чтобы разобраться в нашем ощущении, чтобы распознать отдельные звуки порознь. При этом ухо стоит в гораздо более неблагоприятных условиях для такого анализа, чем глаз: глаз обзревает сразу всю волнуемую поверхность воды, а ухо может ощущать лишь движение смежного с ним воздуха. И тем не менее ухо совершает этот анализ весьма точно, легко и уверенно.

Эта *способность анализа*, присущая уху, крайне важна для нас. Что такая способность *есть*, видно уже из сказанного. Мы увидим, что она есть в большей мере, чем обыкновенно думают.

Возвратимся к формам волны. Я уже упомянул, что звучащая волна каждого из наших камертонов изображается особого рода, плавной и симметричной, кривой линией (математики называют ее *синусоидой*); таковы верхние кривые на рис. 7, а и рис. 8, (1) и (2). Волны 1-го, 2-го, 3-го и т. д. камертона будут отличаться между собой тем, что их зигзаги становятся все мельче и мельче, так что на одной и той же длине приходится 1 зигзаг одной, 2 зигзага другой, 3 — третьей и т. д. (рис. 9).

Волны *такой* (синусоидальной) формы мы назовем — пока условно — *простыми* волнами, а соответственные звуки — *про-*

стыми тонами. Ряд простых волн, которых числа колебаний относятся как $1:2:3:4:\dots$, называется *гармоническим* рядом, причем первая волна (низшая по числу колебаний, соответствующая числу 1) называется *основной*, а прочие (2, 3, 4, ...) *верхними гармоническими*.

Если к звуку низшего камертона, дающего основной тон (у нас $do_2 = 128$ кач.), прибавим звук 2-го (256 кач.), то ясно, что периодичность останется прежняя и теперь, как прежде, некоторое движение повторяется 128 раз в секунду. Но это повторяемое движение будет уже иное, — форма

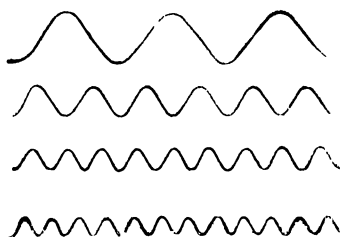


Рис. 9

волны изменилась, волна приняла, например, форму (3) или (4) рис. 8. Точно так же, прибавляя звук 3-го или любого из следующих камертонов, одного или нескольких, мы не нарушим прежнего периода: он попрежнему будет зависеть от *основного* тона; мы изменим только форму волны. Напротив, период волны не сохранится, если к основному

тону мы прибавим такой, которого число качаний относится к числу качаний основного тона, как $2^{1/2}:1$, или $3^{1/2}:1$, или $\sqrt{2}:1$, и т. п. *.

Таким образом из смеси гармонических простых волн *слагается* всегда такая волна, которой период соответствует основной волне гармонического ряда.

Таким путем, т. е. прибавляя верхние гармонические тоны, в разной силе и числе, к тону основному, я могу бесконечно разнообразить форму звучной формы, не меняя ее периода. Механика доказывает, что *большого разнообразия и быть не может*, что все формы волны исчерпываются указанным приемом, что любую из них можно воспроизвести при помощи более или менее длинного ряда гармонических волн. Так, например, формы *b* или *c* (рис. 7) можно (и притом *одним*, вполне определенным способом) составить посред-

* Нетрудно сообразить, что в первом из этих примеров от прибавки наложения верхней волны период удвоится, во втором — утроится, а в третьем — движение потеряет строго периодический характер

ством наложения на форму a подобных ей гармонических синусоид, подбирая их с определенными ширинами размаха (амплитудами) и помещая одну поверх другой в определенном положении.

Мы теперь понимаем, почему первая из этих волн (a , рис. 7) названа *простой*: все прочие способны образоваться из простых через наложение, способны разлагаться на простые, — все они суть *сложные* волны. На глаз форма b , например, может казаться проще, чем a ; но она не могла бы послужить для построения всех прочих форм, и с точки зрения механики она не есть простейшая.

Но волна сложной формы, например (2) или (3) на рис. 8, может получаться от *одного* источника, например, от одной струны. В этом случае мы можем сказать, что такая струна дает собственно не одну простую волну, а несколько простых волн сразу — основную и верхние гармонические.

Различие звуковых волн a , b , c (рис. 7) мы ощущаем как различие тембра. Не в том ли дело, что мы *порознь* ощущаем все те простые волны, какие имеются в воздухе, *порознь* слышим те простые тоны, какие каждой из них соответствуют? Не *анализируем* ли мы при этом *сложный* звук, как анализирует сложную волну механика? Не ощущаем ли сложный звук как *аккорд* нескольких простых тонов?

Встречается ли подобный анализ звука у безжизненных предметов? Встречается — в виде так называемого *отзвука* или *резонанса*. Всякий знает, что стекла окон порою дребезжат от *некоторых* звуков улицы, не откликаясь на другие. Сильной и выдержанной нотой своего голоса певец может разбить стакан, приведя его в сильную вибрацию. Поднося один из моих камертонов к органной трубе, звучащей в унисон его, я слышу, что камертон тоже начал звучать; теперь труба умолкла, а камертон явственно гудит.

Всякое тело имеет один или несколько *собственных тонов*, которые легко из них вызвать и которые, раз они вызваны, сравнительно долго длятся сами собой. Если воздушная волна приносит откуда-либо колебания в ритм такого собственного тона, тело мало-помалу раскачивается из покоя и воспринимает такие же качания — оно *откликается* на внешний звук. Если этот последний не попадает в ритм собственных тонов тела, тело молчит. Так слабой силой

можно раскачать гяжелый колокол, если позаботимся под-
талкивать его *во-время* — так, чтобы каждый новый толчок
поощрял уже зародившееся движение, а не гасил его.

Таким же *резона-*
тором, откликающим-
ся на определенный
тон, может еще легче
служить воздушная
масса; но она гудит
только в то время,
пока длится возбуж-
дающий ее звук. Во-
оружив ухо одним из

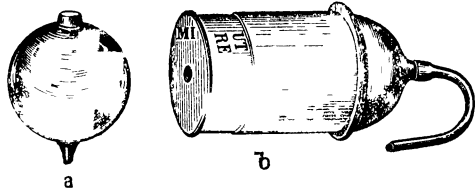


Рис. 10.

этих полых шаров, имеющих одно отверстие к уху, другое
наружу (рис. 10, *a*), я буду особенно чуток к собственному
тону шара, и всякий раз, как этот тон зазвучит где-
нибудь, отдельно или в смеси с другими тонами, я услышу
его с особенной силой, даже если он слаб, даже если смесь очень
сложная

Здесь у меня кол-
лекция таких *резона-*
торов Гельмгольца,
лежащих отдельно. В
этом аппарате (рис 11)
насажена подобная же
коллекция резона гор
несколько иной формы
(рис. 10, *b*): удлинняя
или укорачивая, я могу
их *настраивать*, т. е
менять несколько их
собственные тоны. Та-
кой аппарат послужит
нам *анализатором*
звуков и сделает этот
анализ видимым для

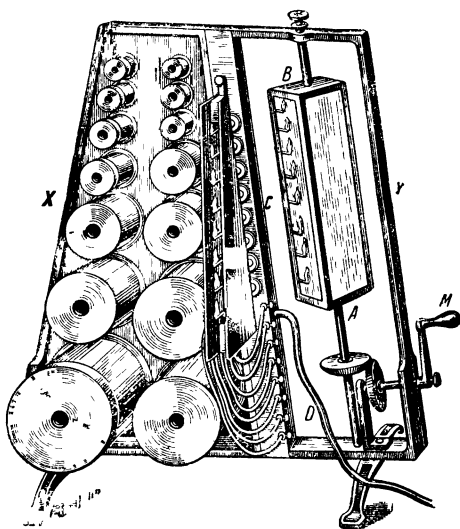


Рис. 11.

глаза. Рукав *D* сообщен с газопроводом и доставляет
светильный газ в камеры, отделенные от резонаторов
тонкими, упругими перегородками; из этих камер газ
выходит наружу сквозь тонкую трубочку, и здесь его зажи-

гают. Каждому резонатору придан теперь газовый огонек, на который действует звучная волна этого резонатора: огонек, в ритм волны, то вытянется, то присядет, повторяя это с каждым отдельным колебанием воздуха. Вращая ручкой *M* четырехгранное зеркало *AB* снаряда, я вижу отражение огонька в виде прямой огненной ленты, если он не дрожит, — в виде ленты зазубренной (рис. 12), если он возбужден звучной волной. Эти резонаторы настроены теперь так, чтобы откликаться на ноту sol_1 (96 качаний) и ее гармонические: самый большой резонатор (ему принадлежит нижний огонек)

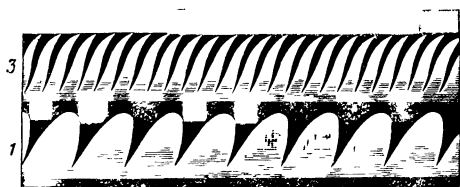


Рис. 12

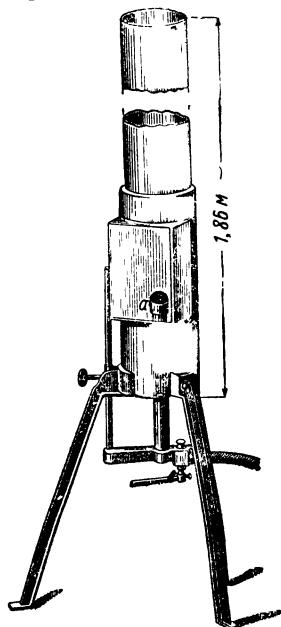


Рис. 13.

имеет тон sol_1 (96); второй снизу — тон sol_2 (192); третий — re_3 (288) и т. д.

1	2	3	4	5	6	7	8
Sol_1	Sol_2	Re_3	Sol_3	Si_3	Re_4	Mi_4+	Sol_4
96	192	288	384	480	576	672	768

Заставим гудеть вот эту длинную (почти 2 метра) трубу (рис. 13). Для этого я зажгу внизу нее (у *a*) сильное газовое пламя; сотрясая воздух в трубе, оно заставит ее звучать на sol_1 (96). Верху зеркало нашего анализатора и вижу, что нижний огонек дает крупные зазубрины; но при этом и верхние огоньки также дрожат (зубцы здесь все мельче

и мельче: на рис. 12 изображены зубцы нижнего и третьего снизу огонька). заключаем, что в этом *одном* (повидимому) звуке *одного* инструмента присутствуют *все* эти тоны — sol_1 , sol_2 , re_3 и т. д. Это — звук *сложный*, и мы узнаем его состав. Стоит только расстроить один из резонаторов — и он перестает откликаться на трубу.

Вместо того чтобы *смотреть* на это дрожание, я мог бы *слышать* эти отдельные тоны, если бы приставил ухо к тому или другому резонатору.

Поднося к анализатору звучащий камертон sol_3 , я вижу, что дрожит только *один* огонек: здесь тон *простой*. Поднося камертон do_3 , я не вижу нигде дрожащего огонька: на этот тон в снаряде нет сочувственного резонатора.

Такими путями мы приходим к следующим заключениям:

1) Только некоторые тела (например наши камертоны с ящиками) издают по *одному простому* тону и вызывают в воздухе *простую* волну.

2) Струны, трубы и другие собственно музыкальные инструменты звучат *сложными* звуками, и эту сложность можно обличить и анализировать.

3) Различие в составе звука всегда сопровождается различием тембра, т. е. формы волны.

Мы видим, что наши резонаторы разлагают звук на простые тоны; что ухо, вооруженное резонаторами, замечает эти тоны порознь в сложном звуке. Но не так ли действует ухо и *всегда*, даже невооруженное? Не в том ли состоит ощущение различий тембра, что ощущаются одновременно *порознь* все элементы, т. е. все простые тоны данного звука?

Эту догадку высказал впервые Ом. Гельмгольц оправдал ее самыми разносторонними аргументами, решил окончательно вопрос об ощущении тембра и на нем основал решение вопроса о консонансе.

В 40-х годах вопрос о тембре особенно живо дебатировался. *Зеебек* полагал, что ухо непосредственно ощущает *форму* волны; Ом — что мы бессознательно *анализируем* волну на простые волны и *каждый тон* слышим отдельно.

Это не просто спор о словах. Я сказал, что различие в *составе* звука всегда сопровождается различием в *форме* волны. Но нельзя сказать наоборот. Из тех же двух волн

мы можем получить две различные формы сложной волны, смотря по тому, как наложена одна на другую. Так, из сложения основной волны с 1-й гармонической может получиться либо форма (3), либо (4), рис. 8. По Зеебеку, мы *должны* бы различать эти два результата по тембру; по Ому — не должны. Гельмгольц доказал, что правда на стороне Ома.

Мы имеем ряд гармонических камертонов на ноту *do*, и можем из них *составить* подобие сложных звуков. Гельмгольц делал подобный *синтез тембров*; но для этой цели камертоны у него имели особые приспособления, чтобы звук держался без ослабления, чтобы можно было сделать его сильнее или слабее, и т. д. Такой аппарат дал Гельмгольцу возможность подражать тембрам органа, струнных инструментов и человеческого голоса

В *голосе* разница тембра, т. е. состава звука, выражается иногда под особым видом — под видом разных *гласных букв*. Когда мы поем на *ту же ноту* букву *у*, *о*, *а*, — к тому же основному тону примешивается большее или меньшее число высоких тонов: этого мы достигаем, изменяя форму полости рта, которая смотря по этому, является резонатором то для тех, то для других тонов, и их усиливает. Своим снарядом, состоящим из гармонических камертонов, Гельмгольц подражал гласным буквам: смесь тонов звучала то на *у*, то на *о*, на *а*, и т. д. Я не могу показать этого аппарата, но укажу на два простые опыта.

Открыв крышку рояля и подняв демфер (прижав педаль), я прошу одного из наших студентов-певцов пропеть над струнами звуки: *у*, *о*, *а*. Каждый раз инструмент откликается *той же буквой*. Откликается не дерево, а *струны*: при опущенном демфере, когда струны заглушены, отголоска нет. В чем дело? — Каждая гласная сотрясает известное число струн, совместное звучание которых и дает звук этой гласной. Это — тоже способ анализа: заметив, какие именно струны резонируют, я заключил бы о том, какие тоны содержатся в пропетой гласной.

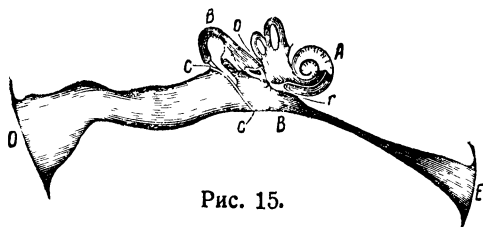
Другой опыт даст мне трубка (рис. 14), снабженная шаровидным придатком, который, как полость рта при пении, я могу больше или меньше прикрывать. С полным отверстием я имею звук в роде *а*; закрыв на половину, получу *о*;



Рис. 14.

закрыв почти совсем, имею у. Смотря по свойству резонатора, усиливаются те или другие из тонов трубы: это-то и нужно для перемены гласной

Мы пришли к выводу, что ухо способно анализировать звук на простые ноты. Но каким образом может происходить такой анализ?



Нет ли в ухе такого анализатора, каким является наш аппарат с огоньками или наша рояль, т. е. нет ли в ухе коллекции резонаторов, способных порознь откликаться

(дрожать) на различные ноты? Допустим, что это так, что в ухе, в микроскопических размерах, есть такие отдельные части, что каждая отдельно передает свое раздражение одному из концов слухового нерва: мы тогда поймем возможность этого анализа. Но придется допустить, что таких отдельных частей — назовем их условно, для краткости, „слуховыми струнками“ — в ухе имеется несколько тысяч. Похоже ли это на правду? Напомним в двух словах строение уха. Войдя в наружный слуховой канал D (рис. 15), звучная волна сотрясает дно его — барабанную перепонку ss.

Дрожания этой перепонки, через посредство слуховых косточек, передаются жидкости и твердым частям внутреннего уха, лабиринта, где расстилаются окончания слухового нерва B так называемой улитке A

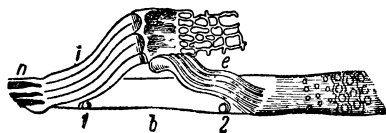


Рис. 16.

нерв дает множество ветвей вдоль спиральной перепонки, которая своим волокнистым строением и своими придатками (кортиевы волокна) действительно напоминает ту арфу или то пианино, какое требуется для анализа звука. На рис. 16 выделена поперечная полоска b этой перепонки с примыкающими к ней волокнами Корти (i, e); n — окончание нерва. Эти-то волокна Корти, а также волокна той перепонки, по которой они размещены, по мнению Гельмгольца, служат для анализа звука, они-то играют роль „слуховых струн“. Число этих

элементов действительно достаточно для анализа слышимых нами звуков. Таким образом мысль о сходстве уха с нашими искусственными анализаторами звуков подтверждается и анатомией органа.

Эта мысль, как замечает сам Гельмгольц, есть дальнейший шаг к развитию учения И. Мюллера о *специфических энергиях нервов*. Как слуховой нерв ощущает *только* звук, зрительный только свет, так известный конец слухового нерва ощущает *только* определенный тон, приносимый ему особым восприемником, способным дрожать в этот тон. Подобное оказывается и для глаза по отношению к цветам хотя с некоторыми особенностями.

Но если есть поводы признать ухо анализатором звуков, не противоречат ли этому другие факты? Голоса отдельных лиц, отдельные инструменты оркестра, мы можем слышать порознь, а звук струны, трубы и пр. производит на нас, повидимому, одно цельное ощущение, примечается нами, как *один* звук, а не как аккорд *многих*.

Примечается, *воспринимается* (перцепируется) — да; но между восприятием и ощущением есть разница. Две картинки стереоскопа воспринимаются нами как один рельефный предмет; а в основе этого восприятия лежит сумма двух ощущений, полученных каждым глазом от соответственной картинки. До изобретения стереоскопа и не знали, что рельефность мы замечаем благодаря двум слегка различным ощущениям, которые одновременно вызываются предметом в правом и левом глазу.

Это — общий закон восприятий (перцепций), что мы обращаем внимание на наши ощущения лишь в той мере, в какой они служат нам для распознавания внешних предметов. Все, что не нужно для этой цели, нами, так сказать, игнорируется и примечается лишь при особых условиях. Так, мы не замечаем слепого пятна в нашем глазу и происходящего от этой причины пробела в видимой картине внешних предметов. Так мы не замечаем, что всю жизнь видим вдвойне все предметы, кроме того пункта, на который в данный момент устремлен наш взор, и тех, которые входят в состав так называемого горютера.

Тон струны является нам всегда с придатком верхних тонов: звук флейты, звук голоса дает нам другую привычную комбинацию тонов, другой аккорд. Для распознавания объективного источника этих звуков нам нет нужды разла-

гать каждое из этих явлений, примечать каждое элементарное ощущение порознь; такой анализ нам даже мешал бы — и мы читаем эти звуки сразу, как читаем слово в книге, не вникая в детали каждой буквы. Но при желании и усилении внимания мы можем отрешиться от этой привычки и выделить в перцепции то, что существует отдельно в ощущении.

Заметим, что ухо относится к тонам не так, как глаз к цветам. Известно, что белый цвет можно составлять из различных цветов; но и зная это, мы при всем внимании не можем заметить, составлен ли он в данном случае из синего с желтым, или из красного с зеленым, или из всех цветов спектра.

Мы услышим явственно отдельные верхние тоны нашей большой трубы, вооружая ухо соответственными резонаторами. Но если, напомнив себе таким образом характер этого тона, отнимем резонатор, то в общей смеси тонов этот продолжает явственно и отдельно гудеть.

Подобным образом легко приучить себя распознавать верхние тоны в звуках фортепиано. Возьмем do_3 — в нем звучат непременно и do_4 , и sol_4 , и do_5 , и mi_5 . Если напомним себе sol_4 соответственным клавишем, а потом возьмем do_3 , то заметим к концу звучания как бы переход в прежнюю ноту sol_4 . Подобным образом, напоминая себе mi_5 и потом взяв do_3 , мы услышим как бы возвращение к тону mi_5 . Таким образом последовательность нот



производит впечатление почти такое:



Что эти верхние ноты, слышимые после нижней (третьей ноты каждого такта), не простая иллюзия, — в этом убе-

димся, если действительно возьмем третью ноту ударом клавиша, продолжая держать вторую (нижнюю): вследствие неполного тождества между новым звуком и верхним тоном прежней ноты музыкальное ухо услышит между ними *биения* или *дрожания* (о которых будет речь далее *).

Подобные опыты требуют некоторой практики; но если ухо приучено, верхние ноты будут слышаться и без особого напоминания их ударом клавиша.

Струны скрипки особенно богаты верхними тонами (до 15), которые придают звуку острый тембр. В открытых трубах органа слышатся первые два из верхних тонов (октава и дуодецима), при сильном вдувании они могут даже преобладать. В закрытых трубах получаются только нечетные тоны (1-й, или основной, 3-й, 5-й).

Простые тоны, какие мы имели от наших камертонов, не употребляются в музыке: они также пресны и безвкусны, как химически чистая вода, — они бесхарактерны. Смысл этого замечания нам сейчас выяснится.

Изложенные соображения поясняют нам прежде всего причину *сродства* между известными музыкальными звуками. Всякому, даже немзыкальному уху замегно какое-то сходство между какой-либо нотой и верхней *октавой* этой ноты **.

Мы теперь легко поймем, в чем дело: раз это звуки сложные, октава является *повторением* части того, что было в прежнем звуке. Подобным образом *квинта*, хотя в более слабой степени, является повторением или воспоминанием основной ноты: ее 2-й тон есть повторение прежнего 3-го, 4-й повторение 6-го, и т. д. В *кварте* 3-й тон есть повторение прежнего 4-го, и т. д. Это видно

* Полного тождества между этими тонами нет даже на хорошо настроенном фортепиано, так как употребительный (равно-степенный) строй не вполне соответствует натуральным интервалам.

** Этим сходством затрудняется отыскивание *четных* верхних тонов (2-го, 4-го, 6-го) в опыте с роялем: их трудно отличить от основного тона и 3-го.

из следующих табличек, дающих числа колебаний основных тонов и верхних до 6-го:

	Октава		Квинта		Кварта	
	do_3	do_4	do_3	sol_3	do_3	fa_3
1.	256	512	256	384	256	341,3
2.	512	1024	512	768	512	682,7
3.	768	1536	768	1152	768	1024
4.	1024	2048	1024	1536	1024	1365,3
5.	1280	2660	1280	1920	1280	1706,7
6.	1536	3072	1536	2304	1536	2048

Приписывая ощущение каждого простого тона особой „слуховой струнке“, мы должны признать, что одна и та же „струнка“ поражается и той и другой нотой каждой пары: в этом и состоит сродство двух звуков. Степень этого сродства различна, смотря по числу общих тонов и по их важности в общем комплексе (т. е. по их силе): обыкновенно, чем выше по счету эти тоны, тем они слабее и тем слабее впечатление сродства, ими обуславливаемое.

Те же соображения подведут нас, наконец, к объяснению консонанса и диссонанса двух одновременно звучащих нот.

Возьмем два простые тона, очень близкие к унисону, но не вполне одинаковые. Их мы ощущаем без анализа — одной и той же „слуховой стрункой“: прочие „струнки“ слишком далеки от унисона, чтобы приходить в сотрясение. Но звучащая волна, порождаемая двумя близкими тонами в воздухе, будет иметь характер прерывистый: один звук, так сказать, перебивается другим, то подкрепляясь, то ослабевая. Такой же прерывистый характер получит и дрожание „слуховой струнки“. Применяя знакомое нам правило наложения волн, мы легко придем к этому результату. Так, например, для двух волн с числами колебаний, относящимися как 25:24 или как 81:80, формы сложной волны получатся в таком виде (рис. 17). Эта волна, то усиливающаяся, то гаснущая, — волна с *биениями*. Эти усиления и погашения, эти биения повторяются столько раз в секунду, какова разность в числах колебаний двух звуков (в наших примерах по одному разу).

Приведя в звучание два камертона строго унисонные, мы слышим ровный звук без биений. Заменяю один из них другим, дающим на 4 качания в секунду больше: слышу перерывы или биения, по 4 в секунду. Беру камертон еще

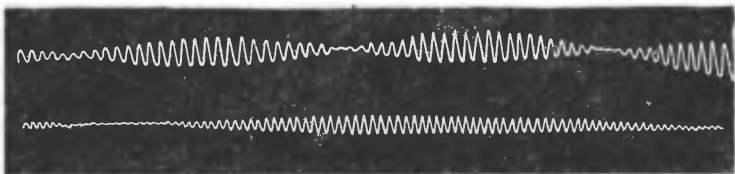


Рис. 17.

на 4 качания выше: слышатся биения более частые (по 8 в секунду). То же самое можем еще удобнее получить на трубах. У меня имеются две открытые трубы (рис. 18), которые сверху снабжены боковыми отверстиями и задвижками. Закрыв боковые отверстия и заставляя трубы звучать, я слышу ровный звук (строгий унисон); подвигая вниз задвижку одной трубы, так чтобы отверстие чуть-чуть открылось (этим я как бы укоротил трубу), слышу медленные биения. Продолжаю расширять отверстие: они становятся чаще и чаще. Теперь, наконец, их трудно считать или различать; но присутствие биений в большом числе дает звуку какую-то шероховатость: мы перешли из консонанса в *диссонанс*.

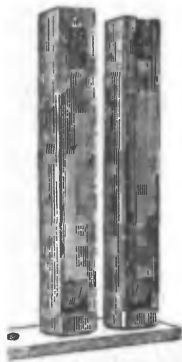


Рис. 18.

Пока биения были редки—2, 3, 4 в секунду, — неровность звука не мешала ясности ощущения. Но когда они слишком часты, мы слышим несвязные отрывки тона, теряется ясное представление о свойстве звука, наступает смутное чувство беспокойства—мы говорим, что звуки диссонируют. Ощущающая их „слуховая струнка“ и связанное с нею нервное окончание получают теперь *быстро прерывистое раздражение*.

Всякое *прерывистое* раздражение нерва действует сильнее, чем постоянное раздражение стимулом такой же силы. При постоянном раздражении нерв вскоре „притупляется“,

становится менее чувствительным. Но в случае перерывов чувствительность его успевает восстановиться, благодаря притоку свежей крови, и новое раздражение действует с новой силой. При достаточном учащении перерывов ощущение становится сильным до болезненности. Но при слишком большом учащении перерывы, понятно, становятся недействительными.

Мы знаем, как неприятен быстро мерцающий свет: знаем, что царапанье кожи ногтем гораздо больнее, чем постоянное давление в одном месте; знаем, что быстро переменные электрические токи сильнее действуют на организм, чем токи постоянные. Везде повторяется один и тот же закон.

Понятно, что и быстро бьющиеся, т. е. диссонирующие тоны, *терзают* чувствительное волокно нерва. Какое именно число биений действует всего болезненнее, это зависит от восприимчивости данной „слуховой струнки“ к соседним тонам, от быстроты восстановления чувствительности нерва и т. д. Но во всяком случае ясно, что когда тоны достаточно разошлись между собой, они будут ощущаться уже *различными* „струнками“, и терзания не будет, ибо каждый тон действует на *особый* приемник, и прерывистому раздражению нет места. Опыт показывает, что в средних октавах всего мучительнее числа биений, близкие к 33 (в секунду), и что при числе более 130 ощущение биений исчезает. Это число 33 соответствует приблизительно интервалу „большого полутона“ в соседстве нормального la_3 (435 кач). В нижних октавах то же число 33 соответствует большему интервалу, в верхних — меньшему. Потому наибольший диссонанс получается, смотря по высоте двух звуков, при различных интервалах; в нижних октавах малая и большая терция еще дают, при чистом строе, сильную неровность или шероховатость; в верхних октавах (около do_6) самый резкий диссонанс дает $1/10$ полутона.

Таким образом, насколько речь идет о *простых тонах*, диссонанс является следствием достаточно частых (но не слишком частых) биений¹⁾, причем один и тот же элемент уха, отзываясь на оба близкие тона, подвергается прерывистому, мерцающему раздражению. Физиологическая причина неприятности здесь та же, как и в соответственных случаях из области других чувств.

Но мы говорили здесь о двух *близких тонах*, и если бы все звуки были простыми, нельзя было бы ожидать диссо-

нанса в случае двух *отдаленных* нот, диссонанса при большом интервале Возьмем, например, do_3 (256) и do_4 (512). Разность чисел качаний здесь далеко выше 130; оба тона, конечно, воспринимаются различными „струнками“ уха; так будет и в том случае, если несколько изменим одно из этих чисел, т. е. расстроим интервал. Почему же фальшь в октаве слышится как диссонанс?

Здесь-то придется вспомнить о *сложности* музыкальных звуков. Диссонансы простых тонов, при большом интервале, действительно мало заметны, но звуки инструментов, употребляемых в музыке, суть звуки *сложные*.

Когда на скрипке, рояле, органе и т. п. берем, например, $do_3 = 256$ и *верную* октаву $do_4 = 512$, то эти тоны являются в сопровождении верхних гармонических (см. таблицку на стр. 296): мы имеем два аккорда, и так как числа биений для любой пары тонов слишком велики, эти аккорды будут звучать без помехи, без перебоя. Но если испортим октаву, например, понизив do_4 на малый полутон, то явятся пары тонов с числами биений 20, 41 и пр. Точно так же, повысив квинту на малый полутон, введем биения в числе 32, 64, 80:

	do_3		do_4		do_3		sol_3
1.	256	\nearrow 20,48	491,52		256		400
2.	512	\nearrow	983,04		512	\nearrow 32	800
3.	768	\nearrow 40,96	1474,56		768	\nearrow	1200
4.	1024	\nearrow 61,44	966,08		1024	\nearrow 80	1600
5.	1280	\nearrow	2457,60		1280	\nearrow 64	2000
6.	1536	\nearrow	2949,12		1536	\nearrow	2400

Таким образом *диссонанс в больших интервалах объясняется биениями верхних гармонических тонов.*

Эти биения верхних тонов, обыкновенно не замечаемые, выступают с поразительной ясностью, если воспользуемся мощным звуком нашего снаряда, возбуждаемого газом (см. рис. 13). На этот раз я ставлю над пламенем более короткую трубу, так что звучит *приблизительно* do_3 , не

вполне однако унисонное с нашим большим камертоном. Заставляя звучать оба снаряда, я слышу перебой звука, теперь бьется основной тон трубы с (единственным) тоном камертона, и это явление уже нам знакомо. Но вот я звучу камертоном do_3 — биения опять слышны, они стали вдвое чаще; на сей раз бьется do_3 камертона со вторым тоном трубы. Беру камертон sol_3 — биения опять слышны и стали еще чаще; в них участвует третий тон трубы и т. д. Звук камертона сравнительно слаб и заглушается трубой, но он достаточен, чтобы превратить ровный звук трубы в звук прерывистый. Эта форма опыта дает едва ли не самое яркое доказательство существования верхних тонов.

Зная состав двух нот, можно обсудить а priori, насколько они будут консонировать. Надо написать ряд тонов для каждой, отыскать пары близких тонов в двух рядах; число биений в каждой такой паре (оно всегда равно разности чисел колебаний) будет давать элемент для диссонанса, если оно не слишком мало и не слишком велико. Если таких бьющихся тонов много, если они сильны и если числа биений не очень далеки от 33, диссонанс будет резкий.

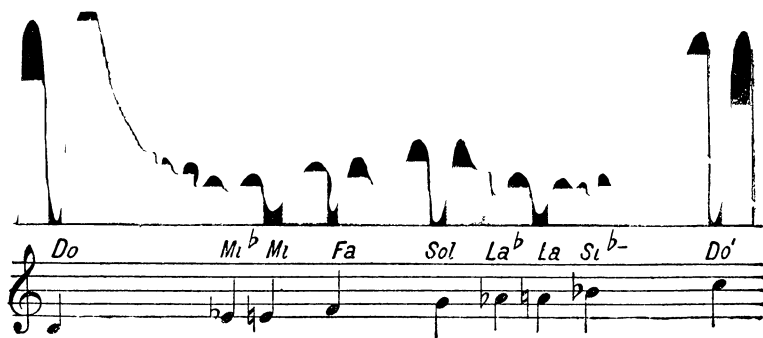


Рис. 19

Подобный расчет сделан Гельмгольцом, например, для струн скрипки. Пусть имеется нота do_3 и другая, которая от унисона возвышается постепенно до октавы (do_4). Разные точки горизонтальной линии (рис 19) пусть соответствуют разным высотам второй ноты. Степень неровности, зависящая от биений, пусть отмечается высотой перпендикуляра, поставленного над этим местом. Получается кривая линия,

которая образует подъем там, где неровность звучания велика, долину — где биения исчезают. Мы видим, что унисон и октава лежат в глубоких ущельях, окружены крутыми утесами: малейшее отступление от верного интервала будет ощущаться как диссонанс. Почти так же низко углублена чистая квинта, хотя здесь берега долины уже не так круты и высоки. Вообще все долины образовались именно там, где музыкальное ухо находит консонанс, и чем глубже долина, чем круче подъемы вокруг, тем консонанс полнее, а малейшая фальшь в интервале чувствительнее.

Один взгляд на этот теоретический чертеж убеждает, что точка зрения Гельмгольца приводит к заключениям, совершенно совпадающим с музыкальной практикой.

Нужно прибавить еще только два замечания. *Во-первых*, мы не все еще приняли в расчет. Если звучат два тона, и притом сильно, то ими порождаются новые тоны — так называемые *комбинационные* — с числами колебаний, равными *сумме* и *разности* чисел колебаний двух нот. Например, от do_3 (256) и sol_3 (384) рождаются do_2 (128) и mi_4 (640). *Разностные* тоны были открыты музыкантами Зорге и Тартини, а *суммовые* — самим Гельмгольцом. При полной оценке консонанса по биениям надо и эти ноты брать в соображение. Отдельно и явственно слышать разностные тоны легко, суммовые трудно. Заставив звучать трубу sol_3 , я потом прибавлю звук трубы do_4 , — и одновременно с ее высоким тоном загудел какой-то более низкий, которого не содержится ни в том, ни в другом звуке, когда они звучат порознь: это комбинационный тон ($do_2 = 128$).

Прежде суммовых тонов не знали, а разностные считались результатом биений. Гельмголец дал им новое объяснение, обнаружив несостоятельность прежнего взгляда.

Во-вторых, мы приняли, что в большом интервале два звука могут диссонировать только благодаря верхним тонам. Но от наших камертонов получаются, как мы принимали, тоны простые; отчего же и здесь слышится диссонанс септимы, фальшивой октавы и пр.?

На это есть ответ. При сильном звучании и от камертонов получаются следы гармонических верхних тонов*.

* От камертонов получаются еще *негармонические* верхние тоны, но они быстро замирают.

Кроме того оказывается, что сильный тон, — даже если он, объективно говоря, строго простой, — *в самом ухе*, благодаря строению этого органа, вызывает верхние тоны. Эти факты стоят в связи с новой теорией комбинационных тонов. Этим объясняются результаты, полученные известным строителем акустических инструментов Кёнигом: желая повторить опыты Гельмгольца с очень сильными звуками и погрешив при этом против правила: *pas trop de zèle*, Кёниг пришел к выводам, по его мнению, несогласным с гельмгольцовой теорией, а на самом деле ею предусмотренным.

Вот в главных штрихах гельмгольцова теория консонанса. В основе ее лежат два факта физические — сложный состав звуков и явлений биений, и два факта физиологические — способность уха к анализу сложного звука и действие прерывистых раздражений. Ни время, отмеренное на лекцию, ни размер моих музыкальных сведений не позволяют углубиться в подробности и следствия, исчерпанные Гельмгольцом в его чудной книге, и я могу только еще раз порекомендовать ее всякому интересующемуся акустикой и музыкой.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ СЛОВА ЦИКЛА ЛЕКЦИЙ О Г. ф.-ГЕЛЬМГОЛЬЦЕ *

Мм. Гг.

Мы кончили наш посильный труд. Благодарим вас за участие к нашему делу. Быть может, мы утомили вас, стараясь дать сколько-нибудь точное представление о плодотворной и многосторонней деятельности Гельмгольца. Мы были возможно кратки; но такова обширность темы, что и теперь, к концу третьего вечера наших задлившихся бесед, многое осталось невысказанным.

Мы желали поставить на первый план те прямые и окончательные приобретения науки, которыми мы обязаны Гельмгольцу; мало и изредка намекали мы на то, что развито другими на путях, им проложенных; оставили вовсе в стороне то, что рисуется лишь в первых намеках, как дальнейшее обобщение, которого еще не может вполне гарантировать современная наука. Сколько раз хотелось каждому из нас последовать за нашим автором и в эти еще более обширные сферы; сколько раз являлось искушение прочесть ту или другую из тех превосходных страниц, где великий мыслитель то рисует широкими чертами полную картину круговорота вещества и энергии во вселенной; то развивает космологическую гипотезу Канта и Лапласа в связи с принципом энергии, — расчисляя убыль энергии солнца и изыскивая возможные источники ее пополнения; то проникает со своим анализом в глубь психического мира, стараясь уловить первые основы логического мышления и эстетического чувства. Мы отказались от многих сторон этой более широкой

* 11 апреля 1891 г. в Физической аудитории Московского университета.

темы, — чтобы не затуманилась в беглом изложении граница между тем, что прочно добыто, и тем, что существует лишь в догадке.

Одну из характерных страниц нашего автора я позволю себе прочесть в заключение, тем более, что она мало кому известна, так как не вошла в собрание его речей и лекций. Пусть еще раз промелькнут перед нами некоторые из главных мотивов гельмгольцава творения — излюбленный круг идей и образов, которые встречались нам в его отдельных трудах.

„Как часто сравнивали человеческую жизнь с пламенем. И между тем, даже людям умным и образованным нелегко вполне усвоить себе важнейшую сторону этого сравнения. Что пламя — эта, повидимому, спокойно сохраняющаяся ткань мало изменчивой формы и состава — все вновь и вновь воссозидается из новых паров горящего масла и из вновь притекающего воздуха, что оно лишь вихрь, куда втягивается новое вещество, — в этом убеждает и ежедневный опыт, и подробное научное исследование. Но мысль, что человек именно в этом отношении имеет полнейшее сходство с пламенем, что и здесь непрерывная смена вещества не подлежит сомнению — кроме разве некоторых подчиненных органов, едва участвующих в жизненном процессе, каковы зубы и упругие волокна, — эта идея противоречит нашей привычке мысленно подстилать просто неизменную вещественную подкладку подо все, что сохраняется. В сущности же то, что сохраняется в человеке как индивидуум, — это не плоть, из которой он состоит в данное мгновение: на самом деле и он не что иное, как сохраняющаяся форма движения, вихрь, постоянно втягивающий в себя и выделяющий обратно все новое и новое вещество.

„Кроме пламени и вихря, физика показывает нам разные другие формы движения, которые, напечатлеваясь в веществе, непрерывно изменяющемся, тем не менее сохраняются с соблюдением тончайших своих особенностей. Когда световая волна прошла, в течение десятков и сотен лет, неизмеримый путь в мировом пространстве, ее образ колебаний изменился так мало, что, разложенная призмой, она дает нам точнейшее сведение о химической и физической природе своего источника. Еще знаменательнее в этом смысле то поучение, какое дает нам телефон, — поучение, которое, правда, и до изобретения этого снаряда могло бы сложиться в проникающей голове. Нервные раздражения говорящего или певца

порождают звук, т. е. упругие колебания воздуха; они распространяются, с точным соблюдением тембра, потом передаются — сперва магниту, затем медной проволоке телефона. В магните они становятся быстрыми переменами магнитности, в проволоке им соответствуют переменные токи электричества, род электрических волн. А на другом конце провода электрические колебания превращаются опять в магнитные, магнитные — опять в упругие колебания воздуха. Эти последние поражают ухо слушателя и становятся опять нервным раздражением. В конце концов тончайшие оттенки ощущения оратора или певца переходят в душу слушателя. Возбужденное движение сохранило все особенности формы, хотя тоекратно переходило на новое вещество и при этом вполне изменило свою сущность.

„Итак, формы движения могут сохранить свою особенность даже тогда, когда были вынуждены переходить в совершенно измененном виде на иную материю; они могут снова воскреснуть в прежнем виде, как скоро встретят прежние условия. Так учат нас даже эти сравнительно несложные физические явления“*.

Могучий вихрь, неустанно работающий над новым и новым материалом; яркое пламя, озарившее людям много сокровенного в мире внешнем и в мире внутреннем; стройный звук, который раздаётся на всю землю: такие образы невольно предносятся воображению, как эмблемы той плодотворной жизни, которой были посвящены наши беседы. Уже полвека длится, на виду у всех, эта работа, сияет этот свет, гремит этот голос — и бессмертие в памяти людской им обеспечено: дела такого деятеля пребудут вовеки, разрастаясь в новые победы разума над силами природы. Но пожелаем, чтобы эта энергия еще надолго сохранилась в той именно форме, в которой она так дорога нам и так родственна; пожелаем многие годы жизни великому Гельмгольцу. Еще в молодости он имел бы право применить к себе слова своего любимого поэта:

Es kann die Spur von meinen Erdetagehn
Nicht in Aeonen untergehn!

(В эонах жизнь моя земная не может кануть без следа!)

* *Nord und Süd*, Heft 100 (Juli 1885).

Но и последние, так сказать вчерашние работы семидесятилетнего старца свидетельствуют, что не исчерпана его энергия. Дай Бог, чтобы она продлилась надолго:

Unermüdet schaff'er
Das Nützliche, Rechte,
Sei uns ein Vorbild
Jener geahneten Wesen!

(Твори неустанно полезное, правое; будь нам прообразом тех смутно чаемых существ!)

ГЕЛЬМГОЛЬЦ И СОВРЕМЕННАЯ ФИЗИКА*

Was kann der Mensch im Leben mehr gewinnen
Als dass sich Gott-Natur ihm offenbart,
Wie sie das Feste lässt zu Geist verrinnen,
Wie sie das Geisterzeugte fest bewahrt

Goethe.

8 сентября (27 августа) после двухмесячной болезни угас в Шарлоттенбурге (близ Берлина) величайший из современных естествоиспытателей — скажу больше — величайший из современных ученых — Герман фон-Гельмгольц, 73 лет от роду.

До самого недавнего времени могучий ум его был в полной силе. В прошлом году покойный дал нам два исследования, достойные его гения (в конце второго обещано продолжение). В августе 1893 г. он председательствовал на электрическом конгрессе в Чикаго. Известно, что на переезде из Америки в Европу Гельмгольц получил сильный ушиб головы, потребовавший серьезного лечения; с тех пор болезненные явления повторялись, но ничто не указывало на близкую катастрофу. В текущем году, к сентябрьскому съезду немецких естествоиспытателей в Вене, он обещал три речи для общих собраний. 15/3 июня 1894 г. Гельмгольц председательствует в заседании Берлинского физического общества, посвященном памяти Августа Кундта (ум. 21/9 мая). 11 июля (29 июня) он прочел последнюю свою лекцию в университете. Вслед затем (13/1 июля) явилось тревожное известие о болезни (удар). К концу августа стала оживать надежда на восстановление; но вскоре второй удар унес великого человека в могилу.

* Речь, читанная в заседании Императорского общества любителей естествознания, антропологии и этнографии 16 ноября 1894 г.

Три года назад, откликаясь на всесветное чествование 70-го дня рождения Гельмгольца, московская публика выслушала ряд публичных лекций, устроенных в университете, в пользу „Гельмгольцовского фонда“ (на предмет основания международной медали имени Гельмгольца за научные заслуги). Эти лекции потом явились в печати*, они могут дать понятие о многообъемлющей деятельности гениального ученого, длившейся более 50 лет и сделавшей имя его дорогим для всякого, кому дороги интересы науки и культуры. В упомянутой книжке помещена в переводе и превосходная речь Гельмгольца, сказанная им на юбилейном торжестве в Берлине, речь высокого автобиографического интереса.

На этот раз мы не имеем надобности, да и не можем, возвращаться к сколько-нибудь детальному изложению работ почившего — для этой цели далеко нехватило и тех восьми лекций, которые были читаны в 1891 г. Мы постараемся только в самых общих чертах подвести итоги научной жизни, имевшей столь широкое значение, подсмотреть, насколько сумеем. ее внутреннюю логику.

Гельмголец был в равной мере физик, физиолог и психолог, он работал и пролагал новые пути как в общей науке о природе объекта, так и в науке о природе чувствующей и мыслящей, о человеке, объективирующем и познающем природу. Его творчество представляет, таким образом, две стороны. Они неразрывно связаны единством личности, искавшей и творившей не случайно, не по капризу, а в генетически строгой последовательности мышления, неуклонно направленного к одной высокой цели. Но для удобства эти две стороны могут быть обозреваемы отдельно. Предоставляя биологическую часть моему почтенному товарищу И. М. Сеченову, попытаюсь, как это ни трудно, проследить деятельность Гельмгольца по общей физике, имея в виду ее основные течения.

I

История творчества Гельмгольца на этом поле есть история физики за последние 50 лет. Во всех краеугольных вопросах, приковывавших умы последних поколений, во всех стремлениях науки расширить свои горизонты и в то же

* *Герман фон-Гельмгольц* (1821—1891), публичные лекции, читанные в Императорском московском университете. М., 1892 г.

время очистить, отрезвить себя критикой, участие Гельмгольца стоит на первом плане. В одних задачах он является главным инициатором, в других — мощным соратником, в третьих — действует косвенно, через воспитанных в его школе учеников.

Еще, на нашей памяти физика представляла собой ряд отдельных глав, почти несвязанных между собой. Мысль, ясная еще Ньютону, что объяснять явления — значит сводить их на почву механики*, либо терялась вовсе, либо вела к искусственным постройкам шатко гипотетического характера. Так называемые „невесомые“, некогда столь обильные, стояли как бы вне закона. Для теории света, правда, путь был смело и, повидимому, верно намечен еще в первой четверти века благодаря гению Френеля; но учение о теплоте, учение об электричестве не находили настоящего ключа в механике; еще более изолирована была химия, образовавшая особую науку. Связь между отдельными категориями явлений, или между отдельными „агентами“ природы, не вошла в сознание, и кое-какие факты, уже тогда намекавшие на эту связь, оставались в тени, как второстепенные курьезы.

Объединение всех отделов науки совершилось в середине текущего столетия. Припомним обычное определение физики. Физика — наука о веществе и о явлениях или процессах, с ним происходящих. Общая мера для вещества, или для всех тех 70 категорий, которые мы считаем существенно различными видами неизменного вещества, была установлена уже давно благодаря в особенности Ньютону и Лавуазье. Общей меры для явлений не было и долгое время спустя не было даже для явлений одной категории (например для химических реакций). Такую меру — и притом вполне общепригодную — дало понятие об *энергии*, и здесь-то, в деле установки и пропаганды этого понятия, Гельмгольцу принадлежит первенствующая роль. Своей бессмертной брошюрой „О сохранении силы“ (1847 г.), где под *силой* условно

* „Omnis enim philosophiae difficultas in eo versari videtur, ut a phaenomenis motuum investigemus vires naturae, deinde ab his viribus demonstremus phaenomena reliqua“. (*Principia*, praef.)

[Вся трудность философии заключается в том, чтобы из явлений движения вывести силы природы, а потом из этих сил вывести остающиеся явления.] Как смотрел Столетов на взаимоотношения механики с другими областями физики, см. ниже. (*Ред.*)

разумеется то, что позже по предложению В. Томсона называли *энергией*, Гельмгольц шире и сознательнее, чем кто-либо из его сподвижников в этом деле, утвердил догмат о количественной соотносительности всех явлений. В пользу этого догмата уже давно говорила и обильная масса фактов, и та интуиция, которая в избранных умах так часто предупреждает строгую науку. Великий художник, которого мы, физики, должны признать прямым предшественником Галилея, Леонардо да-Винчи, определенно высказывается о невозможности так называемого *perpetuum mobile*: это и есть корень принципа энергии. Но химера долго еще продолжала смущать умы и только 350 лет спустя была решительно и бесповоротно изъята из обращения работой Гельмгольца. „Чтобы оценить все научное значение небольшой гельмгольцовой статьи об этом предмете, — говорит Максвелл, — стоило бы только спросить тех, кому мы обязаны величайшими открытиями по термодинамике и по другим отраслям современной физики: сколько раз они перечитывали эту статью и как часто при своих изысканиях чувствовали непреодолимую силу веских положений Гельмгольца“*.

И вот из ряда разрозненных статей физика становится учением о формах энергии, о их взаимных превращениях, подчиненных закону количественного сохранения или неизменности. Наряду с сохраняющейся массой вещества стала сохраняющаяся энергия.

Я не буду объяснять понятие об энергии и принцип ее сохранения, полагая, что с большей или меньшей ясностью эти ныне ходячие сведения всем знакомы, и ссылаясь на наши прежние беседы о Гельмгольце**, скажу только, что в этом принципе энергии физик впервые получил возможность подводить количественный баланс явлениям, подобно тому как в принципе сохранения материи (т. е. ее массы) Лавуазье нашел ключ к балансу кажущихся превращений вещества. Всякий раз, когда перед нами происходит некоторое явление, мы ищем и находим ему меру в приросте или убыли энергии некоторой части вещества, ищем и находим соответственную убыль или прирост в других долях энер-

* Maxwell, „H. L. F. Helmholtz“ (*Nature*, XV, p. 390; *Scientific Papers*, II, p. 595).

** Лекция Р. А. Колли в книге Г. фон-Гельмгольц.

гии, — в полной и всегда оправдывающейся уверенности, что общий итог энергии остался неизменным.

При этом важно и характерно то обстоятельство, что оценку энергии и подсчет ее баланса мы смело прилажаем и к таким процессам, о механизме которых мы не составили себе подробных и ясных представлений. Таковы, например, химические реакции, таковы электромагнитные явления. Нет надобности знать или воображать себе, что здесь делается с частями вещества, какую роль играет, кроме обыкновенного вещества, постулируемый нами эфир; мы можем оставаться на фактической почве и тем не менее сказать нечто важное и точное о процессе. Мы должны только подметить, какими доступными опыту величинами (параметрами) можно охарактеризовать энергию процесса или каким образом можно прямо ее измерить (например, превратив в теплоту), и затем воспользоваться уравнением энергии. Такой способ верно рассуждать о явлении, не покушаясь составить его отчетливый, но гадательный рисунок, представляет методологическую новость, которая выгодно оттеняет весь дальнейший ход науки.

От знаменитого труда, бывшего дебютом 26-летнего Гельмгольца, мне придется, по логической связи, перейти к исследованиям, занимавшим его в последние годы жизни. Как ни трудна эта тема для общедоступного изложения, попытаюсь дать о ней понятие.

Закон сохранения энергии, конечно, не исчерпывает науки о явлениях, и встречающиеся иногда попытки изложить всю физику, играя, так сказать, на одной струне, не могут быть состоятельны. Начиная с данного состояния материальной системы, можно представить себе весьма различные в ней изменения, каждое с соблюдением принципа энергии. Чем отличается действительно происходящий процесс от других возможных? И какие данные нужно иметь, чтобы предсказать его течение?

Для обширной области явлений, известной под именем небесной механики, Ньютон и его продолжатели выработали схему, которая, благодаря ее блестящему успеху, сделалась образцом или *prim desiderium* и для других отделов физики. Данными задачи служат: 1) начальные положения всех масс и 2) начальные их скорости. *Первыми* непосредственно

даны так называемые *силы* системы (в ньютоновом смысле этого слова). Простая связь между силами и ускорениями, установленная вторым из трех законов Ньютона, ведет к „уравнениям движения“ системы, и часто математическая обработка (интеграция) этих уравнений дает, при помощи начальных данных, полное решение вопроса, т. е. предсказывает место каждой массы в каждый момент времени.

„Открытие закона тяготения и его последствий, — говорит Гельмгольц, — есть самое импонирующее деяние, к какому когда-либо была способна логическая сила человеческого духа. Еще никогда не представлялся столь удобный материал, как эти запутанные планетные движения, которые прежде у необразованных зрителей питали только астрологическое суеверие, а теперь подведены были под закон, позволявший отдать самый точный отчет о малейших особенностях этих движений“ (I, p. 136)*.

Необычайная простота формы, какую получила эта область благодаря понятию *сила*, надолго обеспечила за ним центральную господствующую роль в механике. Ньютоново понятие о силе вошло и в „метафизику естествознания“ Канта. Факт взаимных сил, существующих между двумя массами, стали считать примордиальным, силу — эгот, по Гельмгольцу, „объективированный закон действия“ (I, 342) — *причиной* механических явлений, изыскание сил — *объяснением* явлений. Силы в задаче Ньютона представлялись как непосредственные действия масс на расстоянии (*actiones in distans*).

По тому же образцу стали формулироваться механические теории других явлений. Но явления, наблюдаемые нами вблизи, оказались далеко не так просты, как небесные движения, или не допускали тех абстракций и упрощений. Собственно химические процессы идут рука об руку с более темными процессами тепловыми, химическими, электрическими. Стоя на почве ясных представлений механики, пришлось, кроме явных масс и явных движений, допустить некоторые „скрытые массы“ и „скрытые движения“ (употребляю термин Гельмгольца). Так, в явлениях теплоты с категорической обязательностью пришлось признать движения мелких частей материи, недоступные прямому и подробному исследованию.

* Цитаты без заглавия относятся к сборнику популярных статей Гельмгольца (*Vorträge und Reden*, 2 B-de, 1884 г.).

дованию. Так, в явлениях света и электричества действительно сказывается участие особой, так сказать, сверхчувственной материи. Распределение масс—даже „явных“ — и их скоростей необычайно сложно, и нет надежды знать его вполне для какого-либо момента времени. Попытка угадать „элементарные силы“ лишь кое-где и на первых порах имела некоторый успех. Там, где по обстоятельствам задачи „силы“ стояли на втором плане и где незнание индивидуальных масс и скоростей восполнялось так называемой статистической методой, задача допускала успешную обработку: такова „кинетическая теория газов“, построенная в духе Лукреция и Лесажа.

Та легкость, с которой принцип энергии позволил нам говорить о темных явлениях, не смущаясь неизвестным, естественно дала преобладание новому символу *энергия* над прежним символом *сила*. Притом же количественная неизменность энергии придавала этому понятию такой оттенок реальности, которого лишено понятие о силе. Массу и *энергию* стали считать „вещами“ по преимуществу (Тэт). „Сила“— некогда первоначальная *причина*—низводится на степень второстепенного, искусственного термина (Клиффорд, Кирхгоф, Герц).

Нелзя ли и дальнейшее изучение явлений вести путем, который избавлял бы нас от необходимости слишком подробно рисовать гипотетическими штрихами то, что нам неизвестно,—держал бы нас ближе к непосредственным данным опыта? Картина будет не так подробна, в ней останутся пустые клетки; но она будет достовернее, а недостающее теперь может быть вычерчено со временем.

Такие пути в механике есть и практикуются издавна. Когда мы трактуем о движении совершенно твердого тела, мы эту твердость считаем как нечто данное, как факт, не заботясь и не фантазируя о том, как он „объясняется“. Задача получает сразу чрезвычайное упрощение. Решение ее мы, не задумываясь, применяем и к действительному „твердому“ телу природы, хотя знаем, что оно не есть совершенно твердое, что, кроме рассмотренных нами явных движений целого, есть скрытые движения мелких частей его. Наша абстрактная задача дает упрощенную *модель* действительного процесса; но эта модель вполне достаточна для многих целей, совпадая с действительностью во всех тех пунктах, какие в данном случае представляются существенными.

Всякий раз, когда в механическую задачу вводились так называемые *связи* или *условия*, употреблялся тот же прием мысли.

Уравнения механики, в форме, данной им Лагранжем, мы можем прилагать и к таким задачам, где данными и искомыми являются не положения и скорости всех отдельных частей или частиц системы, а некоторое число величин (параметров), совокупность которых *достаточно* характеризует состояние системы. Мы можем прилагать эти уравнения и в том случае, где эта *достаточность* относительная, вроде того как эпитет *совершенно твердое* часто считаем достаточным для характеристики действительного твердого тела природы. Постановка и решение задачи в этом духе даст нам опять упрощенную модель действительности; но в нашей власти совершенствовать эту модель по мере обогащения наших сведений.

В обобщенном виде этот прием исследования с неожиданной мощью оправдал себя на наших глазах в применении к самому таинственному кругу явлений; я говорю о механической теории электричества и света, данной Максвеллом. Но, прежде чем подойдем к этой теме, поговорим о другом течении, проявившемся в современной физике, — течении, которое, повидимому, относило ее в сторону от механической почвы, внося в физику какие-то метамеханические основы.

II

Странным образом, это течение возникло именно в той области (тепловых явлений), которая именно в ту пору особенно тесно и прочно примкнула к механике в виду опытов Джауля и др. Принцип, зародыш которого лежал еще в книге Сади-Карно* *Опыт о движущей силе огня* (1824 г.), к 50-м годам, в исправленной обработке Клаузиуса, облекся в форму *второго закона термодинамики* (первым законом послужило начало сохранения энергии, примененное к этому кругу явлений). Я не могу проследить здесь историю развития этого закона. Скажу только, что он исходит из простых фактов опыта (каково, например, стремление теплоты переходить из теплого тела в холодное, а не наоборот) и опирается на своего рода физическую аксиому — о невозможности

* Дядя покойного президента республики.

безусловно и безгранично пользоваться теплотой тел природы для производства механической работы. Рассуждая в этом круге понятий, убеждаемся, что хотя данный запас *работы* можно сполна превратить в теплоту, но такой процесс, как говорится, *не оборотен*; данный запас *теплоты* мы никак не можем превратить *сполна* в работу (всегда окажется непревращенный остаток). В конце концов, получается весьма общее положение: „Мировая энергия все более и более теряет свою оборотность (*рассеивается*, по выражению В. Томсона), постепенно переходя в форму теплоты“.

Принцип оказался необыкновенно плодотворным. Термодинамика, стоя, так сказать, одной ногой на почве механики, другой — вне ее, овладела обширным кругом явлений.

В разработке и освещении „второго закона“ Гельмгольцу принадлежит двоякая и весьма важная роль.

С одной стороны, в ряде статей „Термодинамика химических процессов“ (1882 г.) он распространяет принцип на явления химические, — между прочим, на те, которые происходят при участии электрического тока, — расширяя постановку задачи. Первоначальная оценка химической энергии делалась по теплоте, выделяемой при реакции; такова теория химических действий гальванической цепи в *Сохранении силы* и у В. Томсона. Эта точка зрения, верная для некоторых частных случаев, оказывалась неполной для других. Существование так называемых эндотермических реакций прямо являлось необъяснимым исключением. реакция происходит самопроизвольно (без посторонних причин) и, однако же, сопровождается не развитием, а поглощением теплоты. Между тем, как бы отождествляя *химическую энергию* с той *теплотой*, которая считалась точным ее эквивалентом, переносили на *первую* то, что удостоверено для теплоты. Говорили, что химическая энергия подобно теплоте не может сполна превращаться в работу. На вопрос: какая именно реакция должна произойти в данном комплексе тел, — думали правильно ответить так называемым „законом наибольшей работы“ (лучше сказать, наибольшей теплоты), который впервые высказан Ю. Томсоном и развит Бертелло: „Сама собой (без вмешательства посторонней энергии) происходит та реакция, при которой

разовьется наибольшее количество теплоты“. Этот закон, верный для многих случаев, в сущности не имел ни полной общности применения, ни даже полной ясности выражения и был лишен прочной теоретической подкладки.

Со своей обычною зоркостью Гельмгольц вносит в эту область новое освещение. Он показывает, что применение термодинамических начал ведет здесь к результатам более сложным, чем думали прежде. Смотри по условиям задачи, химическая или вообще молекулярная энергия данной системы превращается в работу либо только отчасти (как всегда бывает с энергией тепловой), либо сполна, либо, наконец, может дать более чем свой эквивалент работы, заставляя переходить в работу и часть теплоты окружающей среды. Полную энергию нашей системы мы должны разделить на две части: одна часть, *свободная энергия*, может сполна превращаться в работу; другая, *связанная*, к такому превращению неспособна и может проявиться только в виде теплоты. В том частном случае, когда температура системы поддерживается неизменной (когда процесс „изотермичен“), ход реакции определяется тем условием, чтобы свободная энергия постоянно убывала и достигла того минимального значения, какое возможно при условиях опыта*.

Справедливость своих соображений Гельмгольц поверил на целом ряде удобных для такой проверки частных случаев и дал исправленную термохимическую теорию гальванической цепи. Выставленный им „принцип свободной энергии“ имеет значение весьма широкое: это — путеводная нить при изучении всех физико-химических процессов.

В другом ряде работ, примыкающих ко второму закону термодинамики, *Начала статики моноциклических систем* (1884 г.), Гельмгольц дает интересную и превосходно разработанную механическую иллюстрацию этого закона.

Принцип сохранения энергии возник сперва на почве собственно механических явлений и уже потом распространен был на все остальные; закон Карно-Клаузиуса относится к явлениям тепловым, его точки опоры найдены вне механики. Являлся издавна естественным вопрос: в каком отношении стоит этот закон к основным началам механики?

* Подобные же, но менее отчетливо и ясно сформулированные соображения о термодинамике химических процессов содержатся в работах американского ученого Гиббса (J W Gibbs, *Thermodynamische Studien*, übers v Ostwald).

Механический характер тепловых явлений казался в общих чертах твердо выясненным; тот самый автор, которому мы обязаны поправкой закона Карно, многое сделал для такого выяснения; понятия: *количество тепла*, *температура* получили механическое толкование*. Второй закон можно было выразить языком механики. Что же он представит собой в этом виде?

Легко было видеть, что он не соответствует какой-либо вполне общей механической теореме; выраженное им требование не всегда выполняется при собственно механических явлениях. Значит, во втором законе лежит какая-то спецификация той системы, которую мы называем теплым телом. Какая же именно?

Применяясь к вероятным представлениям о строении тел и о характере тепловых движений, Больцман, Клаузиус и др. пытались ответить на этот вопрос и более или менее успешно связывали второй закон с механическими принципами. Во всех этих выводах играет роль статистическая метода (закон больших чисел), а в одном из них (третье доказательство Больцмана) самое существо второго закона переносится, так сказать, в область теории вероятностей.

Гельмгольц берет задачу проще, общее и отчетливее, и его метода „сразу (*mit einem Schlage*) внесла во все такие исследования неожиданную ясность“**. Относительно строения механической системы не делается никаких специальных гипотез; некоторые определенные условия налагаются только на характер движений. А именно, принимается, что, кроме произвольных, но сравнительно медленных движений, система имеет быстрые внутренние движения стационарного и замкнутого характера (примером таковых может служить шар, вертящийся на оси без трений, или круговращение совершенной жидкости в замкнутом канале с упругими стенками). Такую систему Гельмгольц называет циклической, а при некотором дополнительном условии — *моноциклической*. Эти-то моноциклические системы удовлетворяют требованию второго закона термодинамики, изложенного на языке механики.

* Определение температуры, правда, подвергалось некоторым вариантам.

** Boltzmann, *Crelle's Journ.*, Bd C, p. 207.

Таким образом было доказано, что условия обратных тепловых процессов можно представить в форме лагранжевых уравнений движения. Другими словами, была построена весьма общая механическая модель того, что мы называем теплым телом (о расширенном смысле слова *модель* мы скажем впоследствии). Помимо отношения к физическому учению о теплоте, исследование о моноциклах имеет интерес для других частей физики и для механики собственно. Оно легло в основу тех механических иллюстраций, которыми Больцман старается осветить максвеллову теорию электричества. Оно же, вместе с трудами по теории электричества, приводит самого Гельмгольца к некоторому новому исследованию.

Это новое исследование озаглавлено *О физическом значении начала наименьшего действия* (1887 г.) и посвящено весьма широкой теме. Одну из форм так называемого принципа Гамильтона, уже давно известного в механике, Гельмголец представляет в таком виде, что она становится общим выражением, обнимающим не только механику явных масс и явных движений, но и то, что нам известно из потаенной механики электричества, теплоты, молекулярных явлений. Не имея такой простоты выражения, как закон сохранения энергии, этот новый результат — „принцип наименьшей величины кинетического потенциала“ * — точно так же облакает в одну общую формулу как более нам известное, так и менее известное. Он даже общее принципа энергии, ибо последний заключается в нем как следствие¹.

Ряд согласных с опытом выводов из различных областей физики вытекает из нового принципа с неожиданной простотой. Таковы, например, заключения о соответственных парах явлений (закон индукции в связи с законом Ампера, явление Пельтье в связи с термоэлектричеством и т. п.). „Уже теперь представляется весьма вероятным, — замечает Гельмголец, — что это общий закон всех обратных процес-

* „Кинетический потенциал“ Гельмгольца есть некоторое обобщение так называемой „функции Лагранжа“.

¹ Это надо понимать так. Из принципа наименьшего действия как следствие получается закон сохранения энергии. Из закона сохранения энергии нельзя получить принцип наименьшего действия. (*Прим. ред.*)

сов природы; что же касается необоротных, как, например, развитие теплоты и теплопроводность, то, повидимому, их необоротность лежит не в существе дела, а только в ограниченности орудий нашего опыта; мы не можем восстанавливать стройность в нестройных движениях атомов, не можем дать как раз обратные скорости всем атомам, участвующим в тепловом движении“*.

„Во всяком случае, общность принципа кажется мне настолько обеспеченной, что он получает высокую цену в качестве эвристического начала и путеводной нити при попытках формулировать законы новых классов явлений“**.

III

Эти широкие работы последних лет жизни Гельмгольца — о моноциклах и о принципе наименьшего действия — с особенной ясностью, мне кажется, определяют его отношения к основным задачам и течениям физики, — ту точку зрения, на которую он стал в самом начале и на которой держался до конца. Верный завету Ньютона, он, как и другие гениальные физики нашего времени, — лорд Кельвин (В. Томсон), Максвелл, Кирхгоф, — всюду становится на почву механики, всюду ищет этой почвы. В его глазах, посильно „объяснить“ физическое явление значит — привести его к механическим представлениям и механическим началам.

Под впечатлением плодотворности принципа энергии, из которого, как из рога изобилия, сыпались самые разнообразные и неожиданные плоды; под влиянием второго

* „Для наших орудий, сравнительно грубых в виду молекулярного строения, — говорит Гельмгольц в другом месте, — только стройное движение (а не вполне беспорядочное) свободно превратимо в другие формы работы“. „Но, — осторожно прибавляет он, — существует ли та же невозможность для тонкой структуры живых органических тканей — это кажется мне и до сих пор еще открытым вопросом; важность его для экономии природы бросается в глаза“. (*Wiss Abh.*, II, p. 972.) Замечание весьма глубокое.

** *Crelle's Journ.*, С. р. 142—143. С этим последним взглядом нельзя не согласиться даже в виду некоторых сомнений, выставленных Герцем в его посмертной книге. (*Hertz', Principien d. Mechanik*, p. 22 и след.)

Замечу, что точка зрения, подобная той, на какой стоит Гельмгольц в мемуаре о принципе наименьшего действия, почти единогласно и независимо принята в книге Дж. Томсона. (*J J Thomson, Applications of Dynamics to Physics and Chemistry*, 1888 г.)

закона термодинамики, возникшего вне механики и не подававшегося простому механическому толкованию, при сознании тех огромных пробелов, какие имеются в наших сведениях о молекулярных и электрических процессах, — во многих умах стало складываться стремление оставить механическую почву как слишком тесную. На попытки механического объяснения стали смотреть как на предвзятую идею, наследственный предрассудок. Эта мысль, в довольно туманной форме встречаемая у Ранкина*, особенно открыто и настойчиво проводится, например, в *Истории развития механики* Маха и в *Учебнике общей химии* Оствальда. „Мнение, будто механика должна рассматриваться как основа остальных отраслей физики и будто все физические процессы следует объяснить *механически*, мы считаем за предрассудок, — говорит Мах. — Исторически старейшее не всегда должно и *оставаться* основой для того, что найдено позже. По мере того как новые факты становятся известными и приводятся в порядок, могут прививаться (*platzgreifen*) и совершенно новые руководящие воззрения. Мы не можем еще и знать теперь, какие из физических явлений идут *всего глубже*, — не механические ли именно суть наиболее поверхностные, или не все ли идут *одинаково глубоко***.” Механическая гипотеза для объяснения новых явлений соответствует, по мнению Оствальда, „детскому состоянию интеллекта“; она вытекает из „молчаливого допущения, что механические энергии, с которыми мы всего долее знакомы, суть единственные, какие вообще существуют“***. А в образчик того, как мы будем рассуждать, когда выйдем из „детского состояния“, Оствальд внушает нам, например, что энергия *имеет упругость* (1) и носится через *абсолютную пустоту* (1)****. Являются попытки установить систему, свободную от „предрассудка“, основать науку, более общую, чем механика. В этой науке (ее называли *энергетикой*, хотя то же имя употребляется и с меньшими претензиями) основанием служит понятие об энергии, оторванное от возрастившей его механической почвы, а содержанием — два начала, из коих *первое* есть тот же принцип сохранения энергии,

* Гельмгольц прямо высказывается, что не разделяет основных воззрений Ранкиновой энергетике (*Fortschr. d. Physik*, XI, p 365).

** Mach, *Die Mechanik in ihrer Entwicklung* (1883), p. 467.

*** Ostwald, *Lehrbuch d. allgem. Chemie*, 2 Aufl., II, p. 1013.

**** *Ibid.*, p. 1014—1016.

а второе скопировано со второго закона термодинамики, но выражено в неуловимо общей и воистину *мета-физической* форме*. Этим началам пытаются дать применение даже вне естественных наук (например в политической экономии)**. Но в области физических наук эта „очищенная“ энергетика до сих пор не открыла ничего, что не лежало бы в обыкновенных теориях, и в лучшем случае, при осторожном употреблении, дает только род мнемонического правила для частных случаев.

Такое направление весьма напоминает нам символизм так называемых декадентов, проявившийся в новейшей литературе. Не так смотрят на дело наиболее глубокие умы нашего времени, наиболее мощные двигатели науки — Гельмгольц, Кельвин, Максвелл, Кирхгоф, Клаузиус: они упорно стоят за старый „предрассудок“, хотя из их трудов и вышли новые горизонты (и даже те новые термины). Для этих продолжателей дела Ньютона идеалом физики остается приведение всех явлений к движениям. „Как скоро мы мысленно разложили вселенную на элементы с неизменными качествами — единственные еще возможные изменения в такой системе суть изменения пространственные“, — говорит Гельмгольц на первых страницах своей знаменитой брошюры***, и почти теми же словами повторяет эту мысль слишком двадцать лет спустя (I, p. 345). „Все физики согласны в том, что задача физики — свести явления природы к простым законам механики“, этими словами начинает свою посмертную книгу талантливый из учеников Гельмгольца****. Не только для физики в тесном смысле, но и для всего естествознания —

* „Всякая форма энергии имеет стремление переходить из мест, где она существует с *высшей* напряженностью, к местам *низшей* напряженности“ (Helm, *Die Lehre von der Energie*, 1887, p. 62. Этим автором особенно вдохновляется Оствальд) Разложение энергии а priori на два фактора (*количество и напряженность*) в общем случае произвольно и лишено ясности. Общие энергетические рассуждения в книге Оствальда изобилуют странностями и недоразумениями, и нельзя не пожалеть, что почтенный химик берется здесь за несвойственную ему задачу.

** Helm, *l. c.*, p. 71—75.

*** *Erhaltung d. Kraft*, p. 4 (*Wiss. Abh.*, I, p. 15).

**** Hertz, *Principien d. Mechanik*, p. XXIII.

это конечная цель, — говорят и Гельмгольц (*l. c.*), и Кирхгоф¹. „Эта цель, — прибавляет Кирхгоф, — никогда не будет достигнута вполне, но уже самый факт, что она признана, дает известное удовлетворение и, приближаясь к ней, мы испытываем самое высокое наслаждение, какое могут доставить нам занятия наукой о природе“.

Для таких староверов понятие об энергии есть понятие *механическое*. Во всеобщности принципа сохранения энергии Гельмгольц видит подтверждение механического характера всех физических явлений вообще (*l. c.*). В простейшей своей форме — „живой силы“ — энергия (кинетическая) прямо приводится к основным понятиям пространства, времени и материи (массы). В другой, менее образной форме (потенциальная энергия) она определяется размещением масс в пространстве, причем массам приписываются определенные и измеримые „силы“, как antecedенты движения (*Spannkräfte*). Ценность общего понятия „энергия“ — в том, что оно приложимо непосредственно, хотя бы мы не знали, какого рода энергия перед нами, и не решили, должны ли мы в окончательном анализе явлений считать первичной формой энергию кинетическую или же потенциальную. Этот последний вопрос едва ли не следует считать неразрешенным, ибо такой „окончательный анализ“ есть недостижимый идеал.

Говоря об „энергетике“, стремящейся выйти из рамок механики, я употребил слово „символизм“. Но не символами ли орудует и механика? В известном смысле все наше знание имеет и может иметь только символический характер. Не кто иной, как Гельмгольц, проводил эту мысль с неотразимой аргументацией в своих психофизиологических исследованиях, доказывая, что наши „чувственные впечатления суть только отметки качеств внешнего мира, — *знаки*, истолкованию коих мы должны научиться из опыта“^{**}. „То, чего мы можем достигнуть, есть познание законного порядка

* Kirchhoff, *Ueber das Ziel der Naturwissenschaften*, akad. Vortrag, 1865

** Г фон-Гельмгольц, р XXIV (речь Гельмгольца) В этой части Гельмгольц с правильной материалистической позиции скатывался к ошибочной теории „иероглифов“, т. е. считал наши ощущения не отражениями действительности, а только знаками — „ие-

в царстве „действительного“, — порядка, выраженного по этой системе знаков:

Alles Vergängliche
Ist nur ein Gleichniß“ (II, p. 246).

„Мы делаем себе внутренние образы (Scheinbilder) или символы внешних предметов, — говорит Герц, — и притом делаем их так, чтобы логически необходимые следствия образов были всегда образами естественно необходимых следствий отображенных предметов“ *. Вера в постигаемость природы („закон причинности“) лежит в основе этого построения, а его успехи оправдывают эту веру:

Das Unzulängliche,
Hier wird's Ereigniss.

Если при этом считается справедливым класть в основу построений именно символы механики — символы пространства, времени, вещества (или общее, субстанции)**, то не потому только, что на их стороне — случайная древность и привычка. Символы цвета, тепла, вкуса, запаха не менее древни и не менее привычны, чем символы движения. Не традиция и предрассудок, не прихоть или ребячество заставляют нас держаться символов механики; традиция сложилась не даром, выбор глубоко коренится в нашей психофизической натуре. Для нас эти символы были и останутся самыми простыми, общими и надежными; в них — и только в них — мы непреодолимо ищем последних элементов для построения *ясного образа* физической природы; они приближают физику к геометрии — этой, по Гельмгольцу, „первой и совершеннейшей из естественных наук“ *** По Ньютону, геометрия — часть механики и имеет основы в механической практике ****. Никто не мечтает, что она получит когда-либо новые основы, например, из химии или биологии.

роглифами“. Критика этих ошибочных воззрений Гельмгольца дана Лениным в „Материализме и эмпириокритицизме“. (Ред)

* Hertz, *Princ. d. Mech.*, p. 1.

** См ниже

*** *Wiss Abh.*, II, p 642.

**** Fundatur igitur Geometria in praxi mechanica, et nihil aliud est quam Mechanicae universalis pars illa, quae artem mensurandi accurate proponit ac demonstrat (*Principia*, praef).

Недаром Кант считал пространство и время трансцендентными формами воззрения. Заложены ли они в нас действительно вполне готовыми ранее всякого опыта, как думал он, или же и они вырабатываются при схватке наших чувств с внешним миром, под взаимным контролем зрения, осязания и мышечного чувства, как учит Гельмгольц, — это, в известном смысле, безразлично. Расчленение quasi-непосредственных „воззрений“ на элементарные процессы мышления и опыта не мешает тому же Гельмгольцу признать за ними особое значение. „Только отношение времени, пространства, равенства и вытекающие отсюда отношения — числа, величины, законности, — короче, только *математическое* (das Mathematische) — обще внешнему и внутреннему миру, и здесь мы действительно можем стремиться к полному согласию представлений с изображаемыми вещами“. „Вне этих границ, например, в области качеств, мы отчасти прямо можем доказывать несогласие“ (I, p. 331).

Так называемая *кинематическая* часть механики есть не что иное, как „геометрия во времени“ и обладает той же очевидностью и достоверностью, какую мы признаем за геометрией собственно. Не такова, правда, *динамическая* часть механики, где приходит новое понятие о веществе или о субстанции*, где „удобоподвижное в пространстве“ (das bewegliche im Raume Канта) получает характеристику и устанавливаются законы физического движения. Надо признаться, что новое понятие не имеет той непосредственности, какой обладают символы кинематики, и, прилагая его к действительности, мы нередко вовлекаемся в ошибку. „Мы называем *субстанцией* то, что, без зависимости от чего-либо другого, остается одинаковым во всем течении времени; неизменное отношение между изменчивыми величинами мы называем связующим их *законом*. Мы можем непосредственно воспринимать только этот последний. Понятие о субстанции может быть добыто только путем исчерпывающих испытаний и всегда остается проблематическим, так как всегда предполагается возможность дальнейшего испытания. Прежде свет и теплота считались за субстанции, пока не обнаружилось позднее, что это — переходящие формы движения; мы должны ожидать нового разложения известных нам ныне элементов“

* Гельмгольц охотно употребляет это слово как термин более общий, чем *вещество*.

(II, p. 244). Припомним попытки допущения *одной* материи и факты, намекающие на такое единство (периодический закон Менделеева). В другом месте Гельмгольц весьма картинно говорит о том, как часто мы принимаем за неизменяемую материю то, что оказывается неизменной „формой движения“ на обновляющемся веществе, — о „нашей привычке мысленно подстилать просто вещественную подкладку подо все, что сохраняется“ *. Ту же тему, повидимому, думал он развить в речи „О кажущихся субстанциях и остающихся движениях“ (über scheinbare Substanzen und bleibende Bewegungen), которую обещал для Венского съезда.

В виду этих затруднений, не удивительно, что были попытки обойти вещество как основное представление, либо сливая его с представлением о подвижном пространстве (Декарт), либо сводя к понятию о центре сил (Бёскович) и т. д. Этим, однако же, не устраняется необходимость прибавить к кинематике нечто новое, чтобы сделать из нее динамику. С другой стороны, при всей той условности, о которой говорит Гельмгольц, „простые вещества“ современной физики логически удовлетворяют нас — хотя бы на время — своей полной (количественной и качественной) неизменностью.

Динамические законы, или *аксиомы движения* (axiomata sive leges motus), сформулированные Ньютоном, далеко не равночинны геометрическим аксиомам Эвклида. Они не имеют той непосредственной очевидности, не достаются нам сами собой, на первых шагах личной жизни каждого; они добыты лишь постепенно и с усилием, как плод преемственной жизни многих поколений; в них несравненно явственнее тот эмпирический отпечаток, который, по Гельмгольцу, принадлежит, однако, и аксиомам геометрии. Попытки придать аксиомам динамики трансцендентное значение не могли выдержать критики. Дозволительно мечтать о пересмотре оснований динамики. В пределах механики собственно (механики „весомых тел“) такой пересмотр не раз предпринимался; здесь он до сих пор касался более формальной стороны, чем существа дела, и, по мнению некоторых высококомпетентных лиц, не сопровождался успехом (лорд Кельвин и Тэт). Но в виду явлений, которые издавна приписывались различным „невесомым“, а теперь сосредоточены на „эфире“ физика давно уже смутно искала в известном смысле рас-

* Г. фон-Гельмгольц, pp. 154—155.

ширить динамические основы, хотя она же, с другой стороны, стеснила их принятием закона сохранения энергии. Эта эволюция физической механики принимает теперь более правильный и сознательный характер. В последних работах Гельмгольца эфир рассматривается как субстанция без инерции — без массы в смысле Ньютона¹. Посмертная книга Герца *Начала механики* есть попытка, удачная или нет, приспособить механику к этим требованиям, ограничиваясь процессами безжизненной природы.

Эта эволюция механики не есть ее упразднение. Как бы то ни было, уже неизбежность кинематической ее части („форономии“ Канта) ручается нам за то, что в механике мы имеем надежный путь к выяснению физического мира. Мы не имеем права бросать этот путь по капризу, ради чего-то неуловимого; мы должны только расчищать его и совершенствовать. При этом механику мы разумеем в общем смысле слова, как физическое учение о движении.

Этим не отрицается, конечно, полезность тех частных физических теорий, где известная группа фактов сводится к положениям или законам, до времени не освещенным механикой. Пример тому мы видели, говоря о теплоте. „Первый продукт мысли, направленной к пониманию явления, есть законное“ (das Gesetzliche, II, p. 244). „Всякая правильно составленная гипотеза представляет по своему фактическому смыслу закон явлений, более общий, чем мы дотоле наблюдали его непосредственно; это — попытка подняться до более общей и обширной законности. То что гипотеза утверждает фактически нового, должно быть испытано и подтверждено наблюдением и опытом. Гипотезы, которые не имеют такого фактического смысла или вообще не дают надежных и решительных (eindeutig) определений для соответственных факторов, следует считать фразами без всякой цены“ (II, p. 246).

Но, — прибавим мы, оставляя текст Гельмгольца и, однако же, оставаясь верными духу всей его деятельности, — теории не механического характера всегда имеют в наших глазах лишь подготовительное значение: ум не успокоится (хотя бы отчасти), пока не подстелет механическую подкладку,

¹ Отсюда видно, что Столетов не стоял на почве механицизма, и в этом отношении он стоял на голову выше физиков своего времени и отчасти своих знаменитых учителей. (Ред)

которая одна только может дать теории достаточную образность и ясность. „Энергетика“ (в смысле Ранкина и Гельма) желала бы закрыть глаза на эту потребность и успокоиться на фразе. Ставя „энергию“ основой своих построений, в дополнение или даже в замену „вещества“, и находя праздным или невозможным считать всякую энергию механической по существу, представители этого направления как будто забыли, что имеют дело с объектом, существенно изменчивым по *виду* и по *качеству* (или „напряжению“), и следовательно, с объектом *сложным*. Если бы и были найдены независимо от механики какие-то более или менее удачные и общие правила для решения задач о переходах и превращениях энергий — это не помешало бы нам тревожиться вопросом: как же понимать и эти энергии, и эти превращения, и эти правила, — с точки зрения *ясных* (т. е. механических) представлений?

IV

Относительно манеры пользования механическими началами в новейшей физике происходит несомненный поворот; он направлен, с одной стороны, в пользу отрезвления наших теорий, с другой — он дает нам точки опоры для той эволюции механики, о которой говорилось выше. Новый прием ведет начало уже истари; удобным орудием для него послужила Лагранжева форма динамических уравнений в „общих координатах“; сильный толчок дан принятием принципа энергии. Сущность дела частью видна уже из сказанного раньше; мы стараемся рассуждать о явлениях, не рисуя до времени их детального механизма; мы довольствуемся построением моделей, пожалуй, даже (как иногда выражаются) построением аналогий или эмблем, хотя эти последние термины не следует понимать в слишком широком смысле

О значении собственно *моделей*, в смысле приближенного воспроизведения действительности, я уже имел случай говорить; этот прием употреблялся издавна: такими моделями являются в физике наши „абсолютно твердые тела“, наши „совершенные жидкости“ и т. п. Но мы можем расширить понятие о модели. Всем известны так называемые *графики*, где мы изгибами кривой линии изображаем ход, положим, метеорологического явления. Здесь мы имеем своего

рода модель или, скорее, эмблему, где некоторая величина (например температура) изображается длиной некоторой линии вертикальной, где другая величина (время) изображается линией горизонтальной; элементы модели соответствуют неоднородным с ними элементам явления, и модель не имеет претензии *совпадать* — хотя бы приблизительно — с тем, что она изображает; она есть *только* условное изображение.

Такого рода модель или эмблему мы можем мысленно построить для явления, механизм которого нам неизвестен. Мы имеем перед собой, например, „электромагнитное поле“ — арену таинственных электрических и магнитных процессов. Мы можем при посредстве наших инструментов ощупать, измерить и числами выразить такие признаки, как „заряд“, „сила тока“, „потенциал“ и т. п., механический смысл которых скрыт от нас. Мы можем далее вообразить себе (или и действительно сделать) такую механическую модель, где, например, „силы тока“ изображались бы пропорциональными скоростями движения, „потенциалы“ — величинами давлений и т. д. Если, рассуждая над такой моделью, мы придем к новым выводам о ее свойствах, которые оправдаются соответственными фактами и на прототипе (т. е. в действительном явлении), мы скажем, что построили пригодную теорию.

Но понятно, что при таких постройках наша фантазия должна быть ограничена одним необходимым условием: все то, что в действительном явлении для нас уже *ясно*, в модели должно быть скопировано не в эмблематическом, а в прямом смысле слова; так, например, всякое известное нам количество энергии явления прототипа должно быть передано таким же количеством энергии в явлении модели, всякое явное движение — таким же явным движением и т. д. Этим стеснением отличается наша эмблема от упомянутых график, а также и от тех туманных уподоблений, какие прилагаются иногда к предметам не физическим и не измеримым. Мы можем аллегорически говорить о *течении* мысли или о *силе* характера, но не умеем строить моделей психической деятельности.

То, что мы старались описать простыми словами, на точном и абстрактном языке науки называется — написать лагранжевы динамические уравнения изучаемого процесса. Таковы современные теории, таковы моноциклы Гельмгольца,

таков его „принцип“ наименьшего действия; такова же максвеллова теория электрических явлений.

„Эти теории, — говорит Больцман, — не имеют претензии исходить из гипотез, которые бы совершенно совпадали с истинными свойствами первичных элементов и первичных сил природы. Теории исходят из механизмов, действие которых имеет большую аналогию в том или другом отношении с игрой явлений природы. Чем обширнее и резче такая аналогия, тем, понятно, пригоднее принятый нами механизм.

„Если, с одной стороны, мы не беремся делать построения, которые вполне совпадали бы с природой, то, с другой стороны, мы имеем ту выгоду, что оперируем над ясно определенными механическими системами... Механизмы можно будет впоследствии заменить другими, более пригодными; но то общее (принадлежащее как им, так и процессам природы), что выставляется ими на вид, останется в силе и во всякой позднейшей теории.

„Собственно говоря, эта точка зрения, быть может, и не так существенно отличается от воззрения старых теорий. Составленный из упругих шариков газ, шестиугольное или тетраэдрическое ядро бензола — все это ведь также механические аналогии, динамические иллюстрации. Вся разница, может быть, только в том, что мы яснее сознаем эмблематический (*sinnbildlich*) характер наших теорий“*.

„Этой методе, — говорит тот же автор при другом случае, — несомненно, принадлежит ближайшее будущее. Но как ошибочно было прежде считать старую методу за единственную правильную, так же односторонне было бы теперь считать вполне устраненной эту старую методу, которая принесла столько пользы, и не культивировать ее наряду с новой методой“**.

Новая метода, помимо ее целесообразности, удовлетворяет нас и с другой стороны: она отвечает все более и более укореняющейся мысли о неизбежной *относительности* нашего знания „Окончательный анализ“ явлений — не более как недостижимый идеал. Это обстоятельство стоит в тесной связи с условностью наших *quasi-субстанций*. На какие

* Boltzmann, *Vorlesungen üb. Maxwell's Theorie*, I, p. 13—14.

** *Ueber die Methoden d. theor. Physik* (Katalog d. Münchener mathem. Ausstellung, 1892, p. 98).

бы ясно представимые элементы ни разложили мы природу, мы не можем быть уверены, что дошли до конца, что наши „атомы“ не суть системы других атомов второго порядка или даже „формы движения“ другой субстанции; что наши „элементарные силы“ не суть следствия „других сил или движений. Мы можем и должны подвигаться к цели на твердо выбранном пути, но не обольщаясь надеждой когда-либо достигнуть ее вполне. „Всякое сведение явлений на основные субстанции и силы утверждает, что мы нашли нечто неизменное и окончательное. Мы не имеем права на безусловное утверждение такого рода Этого не позволяет нам ни отрывочность нашего знания, ни свойство тех индуктивных заключений, на которые с первого шага опирается все наше восприятие действительного“ (II, p. 247).

Грандиознейшим примером водворения новой методы служит современная стадия науки об электричестве. И в этом деле Гельмгольцу принадлежит немалая заслуга.

Начав с простых и ясных представлений и „элементарных законов“, учение об электричестве должно было постепенно усложнять их по мере того, как расширялся круг известных фактов, и к половине нашего столетия представляло, по выражению Гельмгольца, „пестрый букет гипотез“ (*eine bunte Blumenlese von Annahmen*)*. В 60-х годах гениальный Максвелл, опираясь на открытия и идеи Фарадея, взялся за дело, так сказать, с другого конца. В „Электромагнитном поле“ он видел сложную машину, которой детальное строение нам неизвестно, но о которой можно рассуждать на основании известных нам проявлений ее деятельности. Максвелл построил *модель* электромагнитного поля — в том смысле, как было разъяснено выше. Другими словами, Максвелл установил лагранжевы механические уравнения электромагнитного поля. Совокупность наших сведений об электрических и магнитных явлениях впервые предстала нам в виде системы уравнений с известным числом доступных опыту параметров. Эти параметры не имеют явно механического характера, это — не координаты или скорости неизвестных нам атомов материи или частей эфира, а такие величины, с которыми непосред-

* Vorwort zu Hertz, *Princ. d. Mech*, p. XI.

ственно и лицом к лицу сводит нас электрическая практика: потенциалы, силы тока, магнитные напряжения и т. п.

„Нельзя изучать эту удивительную теорию, — говорит Герц, — не испытывая по временам такого чувства, как будто в математических формулах есть самостоятельная жизнь, как будто они умнее нас, умнее даже своего автора, как будто они дают нам больше, чем в свое время было в них вложено“ *. А у другого талантливого комментатора максвелловой теории ** вырываются слова поэта:

Was es ein Gott, der diese Zeichen schrieb?

Но красная нить, связующая всю эту сложную вереницу конкретных величин в одно целое, есть именно та мысль, что мы и здесь имеем дело с *механизмом*. Весьма странно недоразумение тех, кто и в теории Максвелла думает видеть выражение метамеханической энергетики и склонен приписать успех теории отрешению от тех основ, на которых в сущности она и покоится исключительно.

Правда, эта теория как будто бы делает подобный шаг: распространяясь и на явления света („электромагнитная теория света“), она решается отказаться от того простого и ясного механического представления о луче, какое выработано было прежде и казалось достаточным. Это представление она заменяет, до времени, эмблемой. Но это — эмблема в том смысле, какой был нами разъяснен; а отречение от одной определенной механической концепции не значит отречение от механики вообще. Ведь и старинное представление об „электрической жидкости“ было тоже в своем роде ясным; но оно не выдержало испытаний, а потому было отменено.

Новая теория вследствие ее отвлеченной и необычной формы, вследствие некоторой изменчивости взглядов и терминологии автора с трудом пролагала себе дорогу и потребовала комментариев; такими являются в последнее время сочинения Герца, Пуанкаре, Больцмана. Но еще прежде чем теория Максвелла явилась в той окончательной форме, как мы ее находим в *Трактате об электричестве*, начинается (с 1870 г.) ряд исследований и критических статей Гельм-

* Hertz, *Ueber die Beziehungen zwischen Licht und Electricität*, Vortrag. 1889

*¹ Boltzmann, *Vorlesungen üb. Maxwell's, Theorie*, II, Vorwort.

гольца по электродинамике; они занимают более половины I тома его *Научных работ*. Они предприняты были, по словам автора, с целью „расчистить область электродинамики“, ставшую к тому времени „непроходимой пустыней“*.

В тяжбе между старыми и новыми идеями дело шло не только о более или менее удачном объяснении известных электрических фактов, но о вопросе еще более глубоком и принципиальном. Имеем ли мы здесь дело с такими же „действиями на расстоянии“, какими и доселе считаем явления тяготения, или же в области электричества таковых действий нет, и все совершается постепенной передачей энергии от звена к ближайшему звену машины, как думал Фарадей, где эти звенья представляются так называемой „пустотой“?

Не решая заранее этого фундаментального вопроса, Гельмгольц строит такую теорию, в которой отводится место как действиям на расстоянии, так и действиям через посредство промежуточной среды; в одном предельном случае теория совпадает с той, какую развил Максвелл. Выбор той или другой специальной формы для теории предстояло сделать на основании некоторых *experimenta crucis*, на которые и наводила такая постановка дела. Такие эксперименты и были начаты самим Гельмгольцем и его учениками. Один из этих учеников — тот, который, по словам учителя, „всего глубже вжился в его собственный круг научных мыслей“**, — был столь рано скончавшийся (1 января н. ст. 1894 г.) Гейнрих Герц, состоявший три года ассистентом у Гельмгольца. Герц начал свои электрические исследования работами на темы, указанные Гельмгольцем, и вскоре пришел к открытиям, прославившим его имя. В своем труде *Исследования о распространении электрической силы*, посвященном учителю, Герц ясно рассказывает историю своих изысканий.

В своем критическом исследовании электродинамических теорий Гельмгольц показал, что все они ведут к одинаковым результатам, пока дело идет о токах в замкнутых проводящих цепях. Решить дело могло только исследование тех быстро переходящих незамкнутых токов, какие являются в виде „электрических колебаний“. Напомним, что самое

* Vorwort zu Hertz', *Princ. d. Mech.*, p. XI.

** L. c., p. VIII.

первое указание на такие колебательные электрические процессы было сделано именно Гельмгольцем еще в 1847 г.* Эта тема в руках талантливого и настойчивого Герца дала чудные плоды: его открытия были победой теории Максвелла, и тот мост между светом и электричеством, который существовал дотолы только в гениальном уме английского физика, получил реальные устои. Учение о дальнодействии (*actio in distans*) сложило оружие на поле электрических явлений; единственным представителем дальнодействий осталось еще не разъясненное в этом смысле тяготение.

Если в этом великом деле Гельмгольцу принадлежит только роль первоначального руководителя и инстигатора, то в некоторых отделах электричества его личные работы и до сих пор стоят на первом плане. Такова его теория электрострикции, т. е. механического изменения тел электрическими и магнитными силами. Таковы его обширные электрохимические исследования; о связи их с термодинамикой и о возникшем отсюда принципе свободной энергии мы уже говорили выше**. Касательно природы химических сил Гельмгольц развивает мысли Берцелиуса и Фарадея: „Факты не оставляют никакого сомнения в том, что наиболее мощные из химических сил имеют электрическое происхождение“ (II, p. 313). Обширной механике электричества, постепенно поглощающей едва ли не всю физику, придется, повидимому, овладеть и химией. Самые последние труды покойного посвящены также электричеству: он подводит уравнения электромагнитного поля, в форме, данной им Герцом, под свой принцип наименьшего действия (1892 г.), дает оригинальную электрохимическую теорию дисперсии света (1893 г.) и начинает исследования о движениях свободного эфира с точки зрения теории Максвелла (1893 г.). Этот последний труд оказался неоконченным.

V

Я старался в этом очерке, — боюсь, слишком длинном и сухом, — проследить подвиг Гельмгольца на поприще собственно физики, указывая именно на те работы, где он брался за самые широкие и новые задачи науки, внося по-

* „Erhaltung d. Kraft“, p. 44 (*Wiss. Abh.*, I, p. 46).

** Подробнее см. в лекции А. П. Соколова, в книге Г. фон-Гельмгольтц. (*Прим. К. А. Тимирязева.*)

всюду новый свет и новые пути. Я остановился на исследованиях по теплоте, электричеству и молекулярным (химическим) действиям, и на тех, где общая связь деятелей природы и подчинение одним и тем же верховным принципам выражены с такой смелостью и силой обобщения.

Три краеугольные вопроса можно отметить в нашей науке — вопросы, ведущие начало от Ньютона.

1. Довлеет ли механика (в общем смысле слова) для всей физики, т. е. может ли она служить достаточным и единственным базисом для теорий теплоты, света, электричества, химизма?

2. Должна ли эта физическая механика опираться на определенные гипотезы о строении вещества и о законах элементарных сил (взаимодействий) или же может пользоваться и другими путями, держась ближе к фактам опыта?

3. Взаимодействия частей вещества суть ли непосредственные действия на большом расстоянии (*actiones in distans*) или же они — даже в так называемой „пустоте“ — суть взаимодействия близких, смежных частей вещества?

Мы видели, в какой мере и в каком смысле отвечает на эти вопросы деятельность Гельмгольца.

Еще Кант утверждал, что „в каждом отделе естествознания есть лишь настолько настоящей науки, насколько в нем найдется математики“ *, а математика в естествознании и значит — механика (в общем значении слова). Кантова система „метафизического естествознания“ и была не что иное, как механика.

Но это делалось во имя абсолютного, метафизического знания. А мы, изверившиеся даже в тех метафизических остатках, какими еще дорожит Кант, и готовые еще дальше идти в деле критицизма, мы, подрывающие понятие о силе, как причине движения, усомнившиеся вместе с Гельмгольцем даже в априорности геометрических аксиом, — должны ли и

* „Ich behaupte, dass in jeder besonderen Naturlehre nur so viel *eigentliche* Wissenschaft angetroffen werden könne, als darin Mathematik anzutreffen ist.“ (Kant, *Metaphysische Anfangsgründe der Naturwissenschaft*.)

мы держаться все той же схемы, хотя бы не веруя в ее трансцендентное значение, хотя бы начиная выполнять ее с конца, без надежды подняться до начала?

Не тесно ли нам вращаться в тех же механических рамках, пытаясь заключить в них образ объективируемой нами природы, но нанося наш рисунок лишь черта за чертой, трудным путем научной индукции? Не бесполезно ли иссушает душу это, быть может, одностороннее стремление разыскивать всюду „мертвую“ материю и „слепые“ силы или движения? Не угнетает ли, не приводит ли к отчаянию эта погоня за невозможным, без веры в абсолютность руководящих нами основ, в достижимость нашего идеала — „окончательного“ анализа явлений?

Ответом служит весь духовный облик Гельмгольца — этого натуралиста-психолога, натуралиста-эстетика, богатую натуру которого не смущает ни сухость, ни условность нашего знания, — которому „взгляд художника, взгляд Гёте и Леонардо да-Винчи“, представляется обязательной принадлежностью истинного исследователя (II, р 249). Ответом служат глубокие и поэтические страницы, обильно рассыпанные и в его популярных беседах, и в его специальных трактатах.

Откроем две из таких страниц.

„Мы не победим механизма материи простым его отрицанием, — говорит он в этюде о Гёте, — мы победим его, лишь подчиняя этот механизм целям нашего духовного существа. Мы должны узнать его рычаги и веревки, хотя бы этим нарушалось наше поэтическое созерцание природы, — узнать затем, что бы управлять ими по нашей воле. В этом — полноправность физического исследования и его великое значение для культуры человеческого рода“ (I, р. 23).

„До сих пор, впрочем, — говорит Гельмголец при другом случае, — действительность, перед испытующей ее законы наукой, разоблачается в гораздо более возвышенном и богатом виде, чем умели рисовать ее крайние усилия мифической фантазии и метафизического умозрения. Что значат все эти чудовищные вымыслы индейской мечты, это нагромождение исполинских размеров и чисел, — что значат они перед действительностью мирового здания, перед теми периодами времени, в течение которых образовались солнце и земля, в течение которых развивалась жизнь в геологической истории, приспособляясь своими

все более и более совершенными формами к более спокойным состояниям нашей планеты?

„Какая метафизика подготовила понятия о взаимодействиях между магнитами и движущимся электричеством — об этих явлениях, сведение которых к хорошо определенным элементарным действиям составляет в настоящую минуту еще предмет борьбы для физики, не пришедшей к ясному заключению. А между тем уже и теперь мы начинаем думать, что свет есть не что иное, как другая форма движения тех же двух деятелей, и эфир, наполняющий пространство, получает совершенно новые характеристические свойства, как среда, способная намагничиваться и электризоваться.

„И в какую схему схоластических понятий должен быть занесен этот запас способной к действиям энергии, постоянство которого утверждается законом сохранения, — запас, не разрушимый и не умножаемый, как субстанция, этот деятельный стимул во всяком движении безжизненного и живого вещества, этот протей, облекающийся в новые и новые формы, действующий через бесконечное пространство и, однако же, не делимый, как пространство, без остатка, — это действующее в каждом действии, движущее в каждом движении и, однако же, не дух и не материя? Не его ли предчувствовал поэт?

In Lebensfluthen, im Thatensturm,
Wall'ich auf und ab,
Webe hin und her!
Geburt und Grab,
Ein ewiges Meer,
Ein wechselnd Weben,
Ein glühend Leben,
So schaff' ich am sausenden Webstuhl der Zeit,
Und wirke der Gottheit lebendiges Kleid.

„Мы, пылинки на поверхности нашей планеты, которая сама едва может называться песчинкой в бесконечном пространстве вселенной, мы, младший род между обитателями земли, по геологическому исчислению едва вышедший из колыбели, — еще в стадии обучения, едва ли на половине нашей школы, — считающий себя совершеннолетним лишь по сравнению и, однако, уже переросший всех живущих с нами тварей, благодаря более мощному давлению закона

причинности, и побеждающий их в борьбе за существование, — мы поистине имеем основание гордиться, что нам дано путем преданной работы медленно научиться пониманию „непостижимо высоких дел“ —

Der unbegreiflich hohen Werke, —

и не должны мы нимало смущаться стыдом, если это не удастся сразу, в первом натиске Икарова полета“ (II, p. 250—251).

Я не касался глубоко интересных и изящных исследований, которые не мало содействовали славе покойного и отчасти, по сравнительной легкости задач, вылились в более законченные формы, но которые стоят как бы в стороне от занимавшего нас главного течения. Таковы, например, работы в области механики собственно — гидродинамические исследования вихревых движений, жидкого трения, жидких лучей, звучащих труб. Для могучего ума, устремленного на таинственную, едва начинающую разоблачаться „физику невесомых“, работа в более установившейся области была сравнительно легка, требуя преодоления только формальных математических трудностей. А между тем крупное имя в науке дала бы ученому одна эта работа о вихрях*. Она послужила исходной точкой для целой отрасли гидродинамики и дала ценные приемы исследования для других отделов физики.

Эти работы были не столько отдохновением ума, который, повидимому, не знал усталости, сколько попутными шагами в направлении к более трудной цели. А цель эта представлялась Гельмгольцу двойной: будучи физиком, он был и психофизиолог. Мощно содействуя построению механики природы, он исследовал с неменьшей настойчивостью и успехом, как чувствующий и познающий человек отзывается на этот механизм, — как слагается эта механика как продукт нашей психической деятельности.

„Проникал я и в другую область, — говорит он в своей автобиографической речи, — куда вели меня исследования

* Ей преимущественно посвящена лекция Н. Е. Жуковского в книге Г. фон-Гельмгольца.

о чувственных ощущениях и восприятиях, в область теории познания. Физик, желающий работать с телескопом или гальванометром, должен их исследовать, должен выяснить себе, что могут дать ему эти снаряды, в чем могут обмануть его. Точно так же казалось мне обязательным исследовать свойства и действия нашей мыслительной способности. Дело шло здесь о некоторых фактических вопросах, на которые можно и должно дать определенный ответ. Мы получаем известные чувственные впечатления, мы умеем действовать в силу этих впечатлений. В общем правиле, результат действия совпадает с тем, какой мы ожидаем видеть; иногда, при так называемых обманах чувств, совпадения нет. Все это — объективные факты, которых закономерное соотношение доступно исследованию. Самый существенный вывод, к какому я пришел, состоял в том, что чувственные впечатления суть только отметки качеств внешнего мира — знаки, истолкованию которых мы должны научиться из опыта^{*}. Об этой стороне деятельности Гельмгольца расскажет нам И. М. Сеченов; я же замечу только, что многие из незатронутых мной собственно физических работ и открытий великого физика-физиолога (как, например, акустические) тесно примыкают к физиологии чувств и именно для нее имеют особенную цену^{**}.

Буду надеяться, что, как ни бледен этот очерк, он даст некоторое понятие или напоминание о том, чего лишилась наука в лице Гельмгольца. Никакое количество малых разрозненных деятелей не заменит потерю этой удивительной духовной лаборатории, в которой органически связывались все нити научной мысли, все потенции дальнейшего исследования природы — как в ее объективированном внешнем облике, так и в объективирующей психии. Счастливы то время, которое имело подобных деятелей. Два-три таких человека делают науку своей эпохи, остальные силы сосредоточены около этих избранников. Менее счастливые времена питаются тем, что ими было посеяно. При жизни

^{*} Г. фон-Гельмгольтц, р. XXIII—XXIV

^{**} См лекции А. Н. Маклакова, Ф. П. Шереметевского и автора настоящей статьи в книге Г. фон-Гельмгольтц.

своей Гельмгольц сеял науку не только как исследователь, но и как руководитель многих и многих, воспитавшихся в его институте — эгом международном рассаднике ученых деятелей. Об этой стороне дорогого ему дела он говорит нам следующее:

„Мало-помалу из собственного опыта слагается представление о том, каким образом мысли, нами пущенные в ход, будет ли то путем литературы или изустного преподавания, как эти мысли продолжают действовать среди современников, продолжают как бы жить самостоятельной жизнью, как они разрабатываются далее нашими учениками, получают более богатое содержание и более прочную форму, и нам самим в свою очередь приносят новое поучение. Естественно, что собственные мысли каждого прочнее, чем чужие, связаны со всем его умственным кругозором, и, следя за развитием этих своих мыслей, он чувствует себя более ободренным и удовлетворенным. Ко всякому такому детищу ума у родителя развивается под конец своего рода отцовская любовь; она побуждает его так же хлопотать и ратовать за этих чад, как и за настоящих детей по плоти.

„Но в то же время перед научным деятелем выступает вся совокупная мысль цивилизованного человечества, как одно живущее и развивающееся целое, чья жизнь представляется вечностью в сравнении с коротким жизненным сроком отдельного лица. Он видит себя, со своими скромными трудами на пользу науки, поставленным на служение вечному и святому делу, к которому привязан тесными узами любви. Собственная работа освящается для него этим сознанием. Теоретически понять это сумеет, быть может, всякий; но чтобы это понимание развилось до степени нравственного чувства, нужен собственный опыт.

„Свет, неохотно верующий в идеальные побуждения, зовет это чувство славолубием. Но есть решительный признак, чтобы различить эти два настроения. Задай себе вопрос: все ли равно тебе, будут ли признаны твоими, или нет, результаты твоих изысканий? . . . По отношению к руководителям лабораторий ответ особенно ясен. Учителю постоянно приходится отдавать другим и главную идею работы, и множество советов, как преодолеть новые экспериментальные препятствия, — советов, требующих большей или меньшей изобретательности. Все это переходит в работу ученика и под конец, если работа удалась, публи-

куется от его имени. Кто потом разберет, что внес один, что — собственность другого? А разве мало учителей, которые в этом отношении свободны от всякого ревнивого чувства**

Эта жизнь идей великого учителя будет, как „остающееся движение“ (bleibende Bewegung), длиться и теперь, когда умолкло живое слово того, кто отечески ратовал и хлопотал за них. „Семя, упавшее на добрую почву, взойдет и принесет плод сторичный“, а память человека, „посеявшего доброе семя на поле своем“, не умрет в благодарном человечестве.

* *L c.*, p. XXVI—XXVII.

ЛЕОНАРДО ДА-ВИНЧИ КАК ЕСТЕСТВОИСПЫТАТЕЛЬ *

His knowledge was almost preternaturall
Hallam.

Die ungeheueren Umrissе von Leonardo's
Wesen wird man ewig nur von ferne ahnen
können

Burckhardt.

I

Знаменитый ученый, недавнюю кончину которого мы не перестаем оплакивать, — Герман фон-Гельмгольц, в одной из своих блестящих популярных бесед сопоставляет два славных имени как образец высокоразвитого дара „художественной индукции“ (*kunstlerische Induction*), указывая, что обладатели такого дара не только достигали великого в искусстве, но оставляли глубокий след и в науке своего времени. Это — имена Гете и Леонардо да-Винчи. Известно, что тот и другой посвятили много труда занятиям научным; известно, что у них мы находим предвосхищение двух самых плодотворных идей современного естествознания — идеи эволюции (у Гёте), идеи сохранения энергии (у Винчи).

Сопоставление этих двух гигантов — едва ли не единственных, в таком масштабе, совместителей художественного и научного творчества — нельзя не признать чрезвычайно метким. Признаюсь, это сравнение вновь мелькало передо мной все время, пока я, в виду настоящего реферата, подробнее знакомился, насколько мог, и с биографией Леонардо, и с его многоразличными сочинениями. Сближение двух натур напрашивается невольно. Мишле сравнивает

* Читано в Московском обществе любителей художеств 21 декабря 1895 г.

Винчи с Фаустом, делом и образом всей жизни Гёте, хотя это не Фауст первой части трагедии, тревожный мистик и искатель наслаждений, а скорее Фауст последних сцен — отрезвленный и уравновешенный человек дела, осушитель берегов и болот. Но при общем сходстве найдется, как увидим, и черта различия между двумя художниками и притом такая, которая, на мой взгляд, дает Винчи, как научному деятелю, перевес над „олимпийцем“ XIX века.

Общие черты, которые я хочу наметить на первом плане, касаются как физической и духовной природы двух великих людей, так и внешних обстоятельств их жизни. Различие двух эпох, разделенных трехсотлетним промежутком, конечно, сказалось на двух биографиях, но и с этой стороны нам представится не мало сходного.

Леонардо, как и Гете, описывают как редкого красавца, как счастливо развитую физическую организацию. Леонардо, как и Гёте, весь свой век занят всевозможными вопросами знания и искусства, и нет предмета, которому бы он не посвятил внимания с характеризующими его жаром и успехом. Попеременно — то первый скрипач и импровизатор у Лодовико Сфорца (il Moro), то архитектор и главный инженер (architetto ed ingegnere generale) при Цезаре Борджиа, то придворный живописец короля Франсуа I, — Леонардо и по внешнему своему положению представляется истинным протеем; по объему своих занятий он еще универсальнее, чем министр веймарского герцога. Тот и другой зато холодны и индифферентны к вопросам политики и с бесстрастностью, за которую получали не мало упреков, относятся к бедственным судьбам отечества, и там и здесь подвергавшегося чужеземному (именно — французскому) нашествию. Упреки едва ли законны в применении к людям такого калибра; они стояли целой головой выше своих современников и не могли не чувствовать, что их дело переживет славу Карлов VIII и даже Наполеонов; смотреть на проходящие вещи и интересы минуты *sub specie aeterni* было им по меньшей мере прощательно. Оба художника относятся скептически к положительной религии, оба наклонны к пантеизму: мистический финал Фауста не помешал Гёте прослыть „великим язычником“, и Винчи, несмотря на религиозные сюжеты некоторых его картин, быть может, заслуживал бы того же названия.

Леонардо, как и Гёте, проводит жизнь при мелких дворах различных отцов своего отечества, столь же многочисленных в Италии XV века, как и в Германии XVIII. Оба играют видную роль, пользуются своим положением для добрых и серьезных целей и в то же время составляют, как говорится, „душу общества“ в своем кругу, внося оживление, возбуждая художественные интересы, устраивая спектакли, торжества и т. п.

Фигуры, стоящие во главе круга там и здесь, конечно, далеко не одинаковы, как не одинаковы две эпохи. Скромный друг Гёте, Карл Август, не похож ни на Моро, ни на Борджиа, покровителей Винчи. Тот Sturm und Drang, который, по выражению одного автора, самолично сел на веймарский трон в особе помянутого герцога, не имеет ничего общего с той атмосферой злодеяний, какой окружены итальянские condottieri Возрождения. Та мирная, провинциальная и несколько комическая окраска, которая соединяется с мыслью о маленьком немецком дворе эпохи Гете, и находит себе такое меткое выражение в *Kome Murpe* Гофмана, отсутствует или маскируется другими чертами, когда переносимся в Италию времен Леонардо. Пылкий темперамент жителей юга и суровость эпохи, так часто переходящей в настоящую *bellum omnium contra omnes*, знаменуются здесь более резкими штрихами — картинами оргий и убийств, изуверства и разврата, авантюризма и подвижничества. Яркое изображение этой жизни мы находим в записях Челлини, одного из младших сверстников нашего художника.

Но есть и общие черты у двух эпох, черты и крупные и мелкие. Там и здесь повседневная жизнь и узкие местные происшествия рисуются на фоне зреющего великого переворота в области идей и общественных отношений — переворота, который в одном случае мы называем Ренессансом и Реформацией, в другом — Революцией. Там и здесь раздробленная страна, не умеющая сплотиться в сильное целое, стоит беззащитной перед мощным внешним врагом. Там и здесь — увлечение интеллектуальными интересами, частью искреннее, частью напускное, меценатство магнатов, соревнование различных центров науки и искусства. Там и здесь трезвая научная метода прорывается с борьбой — то через схоластику средних веков, то через новейшую схоластику метафизической философии.

Я уже намекнул, что в области научного мышления Винчи представляется более сильным, более многосторонним, чем творец Фауста. Гёте всюду остается художником, поэтом, пророком: в этом — но и только в этом — его сила даже в сфере науки. Гениальная интуиция, орлиный взор, с высоты охватывающий сложную группу явлений и в ее кажущемся хаосе уловляющий черты закономерности, — таков его прием. Дар, драгоценный на первых порах исследования, необходимый для всякого крупного научного деятеля. Но *один* этот прием не исчерпывает научного дела. За первым охватом целого и первым смутным чаянием новой законности должна следовать собственно научная работа логического расчленения и всяческих испытаний мелькнувшей догадки, причем главными орудиями являются умышленный опыт и математический анализ. Только тогда получается полноправное, истинно научное освещение предмета.

Гёте не владеет этой второй стадией научного дела, он чуждается и боится ее по натуре, отрицает ее по принципу. Расчленение целого, внимание к деталям, обращение к искусственному опыту, попытка подвести естественное явление под математическую мерку — все это кажется ему бесплодным и вредным посягательством на цельность и жизненность природы. „Одно явление, один опыт, ничего не доказывает, это — звено великой цепи, имеющее значение лишь в общей связи“. „Физика от математики должна стоять отдельно“. „Природа немеет на пытке“*.

Такое отношение к научным вопросам особенно ярко выразилось у Гёте в его знаменитом *Учении о цветах* (Farbenlehre), в несчастной полемике с ньютоновым объяснением цветности. Здесь как раз ему пришлось изучать предмет, где первая стадия уже пройдена, где первый взгляд и первое чутье, — позволявшие Гёте так многое угадать в области сравнительной анатомии и метаморфозы органов, — оказывались уже не своевременными и недостаточными. Между тем, поэт и здесь стоит в пределах *наблюдений*, презирая *опыт*. Спектры, „вымученные“ призмами и тон-

* Ein Phänomen, ein Versuch kann nichts beweisen, es ist das Glied einer grossen Kette, das erst im Zusammenhange gilt. — Als getrennt muss sich darstellen: Physik von Mathematik. — Die Natur verstummt auf der Folter.

кими щелями, служат ему нестойким предметом насмешек. Повторять такие опыты он не считает нужным: он хочет оставаться в ясном солнечном свете, под открытым небом; он не желает, чтобы впечатление нарушалось путем противоречивых „перехитренных“ (überkünstelte) комбинаций. И вот, несмотря на массу метких и верных замечаний, несмотря на то, что и в главной идее сочинения можно отыскать ценную сторону*, *Farbenlehre* в целом производит на современного читателя впечатление тягостное и жалкое, хотя сам автор ставил этот труд выше своей бессмертной поэзии.

Таким образом Гёте, несмотря на глубокий интерес к наблюдению природы и настойчивые занятия естествознанием, в общем и здесь является скорее поэтом или философом в смысле древности и средних веков, чем ученым исследователем в новом значении этого слова. Он напоминает то Аристотеля (с которым сходится во взгляде на цвета), то даже Парацельса; это — не Ньютон и не Дарвин, не только по размеру, но и по духу своей работы; ему дается в науке то, что требует художественной интуиции и еще не допускает сознательно проведенной индуктивной обработки**. „Гёте, — говорит Гельмгольц, — стоит перед природой, как перед художественным произведением. Как эстетически чуткий зритель трагедии, он тонко чувствует, как все детали сочлняются и совместно действуют под господством общего плана, и живо наслаждается этой художественной целесообразностью, но не может логическими понятиями выразить руководящую идею целого“. Он не стремится проникнуть за кулисы, боясь, что это только помешает впечатлению. „Ничего не следует искать за явлениями: они сами и есть учение“ (Man suche nur nichts hinter den Phänomenen sie selbst sind die Lehre). Ньютонов анализ белого света подрывает

* Современные исследования цветорассеяния (дисперсии) света более и более выдвигают связь между этим явлением и большим или меньшим несовершенством прозрачности тел, в которых распространяется свет. В этом смысле идея Гёте (о происхождении цветов вследствие мутности сред) получает некоторое оправдание.

** „Wo es sich um Aufgaben handelt, die durch die in Anschauungsbildern sich ergebenden dichterischen Devinationen gelöst werden können, hat sich der Dichter der höchsten Leistungen fähig gezeigt; wo nur die bewusst durchgeführte inductive Methode hätte helfen können, ist er gescheitert“. Н. v. Helmholtz, *Goethe's Vorahnungen kommender naturwiss. Ideen (Deutsche Rundschau, Bd. 72, p. 132, Juli 1892)*

эту веру в непосредственную истинность чувственного впечатления; с чутьем тяжких последствий такой критики, Гёте пытается отстоять полноправность чувства против ударов науки.

Можно бы думать, что таков по самому складу своей природы будет всякий художник, когда он обращается к научному изучению природы. Но именно Леонардо да-Винчи представляет нам блестящий пример противоположного — пример, едва ли не единственный в таком масштабе. Первоклассный *художник* уживается здесь с *исследователем*, который восхваляет опыт, как единственную основу знания, и признает математический анализ необходимым горнилом истинного исследования. По своим взглядам и приемам Винчи, гораздо более чем Гёте, — человек *нового времени*, и это тем изумительнее, что он жил за целый век до Фр. Бекона, Галилея и Декарта, за два века до Ньютона.

III

Чтобы правильно оценить всю необычайность такого явления, всю духовную мощь этого исключительного человека, нужно вспомнить, с какой эпохой мы имеем здесь дело. В истории науки это — последний час долгой средневековой ночи, первый проблеск наступающего рассвета. Бесплодной пустыней, с редкими оазисами (вроде, например, Роджера Бекона), представляется нам ряд предшествовавших столетий. Из слабого запаса античных знаний (среди которого так блещет имя Архимеда, основателя механики) многое затеряно, другое искажено. Мысль, окованная схоластикой и подчинением авторитету, либо толчется в словопрениях, либо разбавляет малую дозу неумелого опыта обилием странных фантазий и не двигается дальше. Ни трезвого, жизнерадостного внимания к урокам природы, ни вольного полета самодовлеющей мысли не проявляет сонный и пугливый дух, объятый кошмаром: для него

„Natur ist Sunde, Geist ist Teufel,
Sie hegen zwischen sich den Zweifel,
ihr missgestaltet Zwitterkind“.

Магия, астрология и алхимия, наряду с теологическими тонкостями, — вот единственная пища пытливого ума. В конце

периода, на пороге Новой истории, возрождение словесности и искусства уже начато. Опыт уже процветает в области искусства и его применений, прежде чем будет признан основой изучения природы. Но возрождение науки, собственно, начнется позже, а пока идет лишь подготовительное брожение. Это брожение почти не оставило письменных следов, но о нем свидетельствует самая возможность такого феномена, как Леонардо да-Винчи.

Винчи — современник Парацельса, современник Колумба и Коперника. Первая печатная библия Гуттенберга является на свет в годы младенчества Леонардо, а открытие Нового Света совпадает с его зрелым возрастом (и совершилось, быть может, не без его влияния). Но знаменитое творение Коперника, перевернувшее прежний взгляд на мир, явилось уже через 24 года по смерти Винчи, а затем еще 20 лет пройдут, прежде чем родится Галилей. При жизни Леонардо проблески новой астрономии находим только у Николая Кузанского, который смутно воскрешает древнее учение о движении земли и, снимая традиционную грань между *элементным* (земным) и *астральным*, провозглашает афоризм, позже повторенный Паскалем, что вселенная имеет центр — повсюду, окружность — нигде.

На этом-то фоне выделяется мощная фигура человека, в котором, как в фокусе, сосредоточилась глухая и мало нам известная работа раннего возрождения науки. Историк Халлам называет познания Винчи „почти сверхестественными“. В речах и действиях его мы забываем эпоху и как бы переносимся на целые века вперед. Эти речи еще не могли иметь широкого влияния вокруг, как было с открытиями Галилея. Рукописи Леонардо писались для себя, как материалы или программы будущих работ, как наброски исполинской энциклопедии, не доведенной до конца. По странному капризу, художник дает им необычную форму: он пишет на выворот, справа налево. Он образует около себя небольшую „академию“, но не пускает в широкий оборот свои труды — оттого ли, что недоволен их неполнотой и не находит времени для обработки, оттого ли, что чувствует их несвоевременность: такие идеи и много позже приводили на пытку и костер людей, полагававших, что назрело время для проповеди... Большинство этих отрывков слишком долго оставалось под спудом: только теперь их издание близится к концу.

и позволяет яснее оценить *ученого* в давно прославленном *художнике*. Но и теперь можно повторить, вслед за Буркхардтом, что „колоссальные очертания натуры Леонардо навсегда останутся предметом отдаленной и смутной догадки“ *.

В чем же состоит его научная метода?

Предваряя Бекона и Декарта, Леонардо да-Винчи проповедует *опыт* — как исходную точку естествознания, *математическую форму* — как заключительную стадию. „Мудрость есть дочь опыта“. „Опыт — общая мать наук и искусств“. „Опыт — посредник между творческой природой (*artificiosa natura*) и людьми“. „И хотя природа начинает с рассуждения (причины) и кончает опытом, нам надо действовать наоборот, т. е. начинать с опыта и от него итти к разъяснению причины“. „При исследовании задач естествознания я прежде всего делаю некоторые опыты, ибо мое намерение — поставить задачу на основании опыта и затем доказать, почему тела принуждены действовать указанным образом“. „Опыт никогда не обманывает: обманывают нас только наши суждения, обещая от опыта то, что не лежит в его власти. Напрасно люди жалуются на опыт, с великими упреками обвиняют его во лживости: опыт не виноват, виновны наши пожелания тщетные и безумные“. „Говорят, будто зрение препятствует внимательному и тонкому умственному познанию, коим проникаем в божественные тайны науки, и будто препятствие это побудило одного философа лишить себя зрения. На это отвечаю, что глаз, как владыка чувств, исполняет свой долг, поставляя препятствие тем смутным и обманчивым рассуждениям (не скажу — знаниям), которые постоянно

* Всех манускриптов, хранящихся в Италии, Франции и Англии, насчитывается 42, размером от 4 до 1222 стр., не считая отдельных листков. До конца XVIII века были изданы только отрывки о живописи (*Trattato della Pittura*, 1651 г.) В 1797 г. Venturi дает первый разбор физико-математических трудов. В 1826 г. издан *Trattato del moto e misure dell'acque*, в 1872 г. — часть самого обширного манускрипта (*Codex Atlanticus*), в 1883 г. — большой сборник J. P. Richter'a. В последнее время предприняты факсимильные (фототипические) издания так изданы французские рукописи Ravaisson-Mollien'ом (1881—1891 гг.) и некоторые другие и начато подобное издание *Codex Atlanticus*. Обзор трудов Винчи по новым данным дает Séailles (*L. de Vinci, l'artiste et le savant*, Paris, 1892). Его книга служила главным источником при составлении предлагаемого очерка

служат предметом диспутов, при великих криках и махании рук. И если тот философ лишил себя глаз, чтобы удалить препятствие к таким рассуждениям, — будь уверен, что это действие повлияло на его мозг и рассуждения, ибо все это было одним безумством“.

Один опыт, чистый эмпиризм недостаточен: опыт должен опираться на размышление: „Природа полна бесконечных причин (ragioni), коих никогда не было в опыте“. Не довольно констатировать факт, надо понять его. „Чувства наши имеют земную природу; разум держится вне их, когда созерцает“. „Те, кто прилепляются к практике без знания, подобны мореплавателю без руля и компаса; он никогда не знает наверное, куда идет. Всегда практика должна опираться на хорошую теорию“. „Теория — полководец, практика — солдаты“.

Выражением теории и служит математическая обработка предмета. „Никакое человеческое исследование не может назваться настоящим знанием, если не прошло через математические доказательства“ — мысль, почти буквально повторенная Кантом. Непрестанному шуму (eterno gridore) софистических пререканий противопоставляется, как образец науки, бесспорная математика, где нет пищи для „криков“.

В математике Леонардо имеет обширные сведения. Он употребляет буквенное обозначение алгебры, пользуется (едва ли не первый) знаками $+$ и $-$, решает задачи геометрическим построением, видит невозможность квадратуры круга. Он рассматривает поверхность как предел тела, линию как предел поверхности; он занимается звездчатыми многоугольниками, различает кривые плоские и кривые двойкой кривизны, ищет общей методы развертывания поверхностей на плоскость, говорит о каустиках, умеет механически чертить эллипс и прилагает этот прием к устройству токарного станка для выделки овалов. *Bonissimo geometra* называет его Вазари.

Индукция — как метода, дедуктивная математическая форма — как идеал науки, такова, выражаясь на современном языке, программа Леонардо. „Эти краткие рассуждения о методе, — замечает Дюринг, — гораздо более попадают в цель, чем все то, что позднейшие философы, в особенности же Бекон Веруламский, могли изложить в обширных сочинениях“.

Поборник таких идей не может достаточно излить свое презрение к власти авторитета и книжного знания, еще царившей в его время „Те, кто не обращаются к природе... скажу громко, суть малые дети. Природа одна есть учитель истинного гения. И посмотрите, какая глупость! Смеются над человеком, который лучше хочет учиться от природы, чем от авторов, кои, однако же, только ученики ее“... „Они ходят спесивые и надутые, одетые и разукрашенные не своими, а чужими трудами, и не хотят предоставить мне моих собственных. Они презирают меня, изобретателя; но насколько же больших порицаний заслуживают они сами — не изобретатели, а трубачи и пересказчики (*trombette e recitatori*) чужих трудов... Изобретатели, посредники между природой и человеком, в сравнении с этими фанфаронами и декламаторами чужих дел, должны почитаться не иначе, как предмет, стоящий перед зеркалом, сравнительно с кажущимся в зеркале подобием предмета, которое само по себе есть ничто“.

Леонардо — враг сверхестественного, чудесного, чем так изобиловали *quasi*-науки его времени. Истинное чудо есть неизменность законов природы — необходимость, ею управляющая. Прежде всего он скептически относится к так называемой магии, еще царившей повсюду. К концу XV века преследование ведьм и колдунов, получив санкцию папы Иннокентия VIII (булла 1484 г.), стало разгораться с особой силой, особенно в Германии, где вскоре появляется особый кодекс для судей, занятых бесчисленными процессами этого рода, пресловутый *Молот ведьм* (*Malleus maleficarum*) Шпренгера (1489 г.). Другое „классическое“ руководство по этой части *Демонomania* (*Démonomanie des sorciers*) Бодена выходит почти сто лет спустя, когда новая волна преследований принимает особенно ожесточенный характер, и вместе с тем, уже множатся попытки протеста против повального суеверия. Далеко упреждая свой век, Винчи резко высказывается против веры в некромантию, черную и белую магию. „Из всех человеческих мнений самое безумное, конечно, вера в некромантию, сестру алхимии... Духи, говорящие без языка, действующие без органов, пускающие дождь и бурю; люди, обращенные в кошек, волков и других животных!... А по правде сказать, вот те, кто утверждают такие вещи, те именно

превратились в скотов“ „Не может быть голоса там, где нет движения и удара воздуха; не может быть такого удара там, где нет органа (*strumento*); а бестелесный орган невозможен. Так что если и есть такой дух, он не может иметь ни голоса, ни вида, ни силы; а если облечется телом, не сможет проникать сквозь запертые двери. И буде кто скажет, что дух принимает разнообразные тела через сгущение воздуха (*per aria congregata e ristretta insieme*) и что этим-то способом он говорит и движется, оказывая силу, — на это скажу, что где нет нервов и костей, там не может производиться силы (*non puo esser forza operata*) в каком-либо движении таких воображаемых духов“. С Леонардо, надо думать, не могло бы случиться тех чудесных происшествий, о каких повествует Бенвенуто Челлини.

Не менее сильно ратует он против алхимиков. Хотя в их трудах Винчи здраво ценит зачатки действительной науки (химии), но претензия превращать металлы встречает его полное осуждение. Стремление произвести все металлы из ртути он уподобляет попытке вырастить яблоню из дуба. „Лживые истолкователи природы, они утверждают, будто ртуть есть общее семя всех металлов, забывая, что природа разнообразит семена согласно с разнообразием вещей, какие хочет произвести“.

С прозорливостью, еще более удивительной, Винчи ополчается и против поисков „вечного движения“ (*perpetuum mobile*), т. е. машины самодовлеющей и не требующей двигателя. Эту химеру он приравнивает к алхимии. „О, измыслители вечного движения, сколько пустых затей пустили вы на свет при этих розысках! ... ступайте к искателям золота“. Известно, что окончательное отречение от химеры, — водворение „принципа сохранения энергии“, — принадлежит уже середине текущего столетия (Майер, Гельмгольц): здесь Винчи на 350 лет предупредил свою эпоху.

Чуждый суеверий, Леонардо и к вопросам религиозным относится как рационалист. Он не только с резкостью Боккачио издевается над пороками и злоупотреблениями современного ему духовенства, но и своего знаменитого сверстника Савонаролу (друга Микель-Анджело) считает опасным сумасбродом. Винчи не придет на ум принять tonsуру, как сделал на время, в конце своей жизни, Бенвенуто Челлини.

Как же формулируется для Винчи существо истинной науки о природе, в чем ее главный нерв и корень?

Всякое действие необходимо производится через движение (*ogni azione bisogna che s'esercita per moto*). Первоисточником вещественного движения он склонен принять некоторое спиритуальное движение (*moto spirituale*) или стремление: *желание* есть квинт-эссенция деятельности природы.

Таким образом, за сто лет до Декарта, Винчи признает в *механике* идеал знания; из древних он преклоняется перед Архимедом. „Механика есть рай математических знаний, ибо с ее помощью мы доходим до плода математики (*si viene al frutto matematico*)“. Зоркая оценка важности механики, правильное чутье, заставляющее отыскивать „механизм“ во всех явлениях физического мира, это — одна из самых удивительных особенностей Леонардо. В наши дни, когда в среде самих физиков кружок лиц, недовольных медленностью механического истолкования явлений, не прочь возобновить нечто вроде магической философии в новой (и, конечно, менее экстравагантной) форме, — не мешает вновь и вновь указывать на верный инстинкт настоящих корифеев естествознания, в назидание и в предостережение...

Энтузиазм к механике у Винчи — не платоническое чувство: он знает и угадывает поразительно многое для своего времени, являясь продолжателем Архимеда и предшественником Галилея.

Архимед положил начало статике, науке о равновесии, ему известно правило прямого рычага (для сил, перпендикулярных к рычагу). Обобщение теории рычага, а также и общее правило равновесия (так называемый „принцип возможных перемещений“) в применении к простейшим случаям приписываются обыкновенно маркизу дель-Монте (*Guido Ubaldi*) и Стевину. Между тем то и другое уже находим у Леонардо. Рассуждая о рычаге, он пользуется понятием о моменте силы: действие силы, как угодно направленной, он измеряет произведением ее на „потенциальный рычаг“ (т. е. на расстояние линии силы от точки опоры). Он видит, далее, что выигрыш в силе соответствует проигрышу в скорости: это и есть правило возможных перемещений для рычага.

То же правило он выражает в более общей форме для любой машины.

Рассматривая равновесие на блоке, Винчи видит здесь случай рычага и выводит закон для подвижного блока. Особым остроумным приемом из принципа рычага выводится закон равновесия на наклонной плоскости. Подобным образом рассматриваются ворот, клин и винт. Для оценки действия машин придумывается динамометр. — Разрабатывая архимедово учение о центре тяжести, Винчи указывает, как найти центр тяжести пирамиды.

Отцом динамики (кинетики) считается обыкновенно Галилей, учение которого дополнено впоследствии Ньютоном. Но Леонардо предупреждает Галилея. Для него вполне ясен галилеев принцип инерции (косности) вещества — первый из трех законов Ньютона; Винчи формулирует его с двух сторон: 1) Ничто доступное чувству не может двинуться само собой, 2) Всякое естественное движение желает сохранить свое течение по начальной линии, или всякое тело „весит“ в сторону своего движения. Этот вес (*peso*) движущегося тела — по-нашему кинетическая энергия — может быть уничтожен только силой, может произвести удар. Терминология еще запутана, слова: „вес“, „сила“ — употребляются не так, как в наше время, и нужен перевод, не всегда, конечно, надежный.

Винчи понимает пропорциональность силы и сообщаемой ею скорости, сложение и разложение действий сил, т. е. все содержание 2-го закона Ньютона. Он понимает, что движение тела, вертикально брошенного вверх и возвращающегося к месту, откуда брошено, несмотря на вращение земли, есть в сущности криволинейное; понимает, что при постоянном действии силы движение ускоряется, как и бывает у падающих тел; он знает, что здесь скорость растет пропорционально времени. Он указывает опыты над падением тел, старается оценить влияние сопротивления воздуха. Движение вниз по наклонной плоскости — такого же рода, только замедлено в отношении высоты к длине.

Наконец, из этюдов Винчи о полете птиц видно, что он знает и 3-й закон Ньютона — равенство действия и противодействия. „Предмет ударяет о воздух с такой же силой, с какой воздух ударяет о предмет“ (*tanta*

forza si fa colla cosa incontro all'aria, quanto l'aria alla cosa).

Таким образом все три основные аксиомы движения уже знакомы Леонардо, хотя, конечно, не дали в его руках тех плодов, какие извлек Ньютон Мы уже заметили, что ему ясна невозможность вечного движения. В другом изречении можно видеть и зачаток „принципа наименьшего действия“: „Всякое естественное действие производится природой кратчайшим образом и в возможно краткое время“.

Вопросы об ударе тел, о сопротивлении твердых материалов и о трении, важные для Леонардо как для практика, сильно занимают его. Определяя удар как „силу, сосредоточенную на малое время (*potenza ridotta in piccol tempo*)“, он рассматривает влияние на него различных условий. Он имеет правильное представление о сопротивлении давлению, сгибанию, вытягиванию. За 200 лет до Амонтона и за 300 до Кулона он находит все главные законы трения (пропорциональность трения давлению, независимость от величины трущихся поверхностей, различие между трением катящихся и скользящих тел)

В механике жидкостей Леонардо является прямым продолжателем Архимеда и предвосхищает законы, приписываемые Стевину и Паскалю. Ему известны законы сообщающихся сосудов — с одинаковыми и с различными жидкостями. Он замечает центробежный подъем жидкости у краев вращающегося сосуда, наблюдает процесс истечения через отверстие, формы струй, образование вихрей на поверхности истекающей жидкости. Он рассуждает о явлениях прилива и отлива. Практические работы побуждают его изучать течение воды по каналу, трение о стенки и пр. Задолго до Каstellи и Торричелли, Винчи становится родоначальником гидравлики. Ему известно и то, что мы называем капиллярностью. Жидкости он приписывает двойную тяжесть — общую и частную последняя обуславливает шарообразный вид элементарных частей.

Воздух, по Винчи, состоит из многих составных частей; он тяжел, беспредельно сжимаем и расширяем, уплотнен внизу, разрежен вверху, упруг, „подобно подушке, которую сжимает спящий“ (сравнение, близкое к позднейшей аналогии Бойля). По своим движениям воздух во многом сходен с водой; это видно, например, в явлении волн.

VI

Леонардо вырабатывает целую теорию волнообразного движения воды и воздуха, с живым чувством важности и изящества этого учения. Когда тяжелое тело проникает в воду, оно смещает ее, делает в ней как бы отверстие, которое вода сейчас заполняет. „Волна есть действие удара, отраженное водой... Волна часто убегает от места, где она зародилась, причем самая вода не смещается. Волны моря похожи на волны, производимые ветром на ниве: и здесь волна пробегает, между тем как колосья не сходят с места“.

„Брось соломинку на круги волн и наблюдай, как она непрерывно колеблется, но не уходит. То же бывает и с водой в волне“. Что произойдет, когда встретятся два круга волн? „Вот прекраснейший и тонкий вопрос“ (*questo é bellissimo quesito e sottile*). Леонардо показывает, что волны при этом пересекаются, не мешая одна другой идти дальше. Его описание игры волн у берега моря напоминает красноречивую страницу в *Tonempfindungen* Гельмгольца.

Подобно воде и воздух может волноваться, и такими-то волнами передается звук. Звук — движение, его начало не в ухе, а в звучащем теле: если тронуть звучащий колокол, он перестает дрожать и умолкает. Леонардо наблюдает правильное движение пыли на поверхности звучащих тел. Звук передается через твердые и жидкие тела; в воздухе он распространяется волнами, напоминающими кольца волн от брошенного в воду камня. „Звуки, проникающие в воздух, удаляются круговым движением от своих источников, имея их постоянно своими центрами“. Когда встретятся две звуковые волны, они скрещиваются без всякой помехи. „Всякий удар о предмет отбрасывается назад под углом, равным углу удара“. Эхо есть такой случай удара звука о препятствие. Наблюдая эхо, можно узнать скорость звука. „Можно ухом определить расстояние громового удара, увидав сперва молнию“.

Музыкант Леонардо знает принцип отзвука (резонанса). „Удар, данный колоколу, вызывает отклик и малое сотрясение в другом подобном колоколе, и звучащая струна лютни возбуждает отклик и сотрясение другой струны, того же голоса, на другой лютне; ты увидишь это, нало-

жив соломинку на вторую струну“ (опыт, приписываемый Галилею).

Как живописец Винчи особенно интересуется явлениями света и зрением. „Художник, рисующий по практике, на глазомер и без рассуждения, подобен зеркалу, которое воспроизводит все вещи, перед ним стоящие, не познавая их“. Леонардо желает познавать. „Всем учениям человеческим должна предпочитаться перспектива“, это „лучшая узда в искусстве живописи“. „Живопись, породившая перспективу, есть мать астрономии. Но для изучения правил перспективы нужно знать законы света и зренья. „Глаз есть владыка чувств“. „Господь, свет всего сущего! просвети меня, чтобы говорить о свете“.

Свет есть вид движения и следует законам движения. Это опять — движение волнообразное. Здесь Винчи предвзает Гюйгенса. „Подобно тому как камень, брошенный в воду, становится центром и причиной различных кругов, подобно тому как звук, произведенный в воздухе, распространяется кругами — так и всякое тело, помещенное в светоносном (luminente) воздухе, распространяется кругообразно, наполняя окружающие части воспроизведением своего образа (specie)“. Лучи света разносят во все стороны подобие посылающего их предмета; при взаимной встрече они скрещиваются без помехи. „Я прошу дозволения утверждать, что всякий луч, проходящий через воздух равной плотности, следует прямой линии от своего источника к противоположному предмету“. Отсюда — изображения, получаемые через малое отверстие в темной комнате (Леонардо делает этот опыт). Отсюда же — теория теней; Леонардо распространяется о ней, различает тени первичные и производные, простые и сложные, ищет зависимости между формой тени и формами светящего и освещаемого тела. Задолго до Бугера и Ламберта он предлагает сравнение теней как прием фотометрии.

Отражение в зеркале есть световое эхо. Луч света отражается тоже под углом, равным углу падения.

О процессе зренья Винчи имеет новую теорию, упреждая Кеплера. Не надо думать, что глаз как бы ощупывает предметы исходящими из него лучами. Напротив, из предметов входят в глаз их образы: посмотрите на сильный свет и потом закройте глаза — впечатление остается; зигзаг молнии показывает нам весь ее путь (субъективные изображения,

„следы“). Зрачок служит как бы окошком, которое мы инстинктивно открываем более или менее, смотря по надобности. В глазу составляется изображение предметов, как в опыте с темной комнатой, куда проникают лучи извне через малое отверстие. [Винчи ошибочно полагает, что „хрустальная сфера“ (хрусталик) глаза служит к тому, чтобы выпрямлять изображение.] Но всего замечательнее то, что наш художник ясно понял значение двух глаз для рельефного зрения — принцип, вновь открытый в нашем веке Уитстоном и поведший к устройству стереоскопа (1838 г.). „Почему картина, рассматриваемая двумя глазами, не производит того впечатления рельефа, какой получается при рассмотрении действительного рельефного предмета?“ Это потому, что в последнем случае мы видим в сущности два изображения, с двух несколько различных точек зрения — две картины, перспективно не вполне одинаковые. Два глаза надежнее позволяют судить о положении предмета. „Предметы, видимые только одним глазом, кажутся иногда большими, иногда маленькими“. В рассуждениях о роли зрачка и о бинокулярном зрении можно видеть зачаток той идеи о „бессознательных заключениях“, которая играет такую роль в современной физиологии чувств.

Леонардо говорит об оптических обманах, знает контраст цветов и цветные тени. Задолго до Гримальди (1665 г.) ему известны некоторые простейшие явления дифракции света.

Из области тепловых явлений и горения ему знакомо действие пара (он дает проект паровой пушки — *architonitro*); он знает, что лучи тепла отражаются от зеркал, преломляются в водяных парах, не нагревая их заметным образом. Ему понятно употребление стеклянного цилиндра на пламени лампы. Предупреждая Лавуазье, Винчи указывает значение воздуха для горения. „Пламя не уживается там, где не живет дышащее животное... Где рождается пламя, вокруг него образуется ток воздуха, он поддерживает и увеличивает пламя. Огонь непрерывно разрушает воздух, который его питает (*nutrica*)“. Ему известен принцип монгольфьера (легкость нагретого воздуха): Вазари рассказывает, что Леонардо строил из тонкой восковой пленки фигуры животных, наполнял их теплым воздухом и пускал летать, к удивлению присутствовавших.

Упомянем, наконец, что он наблюдает действия молнии, извилистый путь которой приписывает неодинаковой плотности воздуха, и с особым интересом присматривается к действиям магнита.

VII

Таковы сведения Леонардо по механике и по физике, в которой он ищет и находит ту же механику. Эти сведения поистине громадны для той эпохи и по трезвости своей совершенно выходят из нее; от них веет новым духом. Как скуден и сбивчив по сравнению с ними собственно научный запас Бекона Веруламского.

В мою задачу не входит очертить подробно те практические работы, в которых Винчи прилагает свои познания, действуя как строитель, инженер, гидротехник, артиллерист. Он участвует в постройке соборов миланского, комского и павийского; проектирует поднятие церкви S. Giovanni во Флоренции; изучает образование трещин в стенах, принцип фундамента, сопротивление балок, теорию свода и арки — этой „крепости, возникающей из двух слабостей“ (*fortezza causata de due debolezze*), составляет проекты рационально построенного города, со вниманием к потребностям гигиены. Его почину обязана Италия своими обширными работами по канализации рек и осушению болот; он ведет обширные работы этого рода в Ломбардии (канал Martesana, от р. Адды к Милану), проектирует подобные работы в Тоскане (канализация р. Арно между Флоренцией и Пизой) и во Франции. Для этих целей он создает подъемные машины, землечерпательные лодки, систему запруд со шлюзами; предлагает машину для осушения (по принципу сифона), гидравлические колеса всякого рода (в том числе род турбины), колесные суда. Он строит машины для нарезки винтов и пил, для плющения железа, для сверления и строгания дерева, для распилки мрамора (эти последние и теперь еще употребляются в каррарских каменоломнях). Он проектирует ветряный плуг, воздушный вертел, печь с двойной тягой, ткацкий станок; этот станок остается наилучшим до конца XVIII века (модель, вошедшая в практику вскоре после смерти Леонардо, гораздо менее удовлетворительна). В сохранившемся наброске письма к Лодовико Сфорца Винчи предлагает ему секреты, полезные для военного дела: легкие мосты, способы перехода рек в брод,

отвода рек, защиты и осады крепостей (штурмовые лестницы, катапульты); говорит об изготовлении пушек, взрывчатых бомб, дальнобойных орудий. Мы уже упоминали о проекте паровой пушки. Эти практические задачи наводят Леонардо на размышления об основных вопросах баллистики.

„Приступая в своей задаче, — говорит Гроте в своей книге о Винчи, — он сперва придумывает и набрасывает общую идею решения, потом переходит к деталям, наконец, делает точный рисунок машины. В этих рисунках нет той неуклюжести, тех излишних усложнений, какими страдают проекты более позднего времени: как артист, он невольно ищет и достигает изящества и соразмерности“.

Особенно любопытны в этой технической области размышления Винчи о плавании и летании.

Он изобретает спасательный пояс, машину для хождения по воде, знает какой-то секрет ходить под водой, но не описывает его, боясь злоупотреблений (вероятно, нечто в роде водолазного колокола).

Он видит сходство процессов плавания и летания. Там и здесь механическая задача по существу одна и та же. „Как рука пловца, опираясь на воду и толкая ее, подвигает тело в противную сторону, так делает крыло птицы в воздухе“. Члены тела, служащие для полета, суть видоизменения тех, которые служат для ходьбы и для плавания. Над задачей о полете Винчи работает почти 30 лет (с 1490 г.); ей посвящен особый трактат *Sul volo degli uccelli* (недавно издан fac-simile г. Сабашниковым). Полет возможен для человека, ибо птицы летают. Надо изучить эту живую машину и приноровить те же принципы к весу и строению тела человека.

Замечательно, что, будучи знаком, как мы видели, с принципом аэростата, он не в нем ищет решения задачи о полете „Зачем искать другого начала, когда *крыло* летает?“ Птица тяжела, но это — не препятствие, а скорее — условие летания: будучи легче воздуха, она была бы предоставлена ветрам; в своем весе птица находит возможность сопротивления. Воздух — среда, дающая опору, как вода при плавании. Крыло действует на воздух и встречает равное противодействие со стороны воздуха. Ветер влияет на полет. „Ты видишь, что удары крыльев о воздух поддерживают тяжелого орла в самом высоком и редком воздухе.“

С другой стороны, ты видишь, как воздух, движущийся над морем, надувает паруса и гонит тяжело нагруженный корабль. Из этих доказательств ты можешь познать, что человек с большими крыльями, оказывая силу на сопротивляющийся воздух, сможет победить его и подняться вверх". Винчи внимательно и зорко изучает летательный аппарат птицы, делает много тонких наблюдений над видами полета и парения при разных условиях; придумывает для человека крылья и механизм, чтобы управлять ими при помощи рук и ног. Задача поставлена верно и здраво, но современная механика не дает Винчи более сильных двигателей; задача и теперь еще, как известно, остается в зачаточной стадии*. По пути в этой области, Леонардо описывает парашют, вновь изобретенный в конце XVIII века (Ленорман, 1783 г.).

VIII

Мне остается в самых кратких словах указать на сведения Леонардо в области астрономии и геологии, а также в области наук биологических.

В его космографических идеях связь с Аристотелем и средними веками порвана. Раздел между неизменными, божественными небесами и низменным подлунным миром не существует. „Ты должен показать в своем рассуждении, что земля есть светило, подобное луне, — показать благородство нашего мира“ (*la nobelta del nostro mondo*). Законы нашего мира суть законы вселенной.

Учение о твердых прозрачных сферах, вращающихся со вращенными в них светилами вокруг земли, — это учение несостоятельно. „Трение разрушает тела. Небеса в течение стольких веков должны были бы разрушаться от своей огромной ежедневной скорости“. Но как же держатся небесные тела? Они уравновешены в самих себе. Земля есть одно из небесных тел. „Земля — не в середине круга солнца, не в центре мира, а среди своих элементов“. (Здесь как бы идея о *местном* тяготении.) Земля кругла и одарена вращением. Еще в прошлом веке было опубликовано письмо

* Эти слова относятся к девяностым годам XIX века. Как всем известно, задачи эти блестяще решены авиационной техникой, хотя и не по тому пути, который был указан Леонардо да-Винчи. (*Прим. ред*)

Винчи к Колумбу (1473 г.) о возможности достигнуть Индии западным путем.

Как известно, подобные идеи были и в древности, но они совершенно затерялись в течение средних веков.

„L'Amor, che muove il Sol e l'altre stelle“

(„Любовь, что движет солнцем и звездами“) — этим стихом заканчивается кодекс средневекового мирозерцания, *La Commedia* Данте „Il Sole non si muove“ (солнце не движется) — говорит Леонардо да-Винчи, предупреждая Коперника. Новая астрономия начата.

С отдаленных светил земля, отражающая свет солнца, должна казаться звездой. „Посмотри на звезды без лучей (как они видны сквозь малую дырочку, сделанную концом тонкой иглы и помещенную вплоть у самого глаза): ты увидишь эти звезды столь малыми, что ничто не может казаться меньше Уменьшает их таким образом огромное расстояние, хотя многие из них в весьма значительное число раз больше, чем та звезда, какую представляет собой земля с ее океаном. Теперь подумай, какой показалась бы эта наша звезда со столь великого расстояния“.

Луна — тело, подобное земле; но не падает на землю, будучи также уравновешена в своих элементах — Ньютон доказал, что луна *падает* на землю, как земля *падает* на солнце; но Винчи еще не знает этого *внешнего* тяготения. Луна светит не сама собой, а через отражение; на ней есть день и ночь, как на земле. Пятна луны рисуют нам формы ее материков. „Для жителей луны земля представляется так же, как для нас луна“. Так называемый „пепельный свет“ луны при ее затмении есть отражение земного света (объяснение, вновь найденное Мёстлином).

Солнце есть как бы вещественный бог этого мира. Оно поднимает воду в виде паров в атмосферу, волнует моря и воздух, производя течения и ветры (воды равноденственных морей стоят выше, чем на севере); оно изменяет лицо земли и дает тепло и жизнь населяющим ее организмам. „Во вселенной нет большего величия и мощи“, как солнце.

Вид земной поверхности, ее моря и горы кажутся нам вечными, но они имеют свою историю. „Так как вещи го-

раздо древнее, чем письменна, не диво, что нет письменных свидетельств о том, сколько земли было покрыто морями... Но довольно свидетельствуют о том предметы, которые водятся в соленых водах; они встречаются на высоких горах, вдали от теперешних морей“. „Что некогда было дном моря, стало вершиной горы“, об этом свидетельствуют раковины, скелеты рыб, кораллы, находимые на высоких горах. „О время, быстрый разрушитель сотворенных вещей! Какой ряд превратностей и событий произошел с тех пор, как эта диковинная рыба умерла здесь в глубоких пещерах. Теперь, разрушенная терпеливым временем, она лежит в этом отовсюду закрытом месте и своими оголенными костями поддерживает тяготеющую над ней гору“.

Можно лишь удивляться „простоте и глупости“ тех, кто утверждает, что эти предметы занесены потопом. Факт всемирного потопа в глазах Леонардо весьма сомнителен, хотя он и готовит картину катастрофы, вооружившись своими обширными познаниями по гидромеханике. „Другой разряд невежд“ утверждает, что эти раковины созданы вдали от моря небесными влияниями, возникли под соединенным действием светил и местной природы. „Но как объяснишь, что светила произвели на том же месте животных различной породы, различного возраста (ибо у раковин можно счесть месяцы и годы их жизни)?“ „Как ты объяснишь великое множество листьев, отвердевших в высоких камнях этих гор, и эту морскую водоросль, перемешанную с ракушками и песком? Все это ты увидишь в окаменелом виде вместе с обломками морских раков“.

Леонардо не придумывает геологических катастроф: все изменялось понемногу, и современные явления служат пояснением для древнейших. Такой же взгляд стал проникать в современную геологию, благодаря Ляйелю. Вода, по Винчи, есть главный работник в этом непрерывном деле постепенных изменений — великий переноситель вещей (*il vetturale della natura*): она поднимает горы, углубляет долины, обнажает и затопляет берега. На подобие современных геологов Винчи рисует карту доисторической Италии.

Мы видим здесь ясные и здравые мысли об истории земли, верное объяснение осадочных и органических пластов. Новая геология идет в том же направлении, прибавляя к числу деятелей внутреннее тепло и давление внутренних жидких частей нашей планеты,

IX

В сфере биологических знаний Винчи проявляет ту же тщательность, ту же зоркость. Он много занимается ботаникой и анатомией.

Потребности пейзажа наводят его на изучение растительных форм. Он указывает способ высушивать растения и получать с них верный оттиск на бумаге. Его виндзорские рисунки цветов и листьев со всеми их деталями — образцы точности. Эти терпеливые этюды открывают ему известный в ботанике закон о спиральном расположении листьев на стебле (*phyllotaxis*), гораздо позже замеченный Брауном (1658 г.). Благодаря такому вниманию к тем сторонам растительного мира, которые обыкновенно мало интересовали художников, пейзаж у Леонардо, по мнению знатоков, приобретает особую реальность. „Voilà le créateur du paysage moderne!“ — говорит Корр по поводу его картин. Но ботанические интересы Винчи идут далее этой потребности: не довольствуясь морфологическими этюдами, он пытается осветить их соображениями о жизни растений. „Солнце дает растениям дух и жизнь, а земля своей влажностью их питает“. Винчи знает, что по числу слоев в разрезе ствола можно определить возраст дерева, преемственность сухих и влажных годов. Он рассуждает о влиянии солнца и тяжести на расположение ствола и ветвей, делает опыты над произрастанием тыкв на воде, над действием ядов на растения и пр.

Еще несравненно более, конечно, интересуется художника организм животных и человека. Животных он делит на два класса — тех, что имеют кости внутри (позвоночные), и тех, у коих кости снаружи (*che hanno l'ossa di fuori*), — моллюски, живущие в раковинах. О неутомимости Винчи в изучении форм, движений, пропорций тела свидетельствует огромное число заметок по этой части. Проект колоссальной конной статуи Франческо Сфорца побуждает его к самым многосторонним этюдам лошади. Но внешнее наблюдение и здесь не удовлетворяет Леонардо: преодолевая препятствия, презирая предрассудки своего времени, он при всякой возможности обращается к изучению анатомии, проводит целые ночи над трупом, рассекает в итоге более тридцати тел, — более десяти, чтобы проследить один вопрос. Анатомия занимает его всю жизнь (первый манускрипт 1489 г.,

последний 1515 г.). Даже не особенно разборчивый папа Лев X косо смотрит на эги, по тогдашнему предосудительные занятия. В предисловии к последнему трактату Леонардо рисует читателю трудности дела. „Ты имеешь любовь к этой науке, но тебе, быть может, воспрепятствует отвращение. Если не помешает отвращение, помешает, быть может, страх проводить ночные часы в обществе этих мертвецов, распластанных, ободранных и страшных на вид. Превозможешь этот страх, — быть может, не достанет точности в рисунке, необходимой для такого описания. Удался рисунок, получится ли перспектива; достиг ты перспективы, овладеешь ли геометрической методой, исчислением сил и крепости мышц. Наконец, быть может, нехватит терпения, необходимого условия точности. Соединились или нет во мне все эти вещи, о том пусть свидетельствуют 120 книг, которые я составил, не будучи стесняем ни скупостью, ни небрежностью, а только временем. Прощай!“ — План задуманного и отчасти набросанного трактата весьма обширен: он начинается с эмбриологии, следит за развитием тела через все стадии жизни, изучает его в актах различных движений, в аффектах радости и боли, смеха и ужаса. Эту „космографию микрокосма“ автор уподоблял творению Птолемея. Громадное число превосходных рисунков поясняет текст. Знаменитый английский хирург сэр В. Хентер (Hunter) остался от них в восторге. „Я ожидал, — говорит он, — встретить анатомические рисунки, сделанные живописцем для потребностей его искусства, но с великим изумлением увидел, что они были плодом всестороннего и глубокого изучения. Когда подумаю, сколько труда положил он на всякую часть тела, какова высота его всеобъемлющего гения, исключительное превосходство знаний по гидравлике и механике, с каким вниманием такой человек наблюдал и изучал предметы, которые рисовал, — то глубоко убеждаюсь, что он был лучшим анатомом своего времени. Несомненно, он первый, насколько мы знаем, ввел практику анатомических рисунков“.

Леонардо можно считать также и основателем сравнительной анатомии. От него не могли укрыться аналогии между органами различных живых существ, и в его уме зреет план сравнительного описания. „Опиши внутренности у человека, у обезьян и подобных животных; потом посмотри, какими они становятся в породе львиной, бычьей и, наконец, у птиц... Ты изучишь руки каждого животного, чтобы ука-

зять, в чем их различие... Я начну с костей, перейду ко всем тем мышцам, кои зарождаются без сухожилий и оканчиваются на костях, потом к тем, кои с одного конца или с обоих снабжены сухожилиями"... Это изучение сходств побуждает Винчи сблизать человека с животными четвероногими „Живописцу, который умеет представить человека, легко сделаться универсальным, ибо все земные животные имеют сходство в членах, т е. в мышцах, нервах и костях, кои разнятся только по длине и толщине, как будет показано в анатомии“.

Изучение формы и строения частей тела не исчерпывает науки о живом организме, нужно изучать жизненные отправления. Элементарным процессом и здесь является движение: оно „причина всякой жизни“ (il moto è causa d'ogni vita). Тело есть прежде всего машина, возбуждаемая внутренним двигателем Винчи снова восхваляет механику (la scienza strumentale, ovver macchinale) это — „благороднейшая и полезнейшая из наук, ибо по ее законам действуют все одушевленные тела, одаренные движением“, — так начинается *Трактат о полете птиц*. Эту часть физиологических этюдов Леонардо мы уже рассмотрели ранее. В *Трактате о живописи* он подробно говорит о движениях человеческого тела.

„Тело всякого питающегося существа непрерывно умирает и непрерывно возрождается, на подобие горящей свечи, которая снизу пополняет то, что потребляется сверху“. Повидимому, Винчи понял отчасти значение сердца, „этого могущественнейшего из мускулов“, и механизм кровообращения: его рисунки деталей сердца внушают эту мысль английскому анатому Ноксу (Кнох), хотя полного предвосхищения Гарвея нельзя вычитать в заметках Леонардо. Головной мозг есть орган ощущения и мысли. Чем совершеннее те или другие чувства, тем более развиты соответственные нервные центры. Винчи знает о существовании рефлективных движений: нервы действуют иногда сами собой, „без приказаний“ или „без позволения души“; в пример приводятся паралитики, произвольное трясение головы и конечностей, эпилепсия, явления в отрезанных членах (например, хвостах ящериц). Особенное внимание художника привлекает процесс зрения; мы уже видели, как многое он знал или угадывал в этой области, столь важной для живописца.

Отыскивая в живом теле механизм, стремясь рассмотреть материальную подкладку жизненных явлений, Леонардо далек

от той голой и наивной формы материализма*, которая была бы мало сродна великому художнику. Его биологические размышления напоминают тонкую научную организацию современных Дарвинов и Гельмгольцов. В глубине этих размышлений сквозит своеобразная философия, проникнутая чувством нераздельности вещественного и духовного. Мы видели, что в мире неорганическом квинт-эссенцией природы (*quintessencia compagna della natura*) ему представляется *желание* То же и в природе живой. „Всякая часть имеет стремление соединиться со своим целым, чтобы избежать своего несовершенства“. „Когда любящий соединяется с любимым предметом, он удовлетворен; когда груз уравновешен, он отдыхает“ (*quando l'amante è giunto all'amato, li si riposa; quando il peso è posato, li si riposa*) „Живогные суть примеры мировой жизни“ (*vita mondiale*), „человек — модель мира“ (*modello del mondo*). Жизнь есть бессознательное стремление к смерти; человек, сам того не замечая, желает смерти. Принцип жизни не различается от принципа мысли. Душа есть творец тела. „Душа управляет телом — та душа, которая составляет наше суждение, прежде чем оно стало собственно нашим“ (*è quella, che fa il nostro giudizio, nianti sia il proprio giudizio nostro*), душа шире, чем сознание...

Но мы не должны выходить за пределы нашей рамки: наша задача касалась науки в тесном смысле слова, и эта задача исчерпана.

Х

Мы показали в беглом очерке, как представляются научные познания и стремления Леонардо да-Винчи по его многочисленным и еще не вполне исследованным манускриптам, которые рассеяны по музеям и библиотекам Италии, Франции, Англии.

Уже в самом начале очерка мы отметили, что считаем за наиболее удивительную особенность нашего художника. Что его приковывает живая природа, ее формы и проявления — это сравнительно более понятно; главное дело его

* Здесь речь идет о той вульгарной форме материализма например у Бюхнера, Фохта и Мошота, которая вызывала протест у наиболее передовой части научных работников. (*Прим. ред.*)

жизни — пластическое искусство — неизбежно того требует, а методы биологических знаний, даже в их современном нам развитии, еще не кладут резкой границы между наблюдением художника и наблюдением ученого исследователя. Мы уже замечали, что эти области науки с успехом занимали великого немецкого поэта нашего столетия. Более существенная рознь между естествознанием и той психической сферой, к которой обращается искусство, сказывается там, где дисциплина более созрела, более обособилась от остального ведения, где она созрела необходимость и силу эксперимента (в собственном смысле слова) и математического анализа, и вооружилась этими двумя орудиями. Здесь, повидимому, открывается та пропасть между наукой и искусством, к которой применимы слова Шиллера:

Feindschaft sei zwischen euch! Noch kommt das Bündniss
zu frühe;
Wenn ihr im Suchen euch trennt, wird erst die Wahrheit erkannt.

Этот мир абстракций и „пытков“ претил натуре Гёте, который смело отрицает его права на существование. Этот мир исчисления и эксперимента не смущает душу великого итальянца: Винчи охотно распространяет компетенцию приемов точного знания на все виды „мировой жизни“. *Необходимость*, — эта „наставница“ (*maestra e tutrice*) и „изобретательная мощь“ (*inventrice*) природы, — для него есть в то же время высшая разумность и высшая справедливость. Признание в живой природе *механизма*, подлежащего изучению наравне с более простыми механизмами, выходящими из рук человека, — не мешает Винчи глазами художника созерцать сквозь механизм то, что лежит вне (или внутри) этой механики. Тот „союз“, который Шиллеру казался преждевременным, был живым и доступным идеалом для Леонардо.

Быть может, эта двойственность природы, это стремление к двум целям во имя их нераздельности невыгодно отозвались на художественном творчестве Винчи со стороны количественной; думаю, что в смысле качества творений ученый не повредил художнику. Идеал, им руководивший, бесспорно не легко доступен. Но припомним еще раз, в какое время жил Леонардо, — время, когда наука, можно сказать, не существовала и нужно было ощупью и без руководства оты-

скивать ее неизвестные или забытые пути. Те знания, какие ныне вошли в обиход начальной школы, едва мелькали в умах немногих избранников. И однако же слияние научных и художественных интересов даже в эту раннюю и темную эпоху оказалось под силу хотя бы одному исключительно одаренному человеку. Неужели оно теперь, на исходе XIX века, века науки и всеобщего обучения, должно считаться все еще несвоевременным или недостижимым?

Как бы то ни было, живое чувство необходимости этого слияния проникает всю деятельность нашего художника: вся она есть попытка совместить дух точного знания с даром творчества в искусстве. Понимать, чтобы любить, — понимать, чтобы творить: таков его девиз. „Художники, прежде всего изучайте науку“. Таковы подлинные слова Леонардо, таков завет, вытекающий из всей жизни творца *Джоконды и Тайной Вечери*.

**КРИТИЧЕСКИЕ И БИОГРАФИЧЕСКИЕ
ОЧЕРКИ**

Г. ЛЮБИМОВ КАК ПРОФЕССОР И КАК УЧЕНЫЙ

(МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ УЧЕБНОГО ЮБИЛЕЯ)

„Врачу, исцелися сам!“

„В чем слабые стороны наших научных деятелей и нашей научной деятельности? Ученость и дар производить изыскания (,) открытия — вот характеристические качества людей науки... В весьма заметной доле наших научных деятелей нового поколения .. нельзя не усмотреть резкого недостатка как элементов учености, так и элементов образования; в отдельных случаях до грамотности включительно“. (Дополнение к записке проф. Любимова, стр. 31.)

„Как часто после первых более или менее удачных шагов наступает период *непроизводительности*...“ (стр. 32).

„Собственно профессорская деятельность у нас почти никогда не поглощает всех сил преподавателя... ей отдается нередко лишь очень малая доля времени и энергии“ (стр. 29).

„Средства к жизни, иногда достаток и даже богатство (,) приобретаются... сторонними занятиями..., которые необходимо отвлекают от специально профессорских занятий“ (стр. 33).

„Соображены ли наши курсы хотя сколько-нибудь с потребностями молодых людей, их посещающих в качестве обязательных слушателей?“ (стр. 30).

„Практические занятия остаются лишь в замысле, а иногда оказываются пуфом“ (стр. 34).

„Профессора нередко уклоняются от близости к занятиям студентов именно потому, что при нашем преподавании, декоративно поднятом на высоту, вынуждены скрывать собственную неопытность. Преподавание стоит на ходулях: было бы

важным шагом, если бы оно понизилось, став на ноги. Темное сознание слабости как часто соединяется с болезненно развитым самолюбием! Элемент фальши проходит чрез все“ (стр. 23).

Такими красками рисует наших университетских деятелей знаменитая брошюра г. Любимова.

Кто изрекает эти строгие приговоры? Что такое г. Любимов как профессор и как ученый?

Мы живо помним голос, громко раздававшийся по поводу университетского вопроса в эпоху, предшествующую Уставу 1863 года. Горячей любовью к делу и высокой компетентностью дышало меткое, порою резкое слово. Оно принадлежало ученому, известному всей Европе обширными и глубокими трудами, — ученому, каких немного может насчитать Россия (Н. И. Пирогову). Такое слово было веско, и будь оно резче стократ, его и тогда бы выслушивали бы со вниманием и почтением.

То ли теперь? Человек, который, хвастаясь своим гражданским мужеством, выступает судьей и обличителем университетов, — что такое он сам? какой ученой репутацией заручился он, какими заслугами стяжал себе право „взглянуть на дело сверху“? (Доп., стр. 20). Может ли он смотреть сверху на своих товарищей, или ему приходится смотреть на них снизу вверх, не видя того, что повыше? Или, наконец, он вовсе не смотрит на внешний мир, а предается самосозерцанию?

Мы надеемся показать, что наш строгий цензор с буквальной точностью олицетворяет собою начертанную им грустную картину. В его обличении есть одна бесспорная крупница правды: он живо и метко изобразил нам—самого себя.

I

Как профессор г. Любимов отчасти известен московской публике. Еще свежи в памяти его многократные публичные лекции, вначале собиравшие большую аудиторию, но мало-помалу вымиравшие за недостатком слушателей. Сущность этих лекций — в нагромождении эффектных опытов, нередко напоминавших „большие увеселительные представления“ заезжих „профессоров“. К опытам пришивалась масса вечно юных, по мнению лектора, анекдотов и кое-какие бессвяз-

ные отрывки объяснений, настолько краткие и недодуманные, что слушатель, тщетно ждавший общепонятного слова, пребывал умственно в такой же темноте, какую, в смысле физической, обдавали его поминутно закрываемые окна аудитории; „преподавание, декоративно поднятое на высоту“ не удостоивало „стать на ноги“. Нам известно, что и студенческие лекции г. Любимова сохраняли весь характер его публичных чтений: та же погоня за дорогими опытами, поглощавшими весь бюджет физического кабинета в ущерб строго научным потребностям; та же расточительность на анекдоты и скупость в разъяснении серьезных пунктов науки. Что касается до деятельности г. профессора как руководителя при практических занятиях учащихся, то г. Любимов не отвергнет, что она всегда приводилась к нулю или „оказывалась пухом“. Слишком „малую долю времени и энергии“ посвящал он университету, чтобы кого-либо чему-либо действительно учить, — поглощенный то редактированием *Русского Вестника*, то лицеем г. Каткова, то походом против университетов. Не особенно заботился он и о том, чтобы „соображать“ свои курсы „с потребностями... обязательных слушателей“: и студенты-математики, и медики, и фармацевты — слушали совместно общий курс, несмотря на различие потребностей и подготовки.

Не так давно г. Любимов издал в свет учебник, который, благодаря официальным рекомендациям, в три года достиг второго издания. Этот учебник едва затронут нашей критикой, — с немалыми похвалами, отчасти вылившимися, по видимому, из-под дружеского пера. Как „одобренное“ руководство, книга заслуживала бы внимательного разбора. Здесь неудобно вдаваться в подробности, но постараемся дать понятие о „Начальной физике Н. Любимова“. (Изд. 1-е, Москва, 1873; изд. 2-е, просмотренное и дополненное, Москва, 1876. Цитируем по 2-му изданию, если не указано противного).

Книга задумана с претензиями и видимо рассчитана на то, чтобы показать все обилие „элементов учености“ в ее авторе. Это — курс физики, „на историческом основании“ — таково второе заглавие книги (по 1-му изданию). Автор, цитируя Бекона, берется „внедрять“ знание „тем самым путем, каким оно впервые открыто“. Тем самым путем — значит, по его мнению, „теми самыми словами“, или точнее, отрывочными цитатами из физиков старых и новых. На-

сколько осуществима и насколько благодарна такая задача, об этом рассуждать не будем; но курса „на историческом основании“ автор во всяком случае не написал и „внедряемое“ им есть не столько знание, сколько „элементы учености“ или эрудиции. Ученость эта нехитрая: стоит набрать побольше книг, преимущественно старых, и, развернув каждую, где попало, выписать несколько строк в кавычках. Получается винегрет довольно любопытный, но мало полезный и обременительный для учащегося. Этот винегрет рассеян у г. Любимова среди догматического текста, который сам по себе ничем не отличается от обыкновенного, средней руки учебника, написанного притом неточным и небрежным языком; разве только игривость изложения и особенная темнота фразы там, где автор претендовал сказать что-то новое, но не сумел, — представляют нечто оригинальное, и здесь постоянно напоминая о журнальной деятельности автора. Неясностей и ошибок в курсе вполне достаточно, и вместо того, чтобы предавать посмеянию выдержки из плохо литографированных студенческих записок, автор „Дополнения“ мог бы с успехом воспользоваться и *первым*, и *вторым* изданием своего *печатного* учебника. Здесь есть все потребное: есть и биографии, мало чем уступающие Парацельсовой (Доп., стр. 24), и патетически туманные фразы гораздо более эффектные, чем пассажи о стойках и софистах (стр. 26, 27), и положительное непонимание современных теорий (вероятно, необязательных при „историческом“ изложении), и фальшь, фальшь, „проникающая все“ — сквозящая в игривых и уклончивых фразах, в эрудиции, выставляемой без нужды. Биографии ученых повествуют нам, что такой-то „был до восьми лет нем и всю жизнь косноязычен“ (стр. 175), что другой „принадлежал к секте квакеров, был учителем в Манчестере, когда помощью самых простых приборов... умел произвести исследования“ и пр. (стр. 237), что третий — „французский офицер, оставивший военную службу, чтобы предаться науке“ и „умер в 1739 году, 43 лет, от оспы“ (стр. 487). Как это назидательно в *учебнике*, где всякое слово должно быть веско и уместно! — В пример патетических тирад приведем хоть следующие строки: „Вообще характеристическая черта электрического процесса (?) есть его мимолетность (!). Это ступень, ведущая от одного явления к другому; переходный момент, появляющийся, чтоб исчезнуть, дав возможность одному явлению преобразоваться в другое. Универсаль-

ность электрического процесса в том, что он служит связью самых разнообразных явлений“ (стр. 712, 713). Как игриво, как туманно и как неосновательно! Какой пример преподавания, „стоящего на ходулях“! — Но ведь гальваническая батарея может действовать по целым дням и неделям, но лейденская банка может хранить заряд целые месяцы, а вытопленная печь остывает в одни сутки: так подумает иной наивный ученик: не значит ли это, что теплота еще *мигомлетнее*, чем электричество?

Но начнем по порядку. Откроем 1-й отдел „Начальной физики“ — и нас встречает неожиданное известие: „Вообще, когда система состоит из двух тел, между которыми существует только взаимное действие, то эта система сама собою не может придти в движение!“ (стр. 44). Это открытие г. Любимов доказывает тем, что если положить магнит и кусок железа на один поплавок, то такой поплавок останется в покое. А если на два разные поплавка? Ведь тогда движение-то будет! Или это уже не будет *система*? Или важно то, что она состоит не из двух тел, а из четырех? Но по такому счету и в опыте г. Любимова не два тела, а три. В статье о весах читаем: „Если весы *верны*, то когда чашки их не обременены грузами, коромысло должно оставаться в горизонтальном положении... Этому условию легко удовлетворить, — если бы оно первоначально не было выполнено, — увеличивая или уменьшая вес одной из чашек“ (стр. 18, 19). А несколько строк спустя: „Верность весов свидетельствует о равенстве плеч их рычага“. Значит — если в меру подправим вес одной из чашек, то этим самым таинственно изменим и длину плеч коромысла?

Заглянем в отдел второй (акустика). Здесь узнаем, что „двигая, например, рукою в воздухе, мы заставляем частицы расступаться, но не образуем сжатых или разреженных волн“ (стр. 155). Так-таки и не образуем? и как бы мы ни двигали рукою, как бы ни старались? Тут же оказывается, что „усиливающий звук снаряд может быть приложен к самому уху. Тогда (!) он носит название *резонатора*. Резонаторы изобретены Гельмгольцом и суть медные или иные шары и цилиндры определенных размеров...“ (стр. 151, 152). А другие усиливающие звук снаряды, хотя бы приложенные к уху? они опять разжалованы из резонаторов?

Перейдем в 3-й отдел (теплота и свет). Здесь, на стр. 283 — 285, говорится о законе сохранения энергии. Но что

такое энергия — напрасно будет отыскивать озадаченный ученик. „Тела, движущиеся или находящиеся в условиях, могущих породить движение, считаются (!) обладающими энергией“ (стр. 283) — этого достаточно, по мнению автора. Затем рассказывается, когда тело обладает энергией, когда не обладает; говорится, что энергия бывает разных сортов и что она неразрушима; приводится даже фраза Майера, что „груз, покоящийся на земле, не есть сила“ („в смысле энергии“, поясняет автор) — фраза неточная и вполне неуместная в учебнике. Чтобы сколько-нибудь уловить смысл хитрого термина, ученик должен ждать 5-го отдела; что не помешает ему, по мнению автора, теперь же толковать об энергии, не стесняясь.

Переходим в оптику — и нас преследуют обломки незабвенной „Новой теории поля зрения“, развеянные яко ветром по разным углам учебника (стр. 393 и сл., 984 и сл. 1-го издания; стр. 375 и сл., ч. II, стр. 217 2-го издания) после того крушения, какое постигло „теорию“ на страницах специальных журналов...

Вся обширная статья об электричестве (отдел 4-й) особенно ярко выказывает невыгоды „исторического изложения“, как его понимает г. Любимов, и обличает в авторе весьма поверхностное знание. Пред глазами учащегося мелькает цитата за цитатой (и предлинные !); пред ним проходят и целая стая электрических рыб с мудренными латинскими именами (стр. 570), и целая толпа редкостных ученых — и Лемонье, и Клюгель, и Рейль, и Бозе („автор целого стихотворения об электричестве“ — стр. 506)... И здесь основные научные термины мелькают и чередуются в самой безотраднейшей неуловимости. Остановимся на термине *электрическое напряжение*. Любопытно проследить „на историческом основании“, сколько хлопот наделало г. Любимову это несчастное словцо; для этой цели сличим оба издания учебника. В первом издании о *напряжении* толкуется многократно, и всякий раз на новый лад. Там „напряжение, то есть толщина электрического слоя“ (1-е изд., стр. 603); в другом месте вводится термин „*плотность* (нагляднее — *толщина электрического слоя*)“, причем заявляется, что „то же понятие, *менее точно*, выражается термином *электрическое напряжение*“, и ту же прибавлено, что *правильнее* именовать напряжением потенциал (там же, стр. 638); здесь, наконец, — напряжения „при одинаковости формы при-

касающих (sic) частей можно принять пропорциональными количествам“, а рядом „проводники“ (прикасающиеся) „принимают общее напряжение“, — что одно другому противоречит (там же, стр. 605). Смешение понятий бесспорно *историческое*, но давно уже сданное в архив.

В новом издании учебника следы этой внутренней борьбы автора отчасти затушеваны; но термин „напряжение“ остался — только уже без всякого определения. Незаметно где-то (кажется на стр. 513) прокрадывается он в книгу, никем, так сказать, не представленный, даже без курсива; но мало-помалу осваивается и приобретает такую развязность, что в свою очередь вводит за собой новый термин — электродвижущую силу. „В гальваническом элементе его *электродвижущая сила* . . . есть причина электрического напряжения“, а „разность этих напряжений и есть мера электродвижущей силы элемента“ (стр. 701, 2-е изд.). Понимай мол как знаешь! — Впрочем в одном месте книги осталось, по недосмотру, „*напряжение* или *плотность*“ (стр. 709), как и в соответственном месте 1-го издания (стр. 732). А незадолго перед цитированным местом вводится (на сей раз курсивом) термин „*напряжение тока*“ (стр. 694), — причем не сказано, что это нечто совсем иное, чем то „напряжение“ (проходящего электричества), о котором говорится, например, на стр. 618.

Еще далее выступает на сцену *потенциальная энергия* электричества. Читатель припомнит, что и этот термин нигде предварительно не определен как следует; тем не менее он, после долгого отсутствия, появляется без дальнейших околичностей. „В случае лейденской банки потенциальная энергия ее заряда (так можем мы рассматривать (?) состояние банки когда она заряжена)“ и т. д. (стр. 709). Кратко и хорошо! Далее: — „Эта энергия определяется, во-первых, *количеством* электричества, сообщенного банке или батарее и, во-вторых, *напряжением*, или *плотностью* этого электричества“ (стр. 709), — говорит автор, не поясняя, что значат эти *во-первых* и *во-вторых*. Как увидим ниже, он действительно не усвоил себе этого даже тогда, когда писал „ученый“ мемуар об электричестве. Некоторое пояснение всей этой путаницы терминов долженствует быть только в 5-м отделе 2-го издания. Но здесь трактуется только о *потенциале* (термин опять новый) и только вскользь неожиданно мелькают слова „разность *потенциалов* или (?) *электрических напря-*

жений" (ч. II, стр. 120), т. е. вместо пояснения путаница еще более усложняется. Почему бы с самого начала не условиться раз навсегда, что такое называется потенциалом или напряжением? Для этого не было надобности вдаваться в теоретические рассуждения о потенциале, которые автор помещает на стр. 117-й второго издания: они едва ли понятны и уместны в гимназическом курсе. Термин можно было внести как эмпирический и все-таки дать ему точное определение, пользуясь хотя бы тем электрометром, который у г. Любимова почему-то переселен в 5-й отдел (ч. II, стр. 115). Тогда все обошлось бы благополучно...

Мы сейчас затронули, наконец, и 5-й отдел учебника г. Любимова; остановимся несколько подробнее на этом последнем отделе, составляющем во 2-м издании вторую часть сочинения. Отдел назван „Общая физика“; неизвестно, почему под таким, а не другим наименованием автор преподносит нам сбор того, что потруднее, что требует формул, или о чем он просто забыл упомянуть в предыдущих отделах своего трактата. Здесь нас встречает прелестное определение центра параллельных сил. „Точка приложения этой равнодействующей (системы параллельных сил) имеет любопытное свойство. Если бы направление сил изменилось по отношению к телу, но они остались бы параллельными между собою и сохранили ту же величину, то новая равнодействующая прошла бы через ту же точку, как прежняя. Точка эта потому и называется *центром параллельных сил*“ (ч. II, стр. 14, 15). Автор забывает, что точку приложения равнодействующей он выбрал *произвольно* в точке *C* своего чертежа (обязательной точки приложения здесь и нет); то, что он считает свойством точки *C*, и есть именно причина такого выбора; это не *свойство*, а *определение* центра сил. И у двух параллельных сил, и у многих, можно насчитать точек приложения равнодействующей сколько угодно; но не всякая будет центром параллельных сил. На стр. 71 (ч. II) автор возвращается к понятию об энергии; но увы! туман, оставленный этим термином в уме читателя первой части, едва ли рассеется и теперь. „Значение энергии и разделение ее на два вида... было уже указано“, — замечает автор (ссылаясь на стр. 282 I-й части), — и поступает далее в этом наивном убеждении. — Идем далее — и автор, приводя цитату из Джона Гершеля, убеждает нас третьим законом Кеплера в том, „что одна и та же сила, изменяющаяся вместе с расстоя-

нием от солнца, удерживает *все* планеты на их орбитах“ (ч. II, стр. 102): фраза позволительная в популярной книге, но не имеющая смысла в учебнике, где термин *сила* надо строго определить и не бросать на ветер. — О неудачном пополнении статьи об электричестве параграфами 5-го отдела мы уже выше сказали несколько слов.

„И весь курс такой же степени ясности!“ — воскликнем вместе с автором „Дополнения к записке“ (стр. 27). Повсюду либо небрежный, либо игриво-фельетонный язык; везде лавированье вокруг да около, неуменье или боязнь выразиться точно, именно там, где это нужно. И это — учебник, которым так гордится автор, упрекая других, что они не печатают своих курсов, и хватаясь с горя за обличение литографированных записок?

II

Но довольно о преподавательских заслугах г. Любимова. Посмотрим теперь, каков он как *ученый*.

„Дар производить изыскания, открытия — вот характеристические качества людей науки“ (Доп., стр. 31). Какими изысканиями обогатил науку г. Любимов?

В обширной массе его писаний три или четыре имеют претензию быть *изысканиями*. Мы не будем говорить здесь о его магистерской диссертации („Основной закон электродинамики“, Москва, 1856), ибо это не есть изыскание, а просто изложение предмета по источникам, не прибавляя ни одного факта, ни одной теоремы. Заметим однако, беспристрастия ради, что эта диссертация есть единственный добросовестный ученый труд профессора, очевидно изображающий собою эпоху „первых более или менее удачных шагов“, за коими, по его словам, „наступает период *непроизводительности*“ . . .

Первое из *изысканий* относится к 1858 году и носит громкое заглавие „Recherches sur la grandeur apparente des objets“ (*Annales de Chimie* (3), LIV, p. 13—27). Автор пытается доказать оптическим опытом, что зрачок имеет некоторую величину (как будто нужно доказательство!); но по замечанию рецензента *Fortschritte der Physik für 1858* (стр. 309), этот опыт таков, „что собственно из него можно определить только иррадиацию в глазу наблюдателя, если и согласимся с автором, что диффракция не играет здесь

никакой роли*. Изыскание характеризуется уже тем, что в обширной „Физиологической оптике“ Гельмгольца, представляющей самое исчерпывающее изложение предмета, из статьи г. Любимова приведено (на стр. 825) только *заглавие*. *Очевидно*, изыскание не обогатило науку.

Следующее по хронологическому порядку изыскание есть докторская диссертация („О Дальтоновом законе и количестве пара в воздухе при низких температурах. Исследование Н. Любимова“, Москва, 1865). В изящно отпечатанной (но увы! библиографически редкой) брошюре in 4-to в 44 страницы, собственно *изысканию* посвящаются 4 или 5 страниц (§§ 14, 15); остальное — набор премисс (известных из учебников), цитат и кое-каких размышлений. Задавшись мыслью продолжить работу Реньо для температур между 0° и -23° , автор отнюдь не следовал своему образцу в обстоятельности изложения. Непосредственные данные приведены не вполне, степень точности опытов оставлена без оценки. Но определения влажности воздуха, если не гоняться за особенной точностью, может делать любой студент; а если есть претензия на научную работу, на точные цифры, то надо убедить в том читателя и показать степень точности. Впрочем кроме всего этого в „Исследовании“ есть, кажется, кое-что и похуже. *Если* тот способ вычислять давление воздуха в аспираторе, каким пользовался г. Любимов, *без опечатки* описан на стр. 34 („из высоты барометра H (приведенной к 0°) вычесть“ не приведенное к 0° ? — „показание манометра, соединенного с аспиратором“, и т. д.), то все результаты вычислены неверно. А так как первоначальные данные не все сообщены, то перечислить опытов нельзя, и все исследование *приводится к нулю!* Не потому ли г. Любимов, обыкновенно столь равнодушный к собственной славе и рассеивающий свои писания повсюду, скрыл под спудом свою докторскую работу, не пустив ее в продажу и не поместив ни в одном ученом издании? Нам рассказывали кое-что и о способе, каким готовялось исследование, и о диспуте... Но довольно.

Последний по времени ученый труд нашего героя есть знаменитая „Новая теория поля зрения и увеличения оптических приборов“, явившаяся, не в пример докторской диссертации, сразу во многих изданиях отечественных и иностранных. Но история этого труда слишком известна даже за пределами ученых журналов: у всех свежи на памяти доводы профессора Бредихина, который неопровержимо показал, что „но-

вая теория“ есть не более как „старая ошибка“. Припомним, передавая перо г. Бредихину, что „в статье г. Любимова не содержится никакой новой теории галилеевой трубы: давным давно известное начало (круг Био) прилагается в ней ненадлежащим образом к выводу давным давно известной и неверной формулы“ (*Матем. Сборник*, т. 6, стр. 307, 308).

Вот и все... Впрочем есть еще одно писание, которое, судя по тому, что оно помещено на страницах „Математического Сборника“, г. Любимов повидимому желал выдать тоже за некое исследование. Это — статья „Электрический перенос теплоты и учение о количестве электричества с точки зрения динамической теории“ (*Мат. Сб.*, т. 2, стр. 255). Озаглавлено пикантно. Но что это за бесценный образец quasi-ученого фельетона, или того, что французы называют „causeries scientifiques“, — в самом несчастном смысле этих слов! Ни одной точной идеи, ничего продуманного до конца, усвоенного вполне; но бездна обширных цитат, но какие-то реформаторские замашки, и фразы, фразы — Бог мой, какие фразы! „Электричество всегда есть посредник: это телеграф по преимуществу“ — как бы в порыве испуга восклицает автор. „Универсальное значение электричества не в том, что оно есть источник, который порождает явления, имея сам по себе постоянное существование (как определенная, например, масса жидкости): оно (?) появляется при всяком почти переходе явлений одного в другое и есть именно момент (!) этого перехода, не имеющий значения независимо от явлений, для которых он служит связью“ (стр. 267). Как это величественно и как непонятно! Вот она, „фальшь, проникающая все“!

Мы упомянули, что в „Электрическом переносе теплоты“ автор являет реформаторские замашки. В нем уже возникает тот азарт, с каким в позднейшее время он ратует в деле реформы университетов. Но в области точного знания претензии, основанные на непонимании дела, выводятся на свежую воду окончательно и безапелляционно, — как и случилось с „Новой теорией поля зрения“. В этой сфере у обличителя является — говоря словами самого г. Любимова — „могущественнейшая поддержка в том, что дважды два четыре“, — поддержка, которую г. Любимов тщетно призывает на свою сторону в „Гласном ответе“ 35-ти профессорам (*Моск. Вед.*, 1876 г., № 333). — Все упреки, какие г. Любимов от своего лица делает существующим теориям электричества, основаны

на том, что он этих теорий хорошенько не понял и писал не додумывая. Насколько можно ориентироваться в тумане фраз в роде вышеприведенных, г. Любимову не нравится, что в науке термин *количество электричества* существует сам по себе, а *электрическая энергия* — сама по себе. Он хотел бы назвать *энергию* количеством, а количество уничтожить; он забывает, что через это теряется всякая возможность выразить столь простой и плодотворный закон, как основной закон электрических взаимодействий, ради которого пришлось бы все-таки восстановить понятие о *количестве*, хотя бы под другим именем. Не усвоил себе г. Любимов и того, что электрическая энергия лейденской банки измеряется половиной произведения количества на потенциал, хотя и толкует в собственном учебнике (стр. 772), что эта энергия измеряется „*во-первых, количеством... и во-вторых, (?) напряжением*“ (в смысле потенциала, а не плотности, как думает г. Любимов). Взявши хотя бы одно это в толк, он вероятно не написал бы своего „электрического переноса“. Прибавим в заключение, что мистические намеки на значение двух частей индуктивного разряда (металлической искры и газовой оболочки), из коих одна якобы *гальваническая*, а другая — неизвестно уж какая, „хотя видимо представляет значительное потребление энергии“ (стр. 269), — что такие туманности непозволительны для всякого, кто слышал о спектральном анализе, разветвлении токов, удельной теплоте и тому подобных немудрых вещах.

Мы кончили. Обозревая легкий „ученый багаж“ строго обличителя, невольно поражаешься тем сходством, какое открывается между портретом современного профессора, начертанным в „Дополнении“, и самим автором портрета. Можно было бы подумать, что вся *quasi*-ученая деятельность г. Любимова протекала не так себе, проста, что „умысел другой тут был“. Эта деятельность была, как будто, лишь предлогом для некоей высшей цели, и с самого начала карьеры в перспективе ее грезилась г-ну Любимову заветная брошюра, ныне благополучно отпечатанная. Быть может, руководимый с юных дней какою-то вендеттой, или врожденной ненавистью к университетам и профессорам, г. Любимов умышленно прокрался на кафедру, умышленно

притворился ученым, чтобы олицетворить в себе тот отрицательный идеал, который он сам бичует ныне, восклицая с любезным общением: „виноваты все мы. Я так же, как и он — вы так же, как и я“ (Доп., стр. 29). И не этот ли блестящий результат своей 25-летней деятельности имеет он в виду, когда заговаривает о своем юбилее?

Врачу, исцелися сам! Но увь! исцелиться слишком поздно.

А. В. С.

К РЕДАКТОРУ „РУССКИХ ВЕДОМОСТЕЙ“

М. г. В № 5-м *Московских Ведомостей* г. Любимов заявил, что появившееся в № 4-м *Биржевых Ведомостей* коллективное письмо к нему напечатано с следующими изменениями: вместо *исключительно для начальства* сказано *только для нескольких лиц*; вместо *по начальству* — *для известных лиц*; вместо *Николай Алексеевич* — *М. Г. Николай Алексеевич*. Эта поправка совершенно верна. Но странно, что г. Любимов утверждает, будто письмо *доставлено* в редакцию в измененном виде. Почему же *ему* известно, в каком виде оно доставлено? „Фальсификация“, говорит он, „сделана с весьма понятною целью“. Для нас по крайней мере эта цель совершенно непонятна. Не в том ли, может быть, она заключается, чтобы ослабить *в пользу* г. Любимова впечатление, которое производит присланное ему письмо?

Во всяком случае мы по этому поводу считаем необходимым заявить, что не ручаемся за верность копий с письма, которые могут появиться в разных газетах и изданиях и предоставляем г. Любимову тщательно следить за вариантами и восстанавливать первоначальный текст хранящегося у него оригинала. Всего же лучше, если бы он сам напечатал подлинный документ в *Московских Ведомостях*, конечно, с большею точностью, чем та, с которою перепечатано им „Дополнение“ на страницах *Русского Вестника*.

Один за всех.

РЕЦЕНЗИЯ НА КНИГУ ПРОФ. ЛЮБИМОВА „НАЧАЛЬНАЯ ФИЗИКА“¹

Начальная физика в объеме гимназического преподавания. Н. Любимова, профессора московского университета. Издание второе, просмотренное и дополненное. Москва, 1876 (часть I-я, XII+725 стр.; часть II-я, 228+52 стр., в одном томе)*.

Уже слишком три года тому назад вышло в свет первое издание „Начальной физики“ профессора Любимова (Москва, 1873 года). За исключением видимо дружеской статьи в близком автору „Русском Вестнике“ и коротенькой заметки в журнале „Знание“, книга, сколько помним, не была еще рассмотрена нашей критикой. Между тем, по некоторой особенности своей, труд г. Любимова может показаться не только феноменом в ряду школьных руководств, но и приобретением для литературы вообще. Имея теперь перед глазами второе издание книги, вышедшее в конце прошлого года, считаем полезным посвятить ей подробную критическую статью.

Та особенность „Начальной физики“, на которую мы только что намекнули, бросается в глаза при самом поверхностном обзоре сочинения. Перелистывая книгу, мы поминутно встречаем, порою весьма обширные, выдержки из более или менее известных сочинений по физике, частью новых, частью старинных. Цитируются Галилей, Ньютон, Паскаль, Вольта, Фарадей, Гельмгольц; цитируются *Antonius de Dominis*, Гартман из Нюрнберга, де-Рома, Юр и другие археологические личности. Об этих деятелях науки (не исключая

¹ Опубликована в сокращенном виде в журнале *Голос*. (Ред.)

* Автором восстановлены пропуски, сделанные редакцией *Голоса*, где рецензия эта была помещена (№ 80, 1877 года), и произведены некоторые изменения.

многих весьма вгостепенных) приведены в подстрочных примечаниях биографические сведения (большей частью по Литтровскому переводу Юэловой „Истории индуктивных наук“). Отсюда объясняется довольно увесистый объем книги, едва ли соответствующий ее полноте в смысле учебника.

Этим „историческим“ элементом своего произведения автор дорожит, повидимому, всего более. В первом издании учебник имел второе заглавие: „Курс физики на историческом основании“ — заглавие, впрочем, отмененное в новом издании, хотя книга не потеряла существенных изменений.

История физики в высшей степени поучительна и интересна. Было бы очень важно иметь краткий исторический обзор этой обширной науки, хотя бы от Галилея до наших дней, написанный компетентным пером. Такого труда мы не найдем даже в западных литературах, и причина этому довольно понятна. Подобное предприятие по силам только глубокому и многостороннему ученому, и прежде всего — специальному знатоку физики. Но специалистам-физикам не до того. „Быстрый рост современного исследования“, говорит проф. Тэт в своем „Очерке термодинамики“, „делает не только бесполезным, но и пагубным (destructive) для физика — тратить время и хлопоты на исследование начальных судеб его науки. Пока он бродит, отыскивая источник, его современники несутся с возрастающей быстротой по реке, все более и более распространяющейся в ширь и глубину, к «великому и не исследованному океану истины, который лежит перед ними»“.

Истории физики в собственном смысле слова мы не найдем в книге г. Любимова; да иначе она и не была бы „руководством“. Группировка материала современная (до того, например, что лучи света и лучи тепла составляют одну главу) и ничем не отличаются от той, какая принята в других учебниках. Если нас несколько озадачивает подразделение первого отдела (на 1) учение о *тяжести*, 2) учение о *жидкостях* и 3) учение о *газах*) или роль пятого отдела, почему-то названного *общей физикой* (он составлен из дополнений к предыдущим отделам), то эти *особенности* нельзя, очевидно, приписать исторической точке зрения. Внутри каждого отдела размещение материала так же мало подчиняется исторической последовательности: в механике Ньютон выступает на сцену ранее Кеплера; в акустике Гельмгольц предшествует Соверу; в электричестве „итальянский дворя-

нин из Комо, Александр Вольта“ (стр. 547) является много спустя после Фарадея. Снаряд, „описанный в июне 1874 года“ (для оправдания архимедова закона), помещается между рассуждениями (о том же предмете) Паскаля (стр. 73) и т. д.

Какую же роль должен играть исторический элемент в книге? Вот как объясняется автор в предисловии:

„При изложении всех дальнейших положений науки я старался уловить нить идей изобретателей и, где только представлялась возможность, говорил их собственными словами. Такое введение в учебное руководство исторического элемента в тесном слиянии с элементом догматическим, без ущерба для последнего, но в оживление и пояснение, казалось мне весьма полезным по отношению к предмету, который есть предсавитель естествознания в ряде наук, введенных в круг общего образования и от преподавания которого можно желать не только сообщения полезных фактических сведений, но и вклада в духовное развитие учащегося. Дух естествознания есть по преимуществу дух изыскания и открытия. Истинная школа логики открытий заключается в их философской истории, в раскрытии тех путей, какими достигнуты великие приобретения в области изучения природы. С другой стороны, слияние исторического и догматического элементов, опыт которого желал я дать в настоящем сочинении, кажется мне полезным и собственно в педагогическом отношении. Процесс первого изучения, каким учащийся входит в новый для него мир, имеет сходство с процессом самого открытия, первый акт которого есть рождение мысли, внезапно освещающей и разделяющей то, что представлялось темным и слитным. Первая трудность при усвоении изучаемого предмета заключается в том, чтобы представить его себе с надлежащею ясностью, с различием существенного от того, что облекает и сопровождает оное. На этих первых шагах главное внимание должно быть обращено не столько на строгость доказательства и подробности оправдания данного положения науки, сколько на уяснение его сущности. Изложение по первым источникам казалось мне особенно способным для достижения этой цели. В уме изобретателя найденное им положение науки, хотя бы в форме только плодотворной догадки, представляется с особой ясностью, отражающейся на изложении. Повторяя мысль изобретателя, учащийся проходит путь, испытанный и действительно ведущий к цели. Какая надобность перефразировать то, что

выражено изобретателем с ударением на существенном, с особым интересом к излагаемому, с привлекательною оригинальностью формы, — перефразировать, подвергаясь опасности удалиться от подлинной мысли. Не говорим уже о столь обыкновенной в учебных руководствах перефразировке из третьих рук“.

Мы выписали вполне *profession de foi* нашего автора, так как оно весьма важно для оценки сочинения. Посмотрим, насколько состоятелен проект автора, насколько он выдержан в исполнении, и что получилось в результате.

Мы знаем теперь, чего ожидать от книги г. Любимова. Перед нашими глазами уже рисуется целый пантеон великих людей, „изобретателей“; каждый из них сам расскажет нам свое открытие „с особою ясностью“ и „с ударением на существенном“ — при некоторой поддержке со стороны автора, который позаботится о „слиянии исторического элемента с догматическим“ без взаимного ущерба и поможет нам проникнуть в „логику открытий“.

Заманчиво — и просто, как всякая гениальная мысль. Как не удивиться, что идея г. Любимова уже раньше не нашла себе осуществления? Мы слышали, что в Англии начальная геометрия преподается по Эвклиду, но нигде еще, кажется, не было речи о преподавании механики по Архимеду или астрономии по Птоломею, тем менее о начальной физике „по первым источникам“. Отчего бы кажется? „Какая надобность перефразировать“ великие творения и о чем хлопотали составители бесчисленных учебников? Отчего не хотели они говорить „собственными словами изобретателей“? Видно, лень было рыться в старых книжках?

Но обращаясь к книге г. Любимова, мы сейчас же разочаруемся в своих ожиданиях. Мы напрасно будем отыскивать, как говорит о своих открытиях, например, творец статики, Архимед. Правда, на стр. 13-й он восклицает. нашел, нашел! и на стр. 76-й приводятся его слова „погруженный объем во столько раз менее всего объема тела, во сколько вес тела менее веса равного ему объема воды“ (фраза, повторяемая, хотя и без кавычек, во всех учебниках физики); но этим и ограничиваются подлинные цитаты из Архимеда. Вывод правила рычага, хотя и „по способу Архимеда“, предлагается нам в вольном переложении (стр. 1, ч. II-я) и оправдывается снарядом английского ученого Виллиса (стр. 3, ч. II-я), а гидростатический закон Архимеда

изложен словами Паскаля (стр. 70) и пояснен современным (1874 года) аппаратом Сира. Что бы это могло значить? Разве Архимед не „с особою ясностью изложил свои изобретения“ и пришлось „перефразировать“?

Далее, мы напрасно будем ожидать, что знаменитые кеплеровы законы планетных движений расскажет нам сам великий Кеплер. Увы, о них говорится частью словами г. Любимова, частью с помощью популярной астрономии Джона Гершеля (стр. 101, ч. II-я). Где же „собственные слова изобретателя“, где его „логика открытий“?

Несколько более посчастливилось Ньютону: из него приводятся цитаты, даже одна по-латыни (стр. 33). Но знаменитые законы движения могли быть с успехом переписаны и не прямо из Ньютона, а, например, из физики Томсона и Тэта, где приводятся в латинском подлиннике даже не один, а все три закона. Что касается рассуждений о всеобщем тяготении, то здесь у г. Любимова Ньютон в стороне: его затмил Фонтенель своими „Разговорами о множестве миров“ (стр. 107, ч. II-я), из которых кстати узнаем, что „мы имеем любопытный ум и дурные глаза“ и что, видя в опере полет Фаэтона, мы можем разьяснять его различным образом.

То же и в других отделах сочинения. В акустике распространение воздушных волн описывается по Гельмгольцу (стр. 178), хотя все, что здесь — без сомнения изящно — излагает Гельмгольц, известно было давным-давно. Изобретенный Вольтою электрофор описан на основании „письма из Вены к редактору *Физического журнала*“ (стр. 547). Статья о физических свойствах льда (стр. 234) взята не из первых „изобретателей“, даже не из современных исследователей предмета (например, Тиндаля): это — страница из „Описания ледяного дома“ академика Крафта. „Открытие“ Крафта приводится собственно к тому, что „ежели бы в солнечном теле жители обретались, то бы они текущим железом мыться и оное пить могли“, и что жители Сатурна могли бы строить дома из „водяного камня“. Тем не менее Крафт подкупил нашего автора курьезами знаменитого ледяного дома императрицы Анны — и вот перед нами воспроизводятся и шесть ледяных пушек, куда „кладено пороху по четверти фунта, а притом посконное или железное ядро закачивали“, и „пилястры, выкрашенные краской на подобие зеленого мрамора“, и даже ледяная баня, „которую несколько раз топили и действительно в ней парились“. Поучительно!

Правда, не всем „изобретателям“ так не повезло в трактате г. Любимова. Посчастливилось Галилею и Паскалю; из них выписаны целые страницы, хотя сущность цитат, только без кавычек, с полным успехом передана во всех порядочных курсах физики. Что же касается, например, полемики Галилея с последователями Аристотеля (см. длинную цитату стр. 26—28), то уж конечно рассуждения о „природных скоростях тел“ и т. п. давным-давно потеряли всякий интерес, кроме археологического. Посчастливилось далее Вольте и Фарадею — к немалой сбивчивости для учащихся, так как толкования этих ученых во многом исправлены или точнее изложены в позднейшие времена, и язык их плохо согласуется с окружающим изложением книги.

Но всего знаменательнее те места книги, где наш автор, оставляя недоверие к обыкновенным учебникам, смиряется, — и прямо черпает „из третьих рук“. Объяснение диамагнетизма и теория капиллярных явлений переданы „собственными словами“ — угадайте, чьими? Вебера, Томсона? Лапласа, Пуассона, Гаусса? Нет, эти ученые здесь даже не упомянуты: словами „автора известного курса физики“ Жамена. Французскому академику, конечно, и не снилось попасть в „изобретатели“ теорий диамагнетизма или капиллярности; но г. Любимов не задумываясь передает ему свое перо. На стр. 653-й приводится, в кавычках, страница о диамагнетизме по маленькому учебнику Жамена (*Petit traité de Physique*, 1870), на стр. 153-й части II-й две страницы о капиллярности из большого курса того же автора (*Cours de Physique*, t. I), — на этот раз без кавычек, но все одно как бы и в кавычках, т. е. почти в буквальном переводе и с указанием заимствования.

Вот до чего мы дошли. Что случилось с нашими затеями? Где ж „изобретатели“, на которых мы возлагали такие надежды? Или изменила им „особая ясность“ изложения, или плоха их „логика открытий“.

В чем же дело? Несостоятелен ли самый план г. Любимова, или неудовлетворительно исполнение? — И то и другое.

Дело в том, что наука развивалась органически и ее не склеишь из разноцветных „подлинных“ лоскутков. Если Эвклид почти закончил начальную геометрию, то менее счастлива была механика с ее более сложной задачей, еще медленнее росла вполне экспериментальная наука — физика, создание нового времени. Менялись взгляды и теории, уясня-

лись понятия, вырабатывался язык науки, и в целом дело двигалось вперед, а не вертелось в беличьем колесе „перифразировок“. Если и тут есть догмы почти законченные, то их немного, они в связи с другими и не принадлежат одному какому-нибудь автору. Неужели этого не понял наш исторический преподаватель?

Представить „логику открытий“! Легко сказать, но достигнем ли цели, идя путем нашего автора. Сам он говорит, что „школа логики открытий заключается в их философской истории“. Но мы пишем не историю науки, не историю отдельных открытий — тем менее „философскую историю“: мы пишем учебник для начинающих. Единственный исторический прием, к которому мы прибегаем — выдержки из „первых источников“ — из классических, знаменитых сочинений (забудем на время и „Ледяной дом“ Крафта и физику Жамена). Но в произведениях создателей науки не всегда виден тот логический путь, который привел к известному выводу. Многие из творцов скрыли путь открытия и изложили свои результаты в виде готовой догмы. Укажем, например, на Ньютона, которого «Principia» написаны по плану Евклидовой геометрии, представляя ряд определений, теорем, королларий. Знаменитые законы движения, переданные в книге Ньютона, иногда воспроизводятся буквально в современных руководствах (например, Томсона и Тэта), не претендующих на историческое изложение; но это делается не из уважения к истории вопроса, не ради логики открытий, а именно потому, что здесь „открытие“ является вполне готовым, со всею точностью законченного процесса мысли. Возьмем другой пример. Сочинения самого гениального из новых физиков, Фарадея, имеют характер ученого дневника, протоколов ежедневных занятий в лаборатории. Здесь, по видимому, лучше всего можно познакомиться с логикой открытий. Но, знакомясь с книгой, увидим, что эта логика имеет крайне оригинальный склад. Она изобилует странностями всякого рода, иногда детскими ошибками, иногда пророческою прозорливостью. Незнакомый с высшей математикой Фарадей скорее гениальным чутьем, чем строгой мыслью постигает то, что могло быть вполне оправдано лишь впоследствии, совсем иного рода рассуждением. Поэтому „Исследования“ Фарадея для современного, нормально подготовленного читателя, местами менее удобопонятны, чем строго математическое изложение того же предмета,

например, в трактате Максвелла. Недаром Максвелл считает одною из главных целей своего труда — „помочь учащемуся в понимании фарадеевых способов мышления и выражения“. Книга, которая, несмотря на свою литературную форму, требует *пояснений* с помощью интегрального исчисления и механики Лагранжа и Гамильтона, — очевидно, такая книга не может служить путеводной нитью при начальном изучении и, при всей своей назидательности, должна быть рекомендуема только достаточно зрелому и подготовленному уму.

Итак логика изобретения, во-первых, не всегда открыта в творении изобретателя; во-вторых, она нередко так своеобразна, выражена столь особенным, или настолько устаревшим языком, что творение нужно *изучать*, чтоб его постигнуть. Сопоставляя небольшие отдельные выдержки из того, из другого сочинения, относящихся к разным лицам и эпохам, мы мало чем осветим „логику открытий“; зато неизбежно введем пестроту терминологии, устарелые понятия, много случайного, постороннего, требующего особых комментариев. Годится ли это для начального учебника?

Итак, откажемся от претензий на „логику открытий“. Мы видели, что г. Любимов не знакомит нас с нею ни по Архимеду, ни по Кеплеру, а по Ньютону освещает нам не логику открытий, а готовый результат ее. Посмотрим теперь, насколько от „слияния исторического элемента с догматическим“ по схеме г. Любимова может выиграть ясность изложения, насколько облегчается изучение предмета?

Мы полагаем, что рекомендуемое нам „слияние“ двух элементов осуществить по меньшей мере крайне трудно. Мы думаем, что краткость и точность выражения, единство терминологии, возможно строгая система в распределении материала — качества, необходимые для учебника, особенно по точным наукам. Эти качества едва ли мирятся с „историческим“ изложением помощью выдержек из книг разных эпох и разного характера. Мы полагаем, что ум учащегося надежнее дрессируется строго последовательным и точным изложением выработанного ряда идей, чем пестрым и поверхностным историческим обзором. Недаром в Англии еще держится отчасти старинная форма учебников с *дефинициями, схолиями и короллариями* [определения, поучения и следствия (*Ред.*)], с небольшими параграфами и кратким, сжатым языком. Если такая форма представляет свою односторон-

ность, и такой остов науки полезно пояснять или подготавливать более свободным изложением, то, все-таки, прежняя метода и проще и вернее ведет к педагогической цели, чем самоновейшая метода г. Любимова.

Бесспорно, в историческом изучении науки есть своя назидательная и развивающая сторона; но трудно гоняться за двумя зайцами разом. Вопрос в том, с чего начинать и что отложить под конец? Можно сожалеть, что в более широкие рамки университетского преподавания нигде почти не входит история физики, как отдельный предмет; но самый этот факт многозначителен. Если и тут история науки признается или роскошью, или таким предметом, который доступен лишь после усвоения догматической науки, то не с большим ли еще правом можно применить это к первоначальному преподаванию?

Правда, очень часто полезно представить в конкретной и первоначальной форме опыт, составивший открытие в науке, и в учебниках до сих пор общепринято описывать опыт Торричелли, опыт Франклина, опираясь более или менее на подлинное описание. Но в этом смысле метод г. Любимова далеко не новость; новость только в злоупотреблении методом. В подобных случаях, имея в виду прежде всего облегчить уяснить изучение, необходимо соблюдать строгую разборчивость и меру. Излишество посторонних аксессуаров в описании скорее развлекает и утомляет внимание ученика, чем помогает живости и ясности представлений. Основной опыт надо оттенить от таких, которые составляют его вариант или следствие. Об авторах мелочных „открытий“ совсем не следует упоминать. Так и делается в лучших курсах физики. Изложение г. Любимова отличается только невоздержностью в цитатах и именах и недостатком, так сказать, перспективы. Даже в крупный шрифт книги частенько попадают предлинные описания подлинных опытов весьма второстепенной важности; множество мелких „открытий“ и имен так и кишат местами. Каждому образованному человеку должно быть известно открытие Торричелли, опыт Франклина; но когда, например, нам сообщают (крупным шрифтом в тексте), что подушки с пружинами в электрической машине введены Винклером и что „аббат Ноллет был против употребления подушек и отличался искусством возбуждать электричество трением своей руки“ (стр. 495), то такой ученый балласт обяза-

телен не только для ученика гимназии, но и для специалиста по электричеству.

Точно так же воздержен г. Любимов и относительно *биографического* элемента. Допустим, что такой элемент может иметь педагогическое значение и, будучи сосредоточен в примечаниях, вообще не повредит изложению; но надо и тут знать такт и меру. Необходимо всякому знать, кто был Галилей и чем прославился Френель; может быть, полезно даже представить учащемуся некоторую характеристику таких светил науки, и например, выписка из Дюма (стр. 623) об Ампере и Фарадее в своем роде уместна, несмотря на длину, ибо метко рисует личность двух гениальных исследователей. Но таких биографических очерков у г. Любимова немного; большей частью об ученых и первоклассных, и второстепенных, передаются отрывочные, случайные сведения. Один например (Совер) характеризуется тем, что „был до восьми лет нем и всю жизнь косноязычен“ (стр. 175), другой (Дальтон) „принадлежал к секте квакеров“ (стр. 237), третий (Дюфэ) „умер 43-х лет от оспы“ (стр. 487), четвертый (некий Antonius de Dominis) рекомендуется ученику как „иезуит, быстро поднявшийся в церковной иерархии до звания архиепископа“ (стр. 435), и проч. и проч. Ужели здесь сообщается читателю что-либо кроме самой бесполезной эрудиции? — Фон картины составляет целая толпа совсем забытых и ничего не говорящих имен, как Гаузен. Геберт, Геммер, Бозе, Алламан и tutti quanti — коих лучше бы вовсе не тревожить. Между тем это обилие имен, цифр, подробностей делает изложение крайне пестрым и многоречивым, мешает ориентироваться и сосредоточивать внимание. Не лучше ли было бы и биографический элемент, если он нужен, сосредоточить на немногих избранниках науки, заботясь именно о характеристике, о цельности образа, и избегая случайных, отрывочных и бесполезных курьезов? Автору и здесь недостает самообладания, чувства меры и выбора; а в учебнике они обязательнее, чем где-либо.

По нашему мнению, исторический элемент у г. Любимова является не столько „школой логики открытий“, не столько „вкладом в духовное развитие учащегося“, или средством „освещать и разделять“ представления — сколько элементом, так сказать, рекреационным. Может быть ученику приятно и занятно отдохнуть от умственной работы, рассматривая курьезные картинки из Герике и Мюскенбрука, читая наив-

ные фразы Шейнера (стр. 385) или шутки Франклина (стр. 510); но сомневаемся, чтоб здесь было что-нибудь особенно назидательное и уяснительное для юного ума. Чтобы этот увеселительный элемент (если он желателен) не мешал учащемуся, следовало, по крайней мере, старательнее отгородить рекреацию от учения. Мы серьезно боимся, что первым и преобладающим впечатлением от некоторых страниц книги будет именно какая-нибудь „муха со слона и блоха с верблюда“, или калкутский петух, зажаренный на электрическом вертеле, и что эти занимательные предметы, легко и упорно поселяясь в воображении юного читателя, будут помехой для более серьезных умственных приобретений. Несмотря на употребление трех различных шрифтов в книге, курьезы в роде указанных не только не остаются в приличной тени, но с особенною назойливостью бросаются в глаза даже взрослому читателю, отвлекая внимание и заигрывая с фантазией.

Если такого рода „историческое“ изложение предмета принесет мало пользы учащимся, то для автора, с другой стороны, оно представляет несомненные выгоды. Правда, приходится порыться в старых книгах; но ведь в каждой можно прочесть по нескольку страничек, выбирая что поинтереснее, или просто открывая, где попало. Зато автору нет надобности гоняться за строгостью системы, точностью языка; он говорит не от себя, а словами разных знаменитых людей. Действуя то как эпический поэт, то как драматург, он весь прячется за своими персонажами и становится безответственным. Написать старательно учебник чисто догматический — работа трудная и неблагодарная. Над каждой фразой приходится подумать, приходится мирить требования педагогические и научные. Как бы вы ни старались, как бы самостоятельно ни переработали материал, в конце концов получите нечто скромное, необъемистое, не кидающееся в глаза и, по необходимости, похожее с виду на все другие учебники. По плану г. Любимова сразу достигается и безответственность автора, и „оригинальность“ труда, и увесистый объем его. Право, мы боимся, что, с легкой руки г. Любимова, исторические учебники войдут у нас в моду.

В этом „историческом“ изложении, в этой массе цитат, годов, имен, деталей, основные факты, основные положения науки расплываются иногда до неуловимости. Нигде почти не дано (разве иногда в 5-м отделе) кратких и точных ре-

зюме, которые бы помогали делу, где основные истины являлись бы уже в чисто догматической форме без примесей и вариантов. К книге приложен, правда, репетиторий; но он слишком краток (34 страницы), чтобы восстанавливать в должной системе и перспективе содержание почти тысячи страниц.

Чтоб дать понятие об изложении г. Любимова, пришлось бы делать длинные выписки. Мы приведем два из не слишком обширных параграфов, и то не вполне. Заметим, что на первый раз черпаем из лучших, наиболее обдуманых мест книги, где язык еще сносно точен и положительных ошибок нет.

Вот, например, как излагается принцип весового барометра (стр. 110):

„Поставим на столе сосуд со ртутью, в которую погрузим открытый конец трубки Торричелли, но вместо того чтобы держать трубку в руке, привесим ее к чашке весов и приведем весы в равновесие, положив достаточный груз на другую чашку. Мы найдем, что этот груз будет равняться весу стеклянной трубки и всего количества ртути, в ней заключающегося. Колонна ртути поддерживается атмосферным давлением и не обременяет своим весом сосуда. Точнее сказать: давление ртутного столба вниз только заменяет собою давление, какое оказал бы воздух, если бы поверхность ртути в сосуде была свободна в том месте, где погружена трубка. Этот опыт был уже известен Паскалю, который говорит: „Трубка с колонною ртути, если свесить ее не вынимая отверстия из ртути и сохранять ее положение, весит столько, сколько весит вещество трубки вместе со столбом ртути, в ней заключающимся. При этом пространство над ртутью может быть велико или мало по произволу“. (Nouvelles expériences touchant le vide, VI expér.)

Далее следует описание снаряда, с упоминанием „английского любителя физики, кавалера Морланда“ и „римского астронома, отца Секки (?)“.

Читая предыдущее объяснение, не вдруг разберешь, на чем основана идея снаряда: на прямом ли опыте, открывающем новый принцип, на выводе ли из известных прежде законов или на авторитете Паскаля. Фразы, долженствующие разъяснить дело, помогают мало и даже запутывают читателя. Важно объяснить не то, почему колонна ртути не обременяет сосуда, а то, почему она обременяет весы. И если

„давление ртутного столба вниз только заменяет собою давление, какое оказал бы воздух“, и т. д., то не проще ли (подумает иной ученик) привесить на весы открытую и пустую трубку, погрузивши, пожалуй, нижний конец ее в ртуть. Вместо давления ртути будем иметь прямо давление воздуха, и весы должны попрежнему служить барометром?

Вот начало статьи о лейденской банке (стр. 503):

„В январе 1746 года, Реомюр в Париже получил письмо на латинском языке из Лейдена от тамошнего профессора философии и математики Мушенбрека (Musschenbroek). В письме было сказано: „Хочу сообщить вам новый и странный опыт, который советую самим никак не повторять. Я делал некоторые исследования над электрической силой и для этой цели повесил на двух шнурах из голубого шелка железный ствол *AB*“ (здесь рисунок, снятый с подлинного), „получавший, через сообщение, электричество от стеклянного шара, который приводился в быстрое вращение и натирался прикосновением рук. На другом конце *B* свободно висела медная проволока, конец которой был погружен в круглый стеклянный сосуд *D* (наконечник то!), отчасти наполненный водою, который я держал в правой руке *F*; другою же рукою я пробовал извлечь искры из наэлектризованного ствола. Вдруг моя правая рука была поражена с такою силой, что все тело содрогнулось как от удара молнии. Сосуд хотя и из тонкого стекла обыкновенно сотрясением этим не разбивается, и кисть руки не перемещается, но рука и все тело поражаются столь страшным образом, что и сказать не могу; одним словом, я думал, что пришел конец“ . . . (стр. 503—505).

И в тексте, и на рисунке не вдруг и заметишь то, что составляет центр тяжести всего рассказа — первообраз лейденской банки. Затем еще две страницы об опытах в Лейдене, в Париже, в Версале, в Лейпциге, на Темзе и пр. Кроме истинного изобретателя („Клейст, декан соборной церкви в Камине, в Померании“, стр. 505) фигурируют Кунеус, Алламан, аббат Ноллет, врач Лемонье, Гралат, Винклер, Бозе („автор целого стихотворения об электричестве“, стр. 506), Бевис, Уатсон. Следующий параграф, озаглавленный „Франклинова теория лейденской банки“, дает на трех страницах выписки из Франклина, и никакой теории собственно не содержит: она отлагается до 5-го отдела.

Под влиянием такой системы изложения, язык книги теряет точность и сжатость даже там, где автор не впадает в историю. Изложение становится чересчур *литературным*. Там, где, отрекаясь от роли эпического повествователя или драматурга, автор начинает говорить от себя, он впадает в лиризм, доходящий местами до крайнего пафоса. Вот, например, тирада в таком роде:

„Вообще характеристическая черта электрического процесса есть его мимолетность (?). Это ступень (!), ведущая от одного явления к другому; переходный момент (!), появляющийся, чтоб исчезнуть, дав возможность одному явлению преобразоваться в другое. Универсальность электрического процесса в том, что он служит связью самых разнообразных явлений“ (стр. 712, 713).

Здесь, как видите, ясности немного: то, что можно понять, совсем неосновательно, и даже ученик гимназии может закидать автора возражениями. Но мы полагаем, что скептические помыслы умолкнут перед этою величественной речью, и ученик проникнется одним только благоговейным изумлением. . . .

Бойкость пера и какая-то изысканность слога вообще свойственны нашему автору, хотя и попадаютса у него фразы вроде: „определение английского ученого начала нынешнего столетия, Йонга“ (стр. 136) или „условимся считать преодоление сопротивления, в килограмм величиною, на протяжении одного метра за *единицу работы*“ (стр. 63, 64, ч. II). Вчитываясь внимательнее в литературное произведение г. Любимова и по возможности не поддаваясь соблазну его стиля, мы находим, что вся книга писалась спешно и небрежно, что о точности слов и фраз не заботились. Везде обилие оговорок и уклончивых слов, в роде, „главным образом“, „с одной стороны“ и т. п., что совсем не идет к учебнику. Примеры можно брать чуть не с каждой страницы. В статье об Атвудовой машине „тело *M* (привесок) замедляет движение гири и притом главным образом (?) не потому, что имеет вес, а потому, что имеет массу“ (стр. 44, ч. II-я). В параграфе об энергии тока, энергия лейденской банки „определяется, во-первых, *количеством* электричества, сообщенного банке или батарее, и, во-вторых (?), *напряжением* или (?) *плотностью* этого электричества“ (стр. 709); что значат эти *во-первых* и *во-вторых*, нигде далее не поясняется. В статье о трении читаем общий закон: „*Величина*

трения остается постоянно во все время движения (?) и следовательно не зависит от его скорости" (стр. 145, ч. II-я); известно, что достаточно смазать маслом часть трущей поверхности, чтобы нарушить это „постоянство“, из чего, однако же, не „следует“, что трение зависит от скорости. Иногда целые периоды являются как-то вскользь и, претендуя наекнуть на многое, ничего толком не объясняют. К чему, например, помещена такая тирада:

„Явления эти (капиллярные) зависят с одной стороны от того, что между частицами жидкости существуют взаимные притяжения, побуждающие жидкую массу, предоставленную своим внутренним силам, принимать сферическую форму, а с другой, что между частицами твердого тела и частицами жидкости может существовать прилипание, превышающее взаимное притяжение частиц жидкости (как в случае стекла и воды)" (стр. 51).

Этой тяжелой фразой исчерпывается все объяснение капиллярности, какое находим в I-й части; не лучше ли было совсем промолчать? Вот еще пример в том же роде. Говоря об опыте с магнитными кривыми линиями, автор счел нужным прибавить:

„Знаменитый английский физик нынешнего столетия Фарадей (умер в 1867 году) дает магнитным кривым важное теоретическое значение, допуская (?), что их направлением указывается направление *линий магнитной силы*, к каким этот ученый сводит теорию магнитных явлений, принимая (?), что железо и вообще тела, притягиваемые магнитом, стремятся в те места магнитного поля, где линии силы теснее сходятся" (стр. 476).

Почему здесь есть какое-то *допущение*, ученик поймет тем меньше, что за несколько строк перед тем сам автор *убедил* его, что опилки располагаются по направлениям магнитных сил. На какую *теорию* Фарадея здесь намекается — это остается для читателя в совершенном тумане. Немало призадумается он и там, где автор, говоря о воздушных волнах, почему-то находит, что „двигая, например, рукой в воздухе, мы заставляем частицы расступаться, но не образуем сжатых или разреженных волн" (стр. 155). „В водороде“, прибавляет автор, „при чрезвычайной подвижности его частиц, даже быстрого движения звучащего тела недостаточно, повидимому (?), чтобы произвести сжатия и разрежения“.

В механических отделах физики, где точность изложения и обязательнее и удобоисполнимее, чем где-либо, наш автор особенно поражает своею бесцеремонностью. Так, на стр. 44-й читаем: „Вообще, когда система состоит из двух тел, между которыми существует только взаимное действие, то эта система сама собою не может притти в движение“. Извольте догадаться, что вместо *система* надо читать *центр тяжести системы*! Самый пример, приводимый автором в оправдание (магнит и железо на поплавке), таков, что может ввести в заблуждение, будто и в самом деле автор прав. В статье о весах говорится: „Если весы *верны*, то, когда чашки их не обременены грузами, коромысло должно оставаться в горизонтальном положении... Этому условию легко удовлетворить, — если бы оно первоначально не было выполнено, — увеличивая или уменьшая вес одной из чашек“ (стр. 18, 19). А немного ниже: „Верность весов свидетельствует о равенстве плеч их рычага“. Как же выверить весы: следует ли уравнивать вес чашек, или длину плеч коромысла? или достаточно сделать одно, а другое делается само собой?

Интересна вся статья о сложении и разложении сил. На странице 8-й (ч. II-й) автор впервые говорит о разложении силы на две слагающие. „Угол между этими слагающими может быть произвольный, но они должны быть сторонами параллелограмма, в котором данная сила должна представлять диагональ“. И только. Почему привилегией произвольности пользуется именно этот угол, можно ли, и в какой мере, располагать по произволу величиною слагающих, это секрет автора. Интересно далее определение центра параллельных сил.

„Точка приложения этой равнодействующей (системы параллельных сил) имеет любопытное свойство. Если бы направление сил изменилось по отношению к телу, но они остались бы параллельными между собою и сохранили ту же величину, то новая равнодействующая прошла бы через ту же точку как прежняя. Точка эта потому и называется *центром параллельных сил*“ (стр. 14 и 15, ч. II-я).

Но дело в том, что в случае параллельных сил за точку приложения равнодействующей можно брать любую точку известной линии. Автор без оговорки выбирает одну из этих точек, именно ту, которая имеет указанное им *свойство*. Это свойство и составляет *определение* центра параллельных сил, который есть *одна из возможных точек приложения*

равнодействующей, а не точки приложения вообще, — новое понятие, а не просто синоним прежнего термина.

Расплывчатость и неточность языка г. Любимова с особенною силой сказываются там, где приходится вводить и разъяснять основные понятия науки, как-то: *скорость*, *сила*, *энергия*, *луч света*, *электрическое напряжение* и т. п. Эти термины, точное усвоение которых так важно, вкрадываются в изложение как-то незаметно, вскользь; они недостаточно подчеркнуты и полного определения не получают не только с самого начала, но часто и нигде. Вся надежда, повидимому, возлагается на то, что частое употребление слова приучит понимать его точное значение. Но в этом отношении обильные цитаты с разнородной терминологией служат начинающему большой помехой. Иногда и дается специальное разъяснение, но оно как-то не сконцентрировано и плохо укладывается в голове. Приведем несколько примеров. Начнем с понятия о *скорости* движения; уже чего, кажется, проще, а и тут как-то неладно. Определивши (NB: не ранее, как в пятом отделе!), что такое *скорость* равномерного движения, автор переходит к движению переменному.

„Понятие *скорость* в переменном движении имеет другое значение, чем в равномерном. *Скорость* переменного движения не есть величина постоянная; потому здесь трактуется не об общей *скорости* движения, а о *скорости*, соответствующей данной точке пути или данному моменту движения“ (стр. 18, ч. II-я).

Чтоб пояснить дело, автор сначала определяет *скорость* для данного промежутка времени, и заканчивает так:

„чем менее возьмем промежуток, тем ближе подойдем к величине *истинной* скорости, которая и есть таким образом *предел* скорости, определенной через деление пространства, пройденного в малый промежуток времени на это время и именуемой *среднею* скоростью, соответствующею этому промежутку“.

Итого выходит почти две страницы (один последний период чего стоит), а все как-то невразумительно. А то же самое можно было сказать в двух-трех толковых и не захватывающих дух фразах.

Слово *сила* появляется на стр. 3-й. Говоря о теле, привешенном на нити, автор рассуждает:

„Спротивление нити уничтожает действие тяжести, которое тянет вниз. Линия *MP*, служащая продолжением нити

AB, наглядно показывает *направление*, по которому это действие обнаруживается. Явление происходит так, как если бы линия *MP* была нитью, за которую некоторая невидимая причина или *сила* тянула бы тело вниз по ее направлению“ (стр. 2—3).

С этих пор термин *сила* считается разъясненным, и некоторое определение получает только в 5-м отделе (стр. 33, ч. II). Между тем на страницах книги слово *сила* попадает в самых различных значениях; то в смысле известного рода энергии (в неточной фразе Майера: „груз, покоящийся на земле, не есть *сила*“, стр. 283), то в смысле опять новым и условном (в фразе Гершеля: „одна и та же *сила*, изменяющаяся вместе с расстоянием от солнца, удерживает *все* планеты на их орбитах“, стр. 102, ч. II); говорится (словами Фарадея) о том, что электричество „может через металлы и известные роды угля передать на расстояние *силу*, которую зовут обыкновенно химическим сродством“ (стр. 713), что „мы знаем некоторые процессы, при которых изменяется *форма сил*, так что происходит видимое *превращение* одной в другую“ (стр. 589), и „можем преобразовать химическую *силу* в электрический ток, или электрический ток в химическую *силу*“ (опять энергия!).

Понятие об *энергии* вводится в учебник следующими словами: „Тела, движущиеся или находящиеся в условиях, могущих породить (!) движение, считаются (?) обладающими энергией. Движущееся тело обладает явной или *кинетической энергией*, называемую также *энергией движения*. Тело, находящееся в покое, но подверженное действию *силы* и помещенное так, что действие это может породить движение, имеет *потенциальную энергию* или *энергию положения*“ (стр. 283). Цитируется уже указанная нами фраза Майера, — писателя, у которого „логика открытий“ так причудлива и язык так далек от общепринятого, что лучше бы совсем не трогать этого ученого в курсе начальной физики. Далее — довольно длинные рассуждения о том, что тело может быть подвержено действию *силы* и не иметь энергии, что энергия неразрушима и т. д. Прямого определения термина нет нигде; вся надежда на то, что учащийся, наслушавшись о телах, имеющих энергию или считающихся обладателями ее, привыкнет к новому слову и, *может быть*, постигнет наконец его значение. В 5-м отделе (стр. 71, ч. II-я) автор возвращается к понятию об энергии, но и тут не находит нужным

пополнить оставленный пробел: „Значение энергии и разделение ее на два вида, *потенциальную и кинетическую*, было уже указано в § 199, стр. 282“, говорит он. Затем „прибавляет“, что потенциальная энергия измеряется некоторою работой, а кинетическая зависит, „очевидно“, от скорости тела и от его массы и измеряется живой силой. „Мера эта избрана на том основании, что ею объясняются эквивалентные преобразования энергии из одной формы в другую (так как работа и живая сила связаны между собой)“ (стр. 72) Но понятие о преобразованиях энергии (да еще эквивалентных!) нельзя составить себе, не зная, что такое энергия; а теперь выходит, что, не понявши „эквивалентных преобразований энергии“, не поймешь и самого слова энергия. Как же быть? Может оно и так с „исторической“ точки зрения; но надо же пожалеть бедного ученика, которому приходится раскусывать этот *sergle vicieux*.

Вот как передается „понятие о лучах света, как основание геометрической оптики“ (заглавие § 202-го): „Принесем в темную комнату светящееся тело небольших размеров. Мы можем рассматривать его как светящуюся точку. Не трудно убедиться, что освещающее действие его происходит по *прямым* линиям, идущим от него во все стороны, как от центра“ (приводятся доказательства). „Отсюда идея о *лучах* света по прямым линиям, идущих во все стороны от каждой светящейся точки“ (стр. 289). Сотню страниц спустя, говорится в примечании, что „выражения: луч света и частица света равнозначительны у Ньютона“ (что гораздо толковее выходит в приводимой тут же подлинной фразе, стр. 398) Что же такое луч света?

Термин *температура* появляется тоже как-то мимоходом. Описавши, что произойдет, когда опустим в нагретую воду термометр, автор говорит: „Указанный момент опыта выражается словами: *термометр пришел в равновесие температуры* с водой... Таким образом, приводя термометр в прикосновение с различными телами или оставляя в воздухе, мы можем по движению его жидкой колонны заключить об изменениях термического состояния или *температуры... тел*“ (стр. 195).

Но особенно курьезна история термина *электрическое напряжение*. Ее стоит проследить по 1-му и по 2-му изданию учебника. В первом издании были разнообразные покушения

разъяснить злосчастный термин, хотя много спустя после того, как он, незаметно и без курсива, закрался в текст сочинения (кажется на стр. 531, 1-го издания). В одном месте говорилось: „напряжение, то есть толщина электрического слоя“ (стр. 603, 1-е издание). Далее эта толщина слоя уже именовалась (употребляем любимый глагол г. Любимова) *плотностью*: „плотность (нагляднее (?) толщина) электрического слоя“; тут мы узнаем, что „то же понятие, менее точно (?), выражается термином *электрическое напряжение*“, и вслед за тем, в примечании, что „правильнее сохранить термин *напряжение* для обозначения того, что в высшей математической теории электрических явлений именуется *потенциалом*“ (стр. 638, 1-е изд.). Итак, вот уже два разные определения слова, из которых одно оказывается то как будто вполне точным, то вдруг *менее точным*. Но на пути между двумя приведенными цитатами встречаем опять нечто новое: „напряжения же при одинаковости формы прикасающихся частей можно принять пропорциональными количествам“; хотя тут же повествуется, что „проводники“ (прикасающиеся) „принимают общее напряжение“ (стр. 605, 1-е изд.), что идет в разлад с предыдущей фразой.

Утомившись борьбою со столь неблагоприятным термином, автор во втором издании, повидимому, решил: не давать ему никакого определения. Термин *напряжение* остался, он служит даже опорой для другого нового понятия — *электродвижущей силы*: впрочем, кто кого подпирает — неизвестно. „В гальваническом элементе его *электродвижущая сила*... есть причина электрического напряжения“, а „разность этих напряжений и есть мера электродвижущей силы элемента“ (стр. 701). Впрочем следы „объяснений“ остались кое-где и во втором издании. Так на стр. 709-й уцелело, по недосмотру, „*напряжение или плотность*“; незадолго перед этим вводится термин „*напряжение тока*“ (стр. 694), без оговорки, что это не то „напряжение“ текущего электричества, о котором говорилось, например, на стр. 618-й. С другой стороны, в новой статье о потенциале, помещенной в пятом отделе второго издания, неожиданно мелькает „разность *потенциалов* или (?) *электрических напряжений*“ (стр. 120, ч. II-я). Итак смешение разнородных понятий осталось и в „просмотренном“ издании, и уловить смысл фатального „напряжения“ так же трудно, как и прежде.

Нам скажут: но некоторым из основных понятий физики и невозможно дать строгих и простых определений, особенно в элементарной книге. Прекрасно; но мы ведь не Бог знает чего и требуем, когда говорим о необходимости *определений*. Мы знаем, что, например, понятие *сила* граничит со сферой метафизической и что обыкновенное определение силы, как причины, изменяющей движение тела и т. п., не безупречно и не вполне ясно для ученика на первых порах. Но, во-первых, подобное понятие обыкновенно сейчас же поясняется некоторыми атрибутами, и через это становится доступнее. Говоря о силе, говорят сейчас же о ее точке приложения, о ее направлении, о ее величине. Чтоб не приводить примеров из разных учебников, ограничимся например, маленьким курсом Жамена (Jamin, *Petit traité de Physique*, 1870), к которому, как мы видели, наш автор относится поощрительно. Сказавши на первой странице, что „*Toute cause qui modifie cet état*“. [Всякая причина, которая изменяет это состояние (*Ред.*)] (состояние движения материи), „*se nomme force*“ [называется силой (*Ред.*)], автор сейчас же прибавляет: „*Le point sur lequel une force agit est son point d'application. Sa direction est la direction du mouvement qu'elle produit. Enfin, il faut connaître l'intensité d'une force*“. [Точка, к которой приложена сила, есть ее *точка приложения*. Ее направление есть направление движения, которое она производит. Наконец, надо знать *величину* силы (*Ред.*)] и т. д. Как бы то ни было, этими словами, если они и недостаточны как логическое определение, слово *сила*, по крайней мере, *акцентуируется*, подчеркивается; это-то и нужно для учебника. У г. Любимова новое слово появляется мимоходом, косвенно, в длинной и сложной фразе (нередко в такой фразе есть и еще другие столь же новые термины) и как-то ускользает от внимания. Только в пятом отделе, и то не всегда, он остановится на термине с некоторым ударением; здесь, например (стр. 33, ч. II-я), *сила* определяется почти такими же словами, как у Жамена.

Большей частью сделать достаточно точное определение совсем не так трудно, как в приведенном нами случае. Так, упомянувши в самом начале оптики, что свет в средах однородных распространяется по прямой линии, Жамен сейчас же прибавляет: „*et l'on nomme rayon la direction qu'elle (la lumière) suit*“. [„Направление, в котором он (свет) следует, называют *лучом*“ (*Ред.*)] Достаточно точно для данной цели и просто. Но для г. Любимова это слишком просто; он

предпочитает выразиться похитрее: сказавши о прямолинейном распространении света, он ввертывает „отсюда идея о лучах“!

Мы не думаем, чтоб, избегая определения основных понятий, г. Любимов действовал по принципу, сознавая трудность для учащегося или неизбежную неудовлетворительность многих определений. Это просто объясняется небрежностью языка, благодаря которой точные фразы вообще не в обычае у нашего автора. Укажем в подтверждение на то, что определения или объяснения новых слов не удаются ему и там, где речь идет о вещах весьма простых, и уже вовсе не метафизических. Так, вводя слово *резонатор*, автор говорит: „Усиливающий звук снаряд может быть приложен к самому уху. Тогда (!) он носит название *резонатора*. Резонаторы изобретены Гельмгольцом и суть медные или иные шары и цилиндры определенных размеров ...“ (стр. 151, 152). Здесь, как видите, *резонаторы вообще* смешиваются с *резонаторами Гельмгольца*, причем и тем и другим дается право на иностранную кличку лишь в то время, когда они приложены к уху. В статье о паровой машине (стр. 263) *коромысло* ошибочно названо *шатуном* (у механиков шатуном называется стержень, сочленяющий коромысло с кривошипом), а слово *кривошип* употреблено без всякого объяснения. С другой стороны, мы находим фразы в форме определений там, где их вовсе не ожидаешь и где автор не боится даже метафизики. Так, словами Лейбница, он поучает нас, что музыка есть „тайное и бессознательное упражнение души в арифметике“ (стр. 173); в параграфе, озаглавленном „зрение как психический акт составления картины внешнего мира“, нам объясняют, что „увидать предмет значит, путем бессознательного соображения, определить его место в общем расположении предметов“ (стр. 362). Фразу об „электрическом процессе“, который есть некая „ступень“ и некий „момент“, мы уже приводили выше.

Наши выдержки из „Начальной физики“ можно было бы умножить по произволу; но едва ли это нужно. Полагаем, что мы уже достаточно характеризовали главнейшие особенности „руководства“ г. Любимова. Время подвести итоги сказанному.

Увлечшись эффектной фразой об историческом изложении предмета, наш автор обещал нам „слияние исторического элемента с догматическим“, каковому слиянию приписыв-

вал разные драгоценные свойства. Результатом явилось нечто такое, что не есть ни настоящая история, ни толковая догма предмета. Рекомендуемое слияние, вернее — смесь, представляет собою поверхностную и беспорядочную летопись и плохой учебник. Возложив на себя право и обязанность говорить устами разных замечательных людей, автор злоупотребляет ими не стесняясь, с видимым удобством для себя и на горе руководимым ученикам. В ежеминутных цитатах, то курьезных, то смехотворных, и почти всюду бесполезных, перед нами является не наука, а какая-то кунсткамера. В этой мозаике чужих речей гибнет всякая ясность изложения, и гоняясь за „логикой открытий“, автор частенько увольняет себя от логики обыкновенного мышления. Под влиянием своей компилятивной работы, он сам как будто дробится на множество лиц, из которых каждое говорит по-своему, не заботясь о прочих. Получается текст, в котором едва ли есть одно точное и выдержанное определение, едва ли найдутся две фразы сряду толковые и одна другой не мешающие. Этот текст *именуется* „руководством“.

Р. А. КОЛЛИ *

(Ум. 2 августа 1891 г.)

Роберт Андреевич Колли родился 25 июня 1845 г. под Москвой, в с. Петровском-Разумовском, в доме, с 60-х годов принадлежащем той Академии, в которой протекли последние годы его ученой деятельности **.

Семейство, к которому принадлежит покойный, — английского происхождения. Дед Р. А., Яков (Васильевич) Колли (James Colley, род 1771 г., ум 1839 г.), занимаясь торговлей, прибыл в Кронштадт в 1795 г с женою Мариєю (Ивановной), урожденною Бэйли (Bailey), и с тех пор поселился в России навсегда. В самый день прибытия, на английском корабле, в виду Кронштадта, у них родился (24 июня 1795 г.) сын Андрей Яковлевич, отец Р. А. Андрей Яковлевич (ум 1859 г.) продолжал торговое дело, переданное ему отцом, и значительно увеличил благосостояние семьи. Он принял русское подданство и приобрел почетное гражданство; все его дети родились уже русскими подданными. Жена его, Наталия Христиановна, урожденная Рейнгардт, принадлежала к вюртембергскому дворянскому роду, но родилась и воспитывалась в России ***.

* При составлении этого очерка автор пользовался сведениями, любезно сообщенными вдовой покойного, М. В. Колли, и братом его А. А. Колли (рукопись которого о родословной и первых годах жизни Р. А. почти буквально вошла в состав статьи). Сверх того ценными сведениями о деятельности в Казани и в Петровском я обязан ассистентам покойного Н. П. Мышкину и К. И. Кебелю.

** Восточный флигель, некогда сдававшийся под дачу, а впоследствии послуживший помещением для сельскохозяйственного музея Академии

*** А. Я. Колли, бывший в товариществе с Редлихом, а потом с Ахенбахом, был чтим в торговом мире за абсолютную честность

Роберт Андреевич был младшим из семерых детей Андрея Яковлевича *. Развитие его началось — по порядку, сложившемуся в семье — с прочного домашнего образования: в школу он вступил с хорошей подготовкой и знанием трех иностранных языков. Школа эта была весьма известный в то время пансион Эннеса.

Широкое общее образование, хорошее знакомство с русской и иностранными литературами, умение ясно и метко выразиться в устном слове и на письме — эти качества покойного, без сомнения, выработались при содействии семьи и солидной школы. Чужие языки дались ему особенно легко: кроме русского, он с юных лет свободно говорил и писал на английском, французском и немецком, а впоследствии научился итальянскому и испанскому. Семья А. Я. Колли уже значительно обрусела, весь склад жизни был русский; тем не менее, живучие английские традиции клали на эту жизнь свой отпечаток и отразились на выработке характера и складе ума Р. А. Серьезное отношение ко всякому делу, даже к мелким подробностям жизни, и чисто англосаксонская настойчивость характеризовали его с детских лет

Окончив в пансионе гимназический курс, Р. А. еще не имел полных 16 лет. Тем не менее, по выдержании экзамена, он был принят в Московский Университет на физико-математический факультет, где потом, с 3-го курса, пошел по отделению естественных наук. Серьезная болезнь помешала ему во-время окончить ученье: будучи уже на 4-м курсе, он должен был на время оставить Университет.

Р. А. любил охотиться с ружьем за болотной дичью и этому занятию предавался летом со страстью. Простудившись раз на охоте, он схватил лихорадку; но не обратил на болезнь должного внимания и, еще не оправившись вполне, снова стал бродить по болотам. Лихорадка укоренилась и приняла упорный, хронический характер. Созванный

в ведении дел и отличался вообще гуманным отношением к ближнему. Не раз случалось, как рассказывают, что запутавшийся должник получал от А. Я. на дому сумму для уплаты долга конторе „Колли и Редлих“

* Пять сыновей и две дочери. Из сыновей двое умерли в молодых годах; Андрей Андреевич, наследуя отцу, был долгое время членом банкирской фирмы „Ахенбах и Колли младший“; Александр Андреевич (единственный, оставшийся в живых) состоит профессором химии в Имп. Московском Техническом Училище.

консилиум врачей решил, что больному опасно оставаться в Москве, особенно зимою, и следует переселиться в более теплый и ровный климат. Рекомендовали остров Мадеру, отличающийся малыми колебаниями температуры, и туда Р. А. был отправлен, в сопровождении сестры, в декабре 1864 г. На Мадере он пробыл зиму и в мае вернулся в Европу; лето провел в Париже и Швейцарии, а зиму в Италии. На следующее лето, уже значительно оправившись, он приезжал в Москву, но на зиму опять уехал в Италию. В сложности он провел за границей с лишком три года, по прошествии которых окреп настолько, что вернулся окончательно в Москву. По постановлению университетского совета, Р. А. был принят вновь на тот же 4-й курс и был потом выпущен со степенью кандидата (1869 г.).

Наклонность к занятиям физикой проявилась у Колли еще до поступления в Университет (в пансионе был хороший преподаватель предмета); но лишь на последнем курсе эта наклонность определилась настолько, что Р. А. избрал физику своею специальностью. Между тем естественно-историческое отделение было уже почти пройдено; воротаться назад на математическое отделение значило бы опять потерять два года. Поэтому Колли решил домашними занятиями пополнить недостаток сведений по высшей математике, мешавший ему основательнее познакомиться с физикой. Этого он достиг сравнительно быстро: редкий и замечательный пример настойчивости.

Мне (в то время доценту университета) пришлось познакомиться с Р. А. уже в ту пору его жизни, когда он, окончательно сосредоточившись на физике, обзаведясь домашней лабораторией и напечатав свое первое исследование („О Лейденфростовом явлении“, 1871 г.), встречал формальное препятствие к приобретению дальнейших ученых степеней по избранной специальности как кандидат естественного отделения. Вместе с бывшим профессором Н. А. Любимовым, мне пришлось особо ходатайствовать перед факультетом, чтобы Колли был допущен к испытаниям на магистра физики, не подвергаясь предварительно экзаменам на степень кандидата математических наук. Испытания были окончены с полным успехом, и уже зрела мысль о магистерской диссертации.

В начале 70-х годов, под впечатлением виденных мною заграничных физических лабораторий, в одной из которых

(у Кирхгофа, в Гейдельберге) я только что окончил свою докторскую работу, я стал хлопотать об организации подобного института, хотя бы в скромных размерах, при Московском Университете. Помещение нашего физического кабинета не допускало расширений; пришлось ходатайствовать об отдельном уголке для „физической лаборатории“ (термин в то время еще непривычный!), где было бы побольше простору и приспособлений для первоначальной практики, а отчасти и для более специальных работ. Благодаря теплоте участию тогдашнего ректора, покойного С. М. Соловьева, это вскоре удалось: с 1873 г. под лабораторию была приспособлена часть „ректорского флигеля“ на дворе старого университета, — помещение, которое, в значительно расширенном виде, и до сих пор служит этой цели¹.

Роберту Андреевичу я предложил делить со мной заботы по устройству лаборатории и по организации студенческих упражнений, на что он любезно согласился — не в виду ничтожного вознаграждения, в котором не нуждался, а по сочувствию к новому институту, где притом устраивалось гнездо и для собственных его научных занятий. Таким образом Р. А. Колли был первым лаборантом по физике в Московском Университете (с 28 апреля 1873 г.).

Осенью 1873 г. Р. А. женился на Марии Владимировне Богенгардт и брал отпуск на некоторое время в Италию. Вернувшись в Москву, он сейчас же засел за свои опыты, послужившие потом предметом его магистерской диссертации.

Идея была оригинальная, и подтверждение ее требовало опытов очень тонких. Представим себе длинную вертикальную трубку, служащую вольтметром для разложения какой-нибудь жидкости, например, азотнокислого серебра между серебряными электродами. Если ток идет вверх, и следовательно, выделяющимся тяжелым атомам серебра приходится подниматься, то в вольтметре совершается некоторый избыток работы, какого нет при обратном направлении тока. Всякая работа тока сопровождается его ослабеванием, — появлением обратной электродвижущей силы в цепи. При равных прочих условиях, в нашем вольтметре ток, идущий вверх,

¹ Текст до сих пор относится к тому времени, когда очерк был подготовлен Столетовым. Здание, о котором здесь говорится, существует и сейчас, но оно не занято уже Физическим институтом, так как с 1904 г. Физический институт помещается в большом четырехэтажном здании с подвалом. (*Прим ред.*)

будет, таким образом, слабее, чем ток, идущий вниз. Можно ли обнаружить такую разницу? Это был бы любопытный пример прямого превращения механической работы в энергию электрического тока.

Первые опыты на эту тему, предпринятые молодым физиком еще в домашней его лаборатории, не были успешны. Появление в свет знаменитого трактата Максвелла (1873 г.), где в нескольких строках указывалась та же мысль, поощрило Колли возобновить опыты, уже в университете, и на этот раз получились результаты, каких следовало ожидать. Это была первая самостоятельная работа, вышедшая из новой лаборатории. Она напечатана (как и большая часть последующих работ Колли) в „Журнале Физического Общества“. В этом обществе (ныне Отделение Физико-Химического) Р. А. состоял членом с 1874 г.

Собственные экспериментальные занятия, а также новый домашний очаг, без сомнения несколько отвлекали Р. А. от занятий по должности лаборанта, что он сам (даже преувеличенно) сознавал. Тем не менее, его любовь к лабораторному хозяйству, умение устраивать опыты и всякого рода приспособления принесли большую пользу едва зародившемуся институту, который понемногу пошел на лад. Жаль было лишиться дальнейшей помощи Р. А.; но, понятно, рано или поздно ему должна была открыться более широкая деятельность.

Утвержденный в степени магистра физики (7 февраля 1876 г.), по защите диссертации „Исследование одного случая работы гальванического тока“, Колли вскоре потом, при моем посредстве, получил приглашение в Казань, где со смертью О. А. Больцани открылось место преподавателя физики. 3 мая 1876 г. он был избран доцентом Казанского Университета.

В Казани Колли пробыл целых десять лет, и, понятно, постоянные личные сношения наши заменились на это время редкими свиданиями и перепиской. Устроившись на новом месте, — где пришлось проделать вновь то, что было достигнуто в Москве, — Р. А. через $2\frac{1}{2}$ года привез в Москву новый экспериментальный труд („О поляризации в электролитах“), обработанный уже в Казани, — диссертацию на степень доктора физики (утвержден в степени с 21 октября 1878 г.).

В ту пору, под впечатлением работ Ф. Кольрауша и особенно Гельмгольца, вновь выступил на очередь старинный

и трудный вопрос о поляризации электродов. Один из исследователей (Гервиг) полагал, что дело вполне объясняется, если смотреть на электролит, как на диэлектрик с весьма большим диэлектрическим коэффициентом: отсюда аналогия вольтметра с конденсатором, которая уже и прежде бросалась в глаза и повела к понятию о „поляризационной емкости“ вольтметра (Варлей). Против этой простой, но несостоятельной точки зрения ратует Колли в своей докторской диссертации, доказывая, что упомянутая аналогия должна быть толкуема иначе, — что слой жидкости между электродами уподобляется не стеклу лейденской банки, а скорее — проволоке, проведенной между двумя лейденскими банками. Существования диэлектрической поляризации в электролитах Колли не отрицает, но думает, что она не стоит в прямой связи с явлением поляризации электродов; в одной позднейшей работе (1882 года) он старается доказать, что диэлектрические постоянные у электролитов — такого же порядка величины, как у настоящих диэлектриков. Опыты Колли в опровержение взгляда Гервига вполне убедительны, и его попытки измерения „поляризационных емкостей“ и теперь еще иногда цитируются; но собственные взгляды автора на загадочный процесс поляризации электродов остаются недостаточно выясненными.

Получив все права на занятие кафедры, Колли был избран и утвержден экстраординарным профессором (2 декабря 1878 г.), а через год — ординарным (19 января 1880 г.). В 1881—1882 г. он был командирован на год за границу, где занимался в Берлине, в лаборатории Гельмгольца; в 1883 г. ездил на Съезд Естествоиспытателей в Одессу.

В небольшой работе, бывшей результатом берлинских занятий, Колли затрагивает очень тонкий пункт учения об электричестве. Ставя во всей широте вопрос об энергии электромагнитного поля, Максвелл считает доказанным несуществование таких электродвижущих сил, которые являлись бы результатом ускорения (или замедления) движения проводника, несущего ток, хотя рекомендует более точное исследование дилеммы. Колли, полагая а priori, что явления такой категории можно ожидать в случае электролитов, пытается обнаружить его на опыте. Так как искомая, крайне малая величина едва выступала из пределов ошибок наблюдения, то работа Колли, весьма интересная по замыслу, требует проверки более чувствительными методами.

В Казани Р. А. читал студентам двухлетний экспериментальный курс — математикам и медикам совместно. Для математиков были устроены практические занятия в лаборатории при физическом кабинете. Кроме того, 3-му и 4-му курсам математического факультета читался специальный курс, куда входило подробное изложение механической теории тепла с кинетической теорией газов, приложение потенциала к электрическим явлениям и пр. По отзывам бывших слушателей, лекции были прекрасно обработаны и слушались с большим интересом: случалось видеть медиков на таких лекциях, которые для них не были обязательны. Беседы же профессора с практикантами в лаборатории были особенно увлекательны и поощряли самостоятельность учащихся. Теплое отношение слушателей к профессору выразилось в адресе, поднесенном Роберту Андреевичу студентами при оставлении им Казани.

Неохотно уезжал покойный из Москвы в Казань: его всегда тянуло к родным местам, и, еще будучи в Казани, он приобрел в Московской губернии небольшое имение (с. Курганы, в 12 верстах от Можайска). При первом открывшемся случае Колли вернулся в Москву, даже жертвуя отчасти материальными интересами. Но и Казань покинул он теперь не без грусти. за десять лет успел к ней привыкнуть, успел приобрести общую любовь.

С выходом в отставку Я. Я. Цветкова, открылась вакантная кафедра физики и метеорологии в Петровской земледельческой и Лесной (ныне Сельскохозяйственной) Академии близ Москвы, на родине Колли, в Петровском-Разумовском. Сюда-то перешел Р. А., назначенный сперва сверхштатным ординарным профессором (15 января 1886 г.), а потом штатным (1 января 1889 г.). Вместе с тем на него было возложено заведывание метеорологическою обсерваторией Академии.

Старые связи с Москвою, понятно, оживились с этим переселением. В 1886 г. Р. А. избран был действительным членом Общества Испытателей Природы, а в 1888 г. непременным членом Общества Любителей Естествознания (где действительным членом состоял еще с 1882 г.). В физико-математическом кружке, образовавшемся при этом последнем обществе с начала 80-х годов, Р. А. нередко участвовал своими сообщениями. В то же время, поступив с 1887 г. в число приват-доцентов университета, он по временам читал студентам специальные курсы, преимущественно по

механической теории тепла, иногда по применению этой теории к химии, которая его всегда интересовала.

В Академии пришлось вести только небольшой курс физики и метеорологии; свободного времени для собственных работ было вдоволь. К последним годам казанской жизни и ко времени профессорства в Петровском относятся наиболее зрелые исследования Колли, занимавшие его в 1885—1890 гг.

На этот раз его заинтересовали электрические колебания. Этот вопрос в последние годы, благодаря Герцу, получил новое направление и открыл новые горизонты; работы Колли примыкают еще к прежним исследованиям Феддерсена, Гельмгольца, Н. Н. Шиллера и др. Разрабатывая методы для определения периода электрических колебаний сравнительно медленных („акустического порядка“), Колли строит несколько остроумных снарядов, которые он назвал осциллометрами. Из них наиболее пригодный для точных измерений („зеркальный“) представляет род гальванометра, по обмотке которого пускается альтернирующий ток, а внутри, на коконе, висит крайне легкое зеркальце, приходящее при этом в „принудительные“ горизонтальные колебания. Быстро движущаяся в вертикальном направлении светлая точка помещена перед зеркальцем; наблюдатель, смотря в зеркальце через микроскоп, видит изображение ее, которое, благодаря сочетанию двух движений, описывает волнообразную кривую. Измерив микрометром длину волны кривой и зная скорость светлой точки, мы найдем период электрического колебания. В виде приложения своей методы, автор определяет так называемое „ V Максвелла“ (отношение электромагнитной единицы электрической массы к электростатической единице) и находит числа, близкие к тем, какие были получены иными путями.

В последние годы Колли дополняет эти исследования об электрических колебаниях, описывает более совершенный экземпляр осциллометра и прилагает свои методы к экспериментальному исследованию токов румкорфова снаряда. Эти новые труды вкратце сообщены автором на Парижском съезде Французской Ассоциации 1889 г. и на VIII съезде Русских Естествоиспытателей в С.-Петербурге, а потом подробно опубликованы в 1890—1891 гг.

Интересной новостью является здесь анализ токов румкорфовой катушки. Показав теоретически, что вторичный

ток ее должен представлять совмещение тока логарифмически убывающего и тока синусоидального (с погасающей амплитудой), автор исследует первичный и вторичный ток частью посредством своего осциллометра, частью посредством гейслеровой трубки, рассматриваемой при помощи вращающегося зеркала, причем убедительно и наглядно подтверждаются предсказания теории.

Этими работами безвременно закончилась деятельность трудолюбивого и даровитого исследователя. Мы дали понятие только о главных его ученых трудах; полный список всего им напечатанного прилагается в конце¹. Во всех своих исследованиях Р. А. Колли обнаруживает свойства аккуратного и находчивого экспериментатора, от ранней юности с любовью им взлелеянные. Для знакомых с историей покойного весьма замечательною является та степень обладания математическим анализом, какая видна в его трудах, особенно позднейших: мы видели, что высшей математике Колли учился самоучкой.

В качестве заведывающего метеорологическою обсерваторией Петровской Академии, Р. А. не мало потрудился над реорганизацией этого учреждения. Особой комиссией, под его председательством, был выработан план высшей сельскохозяйственной метеорологической обсерватории. План этот не осуществился вполне, но в деятельность обсерватории было внесено более порядка. Особое внимание обратил Колли на актинометрические наблюдения, столь редкие вообще, особенно в России, и столь важные с точки зрения сельскохозяйственной метеорологии. Такие наблюдения были начаты в Академии еще ранее Колли, но при нем полнее обставлены: с 1889 года введено употребление актинографа бр. Ришар и пиргелиометра Крова. Результаты, обработанные ассистентами профессора, Н. П. Мышкиным и М. В. Казиным (причем оказалось возможным воспользоваться и частью прежнего материала), помещены в „Известиях“ Академии; „введение“ к статье написано самим Р. А.

С 1891 г. покойному предстояла новая деятельность: после долгого перерыва он возвращался в Московский Университет, где начал службу, в должности лаборанта, 18 лет тому назад. В 1890 г. совет Университета ходатайствовал об учреждении отдельной кафедры физической географии (со вклю-

¹ В настоящем издании этот список опущен. (Прим. ред.)

чением метеорологии и земного магнетизма), предмета, который до того преподавался профессорами физики. Р. А. Колли, — которому предстояло остаться за штатом в Академии, в виду предполагавшейся реорганизации этого учреждения, — был назначен на новую кафедру (с 6 марта 1891 г.). К новой деятельности он, конечно, был достаточно подготовлен своими занятиями в Казани и в Разумовском. Наш физико-математический факультет мог рассчитывать, что, не бросая своих излюбленных занятий физикой, Р. А. займется устройством метеорологической и магнитной обсерваторий, которых до сих пор не имеет Московский университет.

Этой надежде не суждено было оправдаться. Единственной лекцией, которую прочел наш дорогой товарищ в качестве профессора Московского университета, была публичная лекция (4 апреля) „О сохранении энергии“: это был один из серии рефератов „О научной деятельности Г. фон-Гельмгольца“, устроенной в виду 70-летия знаменитого ученого, в пользу гельмгольцовского фонда.

В конце апреля Р. А. был командирован в качестве председателя испытательной физико-математической комиссии при Казанском Университете. Он вернулся с упорной лихорадкой (по мнению некоторых врачей, то был амбулаторный тиф). Долго боролся он с болезнью, живя в деревне и не прибегая к систематическому лечению; наконец захотел, так сказать, встряхнуть себя длинной прогулкой. На другой день, в 10 ч. вечера, он скончался в своем имении Курганы, 2 августа 1891 года.

Небольшая группа русских физиков потеряла одного из самых выдающихся своих представителей. Московский университет лишился сочлена, который, уже ранее оказав ему в скромном звании важную услугу, возвращался в его среду на более видный пост, в полном расцвете знаний и таланта. Друзья покойного оплакивают серьезного и высоко образованного деятеля, симпатичного человека, живого и остроумного собеседника.

Москва, ноябрь 1891 г.

М. П. АВЕНАРИУС *

(ум. 4 сентября 1895 г.)

Михаил Петрович Авенариус родился 7 сентября 1835 г. в Царском Селе. Он принадлежал к широко разветвленному роду немецкого происхождения. Родоначальником своим русские Авенариусы считают Иоганна Хабермана (Habermann, родился в 1519 г. в Эгере), который, по обычаю того времени, латинизировал свое фамильное имя (Avenarius, т. е. Овсяный). Он стал в ряды Лютера, был впоследствии профессором богословия в Виттенберге и Иене и умер суперинтендантом. Потомки его, в течение трех с лишком веков, шли по той же дороге, проповедуя то с профессорской, то с церковной кафедры. В XVII в. правнук Иоганна был вызван на кафедру богословия в учрежденный Густавом-Адольфом Абоский университет. Далее, гнездом Авенариусов на долгое время становится приход Вуолес, в 60 верстах от Петербурга, на финляндской границе. Здесь родился и был пастором дед Михаила Петровича, Александр Егорович; впоследствии он получил приход Славянку (близ Павловска), где и умер с титулом старшего благочинного (Probst-Senior) Ингрии. Третий сын его, Петр Александро-

* Источниками при составлении очерка были: послужной список покойного; брошюра „Наша семейная летопись“ (Варш. 1872), любезно переданная В. П. Авенариусом; „Биогр. Словарь профессоров И. Унив. Св. Владимира (К. 1884); „Крит.-биогр. Словарь Венгерова“, т. I; „Отчеты“ М. П. Авенариуса о заграничной командировке (*Журн. Мин. Н. Пр.*, 1862—64); некролог в *Вестн. Оп. Физики Э. К. Шпачинского*; а также письма покойного к автору очерка и письменные сообщения: В. П. Авенариуса, И. И. Рахманинова, Н. Н. Шиллера, В. И. Заиончевского, И. И. Косоногова. Помещаемый в конце список печатных трудов тщательно проверен и дополнен.

вич, окончив курс в Дерпте, с 1834 г. был пастором в Царском Селе и законоучителем Александровского лицея, Алекс. Кад. Корпуса и местной церковной школы; по выслуге пенсии, переехал в родной Вуолес, где и скончался (1854 г.). П. А. занимался учено-литературными трудами и был членом Географ. Общества. От брака с дочерью пастора Генриеттой (Андреевной) Гаммельман у П. А. родилось 15 человек детей (Михаил Петрович был девятым). Кроме М. П., еще трое из сыновей Петра Александровича выступали на литературном поприще*.

Первоначальное образование М. П. получил в царско-сельской церковной (лютеранской) школе, а затем в С.-Петербургской 5-й гимназии. С детства отличался мягким, добрым и прямым характером и был общим любимцем в семье. Рано стал обнаруживать склонность к реальным наукам. Лошади (а впоследствии еще шахматы) были всегда его слабостью; „все его ученические тетради и руководства испещрены изображениями рысаков“.

По окончании гимназического курса, М. П. поступил в С.-Петербургский университет, и в 1858 г. получил степень кандидата математических наук. В том же году был определен сверхштатным учителем математики во 2-ю петербургскую гимназию.

В начале 60-х годов большое число молодых людей было командировано Министерством Народного Просвещения за границу, для подготовки к профессорской деятельности. Общее наблюдение за командированными поручалось знаменитому хирургу-педагогу Н. И. Пирогову. Этой мере мы бесспорно обязаны в значительной степени тем подъемом преподавания и научной деятельности, который не замедлил обнаружиться в наших университетах.

В числе „пироговцев“ был и Авенариус, с мая 1862 г. по октябрь 1864 г. Большую часть этого времени он провел в Берлине, слушая лекции: профессоров — Магнуса (опытная физика, технология), Дове (опытная физика, метеорология), Эрмана (земной магнетизм), Поггендорфа (история физики, физическая география), Куммера (аналитическая

* Из братьев М. П. остаются в живых: Николай Петрович педагог (инспектор Белостокского Института) и Василий Петрович — беллетрист и детский писатель (служит по учреждениям императрицы Марии).

механика) и приват-доцентов — Квинке (свет, электричество) и Паальцова (теплота). У Магнуса он посещал также *colloquia physica*, — еженедельные вечерние беседы, посвященные разбору новейших физических работ; а кроме того, с весны 1863 г. занялся в лаборатории Магнуса экспериментальным исследованием о термоэлектричестве, которое дало ему тему для обеих диссертаций — магистерской и докторской.

О своих занятиях за границей Авенариус, как и другие „пироговцы“, посылал в Департамент Народного Просвещения срочные отчеты, которые печатались в „Журнале Мин. Нар. Просв.“. Здесь он говорит о своих впечатлениях, характеризует профессоров, излагает генезис своей работы.

Пересматривая теперь эти отчеты, возобновляешь в памяти черты той эпохи (знакомые и пишущему эти строки из личного опыта). Не очень древняя история, — а какая разница с настоящим. Частная лаборатория Магнуса, состоявшая из семи комнат в его доме (на улице *Kirfergraben*), была некоторое время единственным учреждением на всю Германию (да и на всю Европу), где правильно учились работать по физике под руководством профессора. Авенариус хвалит удобства лаборатории и любезность профессора, всегда готового помочь прибором, книгой, советом; но большинство снарядов, даже весьма обыкновенных, приходилось приобретать на свой счет. „Так в моих опытах“, пишет М. П., „я употреблял свой мультипликатор и зрительную трубу, должен был приобрести точные термометры (у Гейслера), медные сосуды, подставки к ним, газовые лампы, проволоки различных металлов и т. п.“. Впоследствии пришлось запастись еще электрометром и конденсатором. При профессоре состояли один помощник и один служитель. Работавших было 6 человек.

Десяток лет спустя после того как были писаны эти отчеты, Берлинский университет обзавелся для физики громадным дворцом, бюджет которого доходит до 30 000 марок (да и того не хватает). Быстро стали возникать один за другим обширные и прекрасные физические институты и в других городах, и в настоящее время даже второстепенные университеты в Германии снабжены лабораториями, которые оставляют далеко за собой скромный уголок Магнуса. Только в наших русских университетах условия работы до сих пор

еще напоминают этот доисторический период немецкой физики, а местами стоят, пожалуй, и ниже...

Окончив свою работу по термоэлектричеству, М. П. весной 1864 г. едет на один месяц в Париж, а затем поселяется на летний семестр в Гейдельберге, где только что открылась новая лаборатория Кирхгофа, занявшая почти половину вновь построенного здания (так называемого Friedrichsbau). Лаборатория, по тому времени, казалась роскошной; но, чтобы характеризовать тогдашние условия, достаточно сказать, что лаборатория обходилась без единого ассистента: и устройством лекционных опытов, и практикой со студентами занимался все время профессор, при содействии одного служителя.

Тем не менее, и лекции Кирхгофа были обставлены прекрасно, и практические занятия по всем отделам физики организованы как нигде. Мало подготовленный по теоретической физике, Авенариус был вначале приверженцем чисто эмпирической школы, представителем которой оставался его берлинский учитель Магнус. Перейдя к Кирхгофу, он научился ценить этого превосходного ученого и учителя. Для М. П., равно как и для пишущего эти строки (в ту пору бывшего также гейдельбергским студентом), лекции и указания Кирхгофа были истинным откровением. Физическая наука в ее идеальном виде, как сочетание теоретической мысли с экспериментальным искусством, предстала нам здесь впервые в лице творца спектрального анализа. Кирхгоф, Бунзен, Гельмгольц (в то время профессор физиологии) стояли в апогее своей славы, и приближавшаяся к своему 500-летнему юбилею Ruperto-Carolina переживала блестящую эпоху.

Авенариус с жаром принялся за лекции и *practicum* Кирхгофа; описанию их он посвящает свой последний отчет. „До сих пор“, пишет он, „не случилось встретить экспериментального курса, удовлетворявшего настолько условиям педагогическим и научным, как курс Кирхгофа“. У Магнуса „каждый отдел представляет что-то самостоятельное, замкнутое“; у Кирхгофа чрез все части проходит связующая нить механики. У Магнуса — целый ряд блестящих опытов для обнаружения одного и того же факта; у Кирхгофа — один опыт, „всегда, конечно, удачный“, отсюда экономия времени и большая полнота курса.

Осенью 1864 г. Авенариус возвращается в Россию и в октябре представляет в С.-Петербургский университет

магистерскую диссертацию „О термоэлектричестве“. 8 января 1865 года состоялся диспут, и М. П. был признан магистром физики.

Еще раньше того он получил приглашение в Киев, где осенью 1865 г. истекал срок службы проф. М. И. Талызина и кафедра физики становилась вакантною. 16 марта 1865 г. Авенариус утвержден доцентом университета св. Владимира, в котором и протекла вся его дальнейшая деятельность. „Его привлекательная наружность, интересная, прекрасно прочитанная вступительная лекция по новому еще тогда вопросу о спектральном анализе и применении его к изучению солнца сразу завоевали ему расположение студентов, не изменявшееся и не ослабевавшее до последних дней его профессорской деятельности“, — пишет один из старейших слушателей Авенариуса, В. И. Заиончевский. Осенью (26 ноября) Авенариусу поручена кафедра физики и заведывание метеорологической обсерваторией. 10 мая 1866 г. он защитил (опять в Петербурге) докторскую диссертацию „Об электрических разностях металлов при различных температурах“, после чего был промовирован в экстраординарные профессора (21 сентября 1866 г.), а в следующем году (11 ноября 1867 г.) — в ординарные.

В 1866 г. М. П. женился на Варваре Николаевне Терпигоревой (сестре известного писателя, недавно скончавшегося) и со временем стал отцом довольно большой семьи (сын и пять дочерей). Некоторое время он жил на казенной квартире при университете, как директор метеорологической обсерватории, а после обзавелся собственным домом (на Мариинско-Благовещенской улице), который был заботливо им устроен в смысле удобств и санитарных условий. Из Киева несколько раз ездил по России и за границу; из числа съездов русских естествоиспытателей (не считая киевского, 1871 г., где был председателем распорядительного комитета), посетил второй (в Москве, 1869 г.) и пятый (в Варшаве, 1876 г.)*. Последние годы болезнь заставляла отказаться от далеких поездок, и лето проводилось обыкновенно в деревне.

Долгое время на Авенариусе безраздельно лежало и чтение всей физики (как опытной, так и теоретической),

* На шестом съезде (в Петербурге, 1879 г.) участвовал заочно, присылкой рсферата.

и чтение метеорологии, и заведывание метеорологической обсерваторией; позже к этому присоединилось руководство практическими занятиями (которые он впервые здесь организовал). Помимо того, изредка читал он и публичные лекции, всегда ясные и интересные, всегда привлекавшие многочисленную аудиторию. Только с 1876 г. обязанности М. П. несколько облегчились: на кафедру теоретической физики поступил Н. Н. Шиллер, а метеорологию преподавал некоторое время, в качестве приват-доцента, ученик Авенариуса, А. В. Клоссовский (который впрочем вскоре перешел в Петербург, а потом в Одессу).

Практические занятия для учащихся удалось устроить не ранее 1875 г., когда произошло некоторое расширение физического кабинета, дотоле помещавшегося в двух не особенно больших комнатах. Эти занятия еще более сблизили студентов с профессором руководителем. С этого же времени начинается и выдающаяся научная деятельность киевской физической лаборатории: под руководством Авенариуса она дала ценные материалы по вопросам, занявшим его лично еще с 1873 г., — по вопросам о критическом состоянии, о расширении жидкостей и проч. В числе учеников и сотрудников профессора следует назвать: В. И. Заиончевского, О. Э. Страуса, А. И. Надеждина, К. Н. Жука, И. И. Косоногова. Работы лаборатории печатались преимущественно в „Киевск. Унив. Известиях“ и в „Журнале Русского Физ.-Хим. Общества“; о некоторых сам М. П. составлял рефераты для немецких журналов. Кульминационным пунктом деятельности лаборатории было первое в науке прямое определение критической температуры воды, сделанное Надеждиным (7 марта 1885 г.)*.

Обстановка для экспериментальных работ была крайне скромная. Всего для лаборатории имелась площадь в 56 кв. саж. Для работ профессора, вместе с ассистентом и оставленными при университете кандидатами, уделялось меньше 20 кв. саж. „Если принять в соображение“ (писал мне покойный в 1883 г., сообщая эти данные), „что комнаты имеют высоту 8 фут, что окна соответственно тому очень малы, — то приходим к убеждению, что помещение нашей лаборатории мизерно до невозможности“. Но энергичский кружок,

* „Спешу вас уведомить о полученном (сегодня) результате Надеждина“... писал мне в этот день М. П.

одушевляемый своим руководителем, не отступал перед затруднениями. „Я помню то время“, пишет один из учеников Авенариуса, Э. К. Шпачинский, „когда он по несколько часов подряд проводил ежедневно в одной из комнат своей лаборатории среди зажженных газовых горелок и накаливаемых жестяных магнусовских ванн, в невыносимо высокой температуре, в сухой переполненной углекислотой атмосфере, все время на ногах, терпеливо следя за показаниями термометров, с карандашом в руке для записывания изменений объема и пр.“ Годы таких занятий не могли пройти без вреда для здоровья, и уже в начале 80-х годов силы М. П. стали ослабевать. А в 1886 г. скончался в 28-летнем возрасте талантливый ученик его Надеждин...

Среди этих напряженных занятий Авенариус продолжает руководить метеорологическими наблюдениями университетской обсерватории. Специально метеорологией он не занимался, но по соприкосновению с нею вопросам напечатал несколько небольших статей; под его руководством были сделаны также определения элементов земного магнетизма для Киева. Но главной заслугой М. П. в этой области была подготовка нашего известного метеоролога А. В. Клоссовского.

С 70-х годов более и более растет ученая известность Авенариуса: он становится членом Русского Физико-Химического Общества, Берлинского физического, Киевского Общества Естествоиспытателей (и членом-учредителем выделившегося потом Киевского Физико-Математического Общества), членом-корреспондентом Петербургской Академии Наук, почетным членом Московского Общества Любителей Естествознания.

С 1880 г., в памятную эпоху расцвета электротехники, М. П. увлекается электротехнической темой: он разрабатывает и пропагандирует придуманный им способ канализации переменного электрического тока для целей освещения (преимущественно — свечами Яблочкова). Проверив свою систему в небольшом масштабе дома, он испытывает и демонстрирует ее в Париже в лабораториях „Société générale d'électricité (procédé Jablochhoff)“, во время электрической выставки 1881 г. и получает, как экспонент, серебряную медаль*

* Золотая медаль (единственная на долю России), к сожалению, присуждена была системе гораздо менее оригинальной, но выставленной в более полном виде.

(сверх того, за участие на выставке и на конгрессе электриков, офицерский крест Почетного Легиона). В следующем (1882) году он старается пустить в ход свою систему на электротехнической выставке в Петербурге. На свое изобретение он взял привилегии в России и за границей.

Эти электротехнические увлечения стоили больших трудов Авенариусу, и некоторая холодность, с какою встречен был его прием в среде практиков, сильно огорчала его. Настоящего практического испытания в больших размерах система так и не получила. Одно время явилась надежда продать французскую привилегию за 200 000 фр., но сделка почему-то расстроилась.

Ожидания получить таким путем значительную сумму не были преувеличенными: в ту эпоху электротехнической горячки, изобретения гораздо менее практичные сбывались по дорогой цене (вспомним хотя бы, например, свечу Жамена). И не зря ставить в упрек покойному эти старания. Помимо естественного интереса к своей идее и к проведению ее в практику, он был бы рад хорошим средствам; но, конечно, не простая жажда стяжания волновала эту чистую душу. В мечтах М. П. уже рисовались планы будущих широких работ, для выполнения которых личный большой достаток был бы необходимым условием. Он давно следил за всеми попытками в области воздухоплавания и надеялся, получив средства через продажу привилегий, употребить их на опыты по вопросу об управлении аэростатом.

Около 1881 г., по свидетельству Э. К. Шпачинского, у Авенариуса зародилась мысль о существовании электрических волн и лучей. „На эту тему мы много беседовали с незабвенным М. П.“, пишет г. Шпачинский, „тогда же он и поручил мне приготовить один из предварительных опытов, при посредстве которого он ожидал получить электрический луч“. Попытка не дала определенного результата, и сущность опыта, к сожалению, нам неизвестна.

А между тем, к исходу 80-х годов, силы более и более изменяли Михаилу Петровичу, и приходилось ограничивать свои любимые занятия. Внешние условия для работ вскоре изменились к лучшему. „У нас теперь новая, огромных размеров, физическая лаборатория“, писал он мне весной 1890 г.: „есть где поработать и студентам и самому профессору“. Но уже не себя разумеет он здесь под „профессором“, а своего предполагаемого преемника. Давняя болезнь, более

и более обостряясь, постепенно подтачивала силы еще не старого летами, но преждевременно дряхлевшего человека. Осенью 1891 г., вскоре по выслуге звания заслуженного профессора (16 марта 1890 г.), М. П. прекратил чтение лекций.

Все больше и больше приходилось прибегать к домоседству в кругу семьи, к воздержанию от физического и умственного утомления. „Сам я для научных работ уже не го- жусь (всякое несколько усиленное сосредоточение вызывает нервные боли), и живу я теперь только в своих детях“, писал М. П. осенью 1892 г. Эти боли он выносил с редким стоицизмом, и в обращении с домашними не давал чувствовать, как ему тяжело. Для облегчения приходилось употреблять большие дозы антифебрина, опиума и т. п. При последних наших свиданиях, во время моей поездки в Киев весной текущего года, я нашел М. П. совершенно седым, физически вполне развалившимся человеком, который без помощи даже не мог ходить по комнатам, но сохранил живость мысли и интерес к новостям науки. Позже — он едва уже мог читать, но до последних дней решал, для развлечения, шахматные задачи из журналов. Незадолго перед кончиной он перенес нетрудную и (как думали врачи) удавшуюся операцию; после нее чувствовал утомление и упадок сил, две ночи не спал. Скончался внезапно: весело разговаривал с женой, потом взял ее руку, приложил к своему давно слабевшему сердцу — и умер (4 сентября 1895 г.). Погребение происходило 7 сентября — в день рождения М. П. (трех дней не дожил он до 60-летнего возраста). Надгробные речи говорили профессор Н. Н. Шиллер и ассистент И. И. Косоногов.

Два раза в жизни пришлось мне быть в близких отношениях к покойному. Впервые познакомились мы во время нашей первой заграничной командировки, в Берлине, где я проводил зимний семестр 1863—1864 г. Мой новый приятель был стройный брюнет, сочень изящными и симпатичными чертами лица, прекрасно владевший немецким языком, любитель музыки (он сам недурно пел), страстный и искусный шахматист (с успехом подвизался в Париже в знаменитом *Café de la Régence*), охотник до лошадей. Таково было первое внешнее впечатление.

Весной 1864 г. мы оба переехали в Гейдельберг; здесь поселились на общей квартире, вблизи от *Friedrichsbau*, и так прожили несколько месяцев, до отъезда М. П. Вместе слу-

шали лекции и работали в институте Кирхгофа, вместе бродили по прелестным окрестностям города; жили душа в душу, — ни разу не было размолвки. На другой год, уже по защите магистерской диссертации и по получении места доцента в Киеве, Авенариус еще раз приезжал в Гейдельберг на лето и застал меня еще там.

Затем наши пути разошлись, видеться приходилось редко. Только в 1881 г., в эпоху Парижской электрической выставки и конгресса электриков, случилось еще раз несколько месяцев жить вместе, в одном небольшом отеле, еще раз совместно работать (в Palais de l'Industrie) и ежедневно делиться мыслями и впечатлениями.

Эти личные воспоминания представляют нам образ покойного товарища в самом симпатичном свете. Это был человек мягкого и в то же время прямого характера; он никогда не кривил душой, говорил и действовал всегда по убеждению, и на его слово можно было положиться. К науке и к профессорским обязанностям относился с благоговением, как к делу святому.

Свидетельства родных, сослуживцев и учеников дополняют это личное впечатление. Они единогласно рисуют покойного как отличного семьянина, горячо любимого в родном кругу; как стойкого и высоко честного члена коллегии; как друга и любимца учащейся молодежи. — В среде служебной, в кругу товарищей он внушал уважение даже людям другого лагеря, был чужд оппортунизма и ненавидел формалистику. Студенты ценили в нем и увлекательного лектора, и неутомимого работника-руководителя, и надежного заступника в правом деле. Всегда деликатный, снисходительный без поблажки, он умел щадить молодое самолюбие, умел воодушевить даровитого и ободрить слабого; подавал собою высокий нравственный пример, а при нужде не отказывал и в материальной помощи.

Сделаем беглый обзор главных работ Авенариуса. Они сводятся к трем группам: 1) термоэлектричество, 2) тепловые явления в жидкостях, 3) электрическая канализация.

1. М. П. дебютировал в науке исследованиями о термоэлектричестве, произведенными в 1863—1864 гг. в лаборатории Магнуса*. Результатом явилось несколько статей (I—V)**;

* Первая мысль о задуманной работе встречается в „Отчете“ от 22 ноября 1862 г.

** Римские цифры относятся к помещенному ниже списку трудов.

в том числе обе диссертации. Рядом опытов над несколькими термоэлектрическими батареями (частью с гальванометром, частью с электрометром Делльмана-Кольрауша)* Авенариус показал, что электродвижущая сила такой цепи с достаточной точностью может быть изображена формулой:

$$E = (t_2 - t_1) b + c(t_1 + t_2), \quad (\alpha)$$

где t_1, t_2 — температуры спаев, b и c — постоянные для данной пары металлов.

Эта формула, правильно изображающая ход явлений (в том числе и факт „инверсии“), была впоследствии вновь найдена Тэтом и проверена обширным рядом опытов; потому некоторые, особенно в Англии, называют ее формулой Тэта. Но первенство Авенариуса бесспорно.

Это выражение (α) Авенариус принял не наугад, не в качестве чисто эмпирического: он подошел к нему, исходя из мысли, что термоэлектричество есть особый способ проявления „контактных“ электрических разностей, которые должны изменяться с температурой. Эта мысль сквозит уже в самом заглавии первой статьи М. П. (1). Мысль оригинальная и здравая; но при первоначальной ее формулировке автор допустил некоторую неточность, которая несколько портила дело и подрывала доверие к новой точке зрения. Авенариус исходит из двух предположений: 1) что электрическая разность на спае двух металлов, имеющем температуру t , может быть представлена в виде

$$e = a + bt + ct^2, \quad (\beta)$$

2) что электродвижущая сила E термоэлектрической цепи обусловлена *только* разностями потенциала, имеющимися на двух спаях. Отсюда и следует формула (α), где b и c имеют то же значение, как в выражении (β).

Легко однакож показать, что с такой точки зрения факт инверсии тока хотя и объясняется *формально*, но представляет противоречие второму закону термодинамики. В рассуждениях Авенариуса не были приняты в расчет факты, открытые В. Томсоном и заставляющие допустить непрерывное изменение потенциала в каждом *однородном* проводнике,

* Электрометры В. Томсона, ведущие начало с 1857 г., но подробно описанные лишь десять лет спустя, в ту пору еще не были известны вне Англии.

как скоро температура его не одинакова на всем протяжении (что и бывает в термоэлектрической цепи). Принимая в расчет „явления Томсона“, мы опять приходим к формуле вида (α), но *b* и *c* в ней будут уже иные, чем в (β); вместе с тем устранится и сказанное противоречие с термодинамикой*. Впоследствии сам Авенариус отказался от своей первоначальной постановки вопроса и попытался дать иной вывод своей формулы (α). И в этой поправке (необходимость которой была позже замечена Тэтом) первенство принадлежит русскому автору. В его новом выводе (IX, X), как и в выводе Тэта, допущены некоторые гипотезы; они оправдываются успехом формулы, подтвержденной множеством наблюдений.

2. Вторым и особенно важным научным делом Авенариуса были исследования о жидкостях, вскоре занявшие (как мы уже видели) всю киевскую лабораторию и обогатившие физику весьма многими данными.

В 1873 г., конечно под свежим впечатлением знаменитых работ Андруса над углекислотой, Авенариус обращается к некоторым жидкостям, условия испарения которых исследованы у Реньо. По наблюдениям Реньо, Цейнер между прочим представил эмпирическими формулами ход так называемой „внутренней теплоты испарения“ ρ в зависимости от температуры. При критической температуре, рассуждает Авенариус, величина ρ должна обращаться в нуль**. Хотя наблюдения Реньо не доходили до критических температур, но убывание ρ везде заметно по таблицам и можно через экстраполяцию найти, при какой температуре для той или другой жидкости ρ обратится в нуль. Найденные таким путем цифры для эфира и двусернистого углерода довольно плохо соответствовали тем „температурам полного улетучения“, какие были получены из наблюдений Каньяром. Это побуждает Авенариуса — с одной стороны, предпринять новое опытное определение критических температур для четырех из жидкостей Реньо, употребляя способ Каньяра с усовершенствованиями; а с другой стороны — сделать новое вычисление ρ по данным Реньо, подвергая их критической

* Особенно ясно указано различие между первоначальным и исправленным выводом в заметке Лоджа. (Lodge, Reply to the Note of Prof. M. Avenarius, *Phil. Mag.*, (5), 3, p. 349, 1877 г.)

** Ту же мысль высказал ранее Д. И. Менделеев; Авенариус, очевидно, не знал об этом.

оценке. При сличении результатов, полученных тем и другим путем, оказалось очень близкое согласие (XI).

Это были первые прямые определения критических данных, сделанные после того, как исследования Андрюса прочно установили самое понятие о критическом состоянии. Рассмотренная нами работа надолго определила деятельность Авенариуса и его учеников. Около четвертой доли всего того запаса цифр критических температур, который собран в „Physikalische Tabellen“ Ландольта и Бёрнштейна (2-е изд. 1894 г.), добыто в молодой киевской лаборатории. Из нее же вышли между прочим первые точные показания о критической температуре воды — сперва косвенным путем, из наблюдений г. Страуса над растворами, потом — прямым остроумным способом Надеждина.

В своей следующей работе на ту же тему (XII) Авенариус временно уклоняется с правильной точки зрения. Вопреки естественному заключению Андрюса, что при критической температуре жидкость отождествляется со своим насыщенным паром, М. П. думает, что такого отождествления не происходит. В опору такого мнения он приводит и теоретическую возможность, и опытные данные. С одной стороны, останавливаясь на термодинамическом выводе:

$$\rho = \frac{1}{J} p u \left(\frac{T}{p} \frac{\partial p}{\partial T} - 1 \right)$$

(где J — механический эквивалент теплоты, T — абсолютная температура, p — давление, u — разность удельных объемов пара и жидкости), — Авенариус замечает, что обращение ρ в нуль может быть обусловлено соотношением:

$$\frac{T}{p} \frac{\partial p}{\partial T} - 1 = 0,$$

хотя бы u в нуль не обращалось. С другой стороны, производя опытные определения удельных объемов жидкости и пара (для этилового эфира) почти вплоть до критической температуры, он находит, что полного равенства они не достигают, т. е. что u остается конечным. Против такого вывода возражали Анделль (пришедший к иным заключениям для ацетилена и соляной кислоты) и пишущий эти строки, — указывая на те обстоятельства, которые могли ввести экспериментатора в обман. По свидетельству В. И. Заи-

ончевского *, Авенариус и сам вскоре убедился в своей ошибке; а в 1885 г. его ученик Надеждин уже прямо основал свою новую методу нахождения критической температуры именно на исчезании *и*. Известно, однакож, что подобные соображения о нетождественности жидкости и ее пара при критической температуре возникали у различных авторов и долгое время спустя, и только теперь затуманенный горизонт начинает, повидимому, расчищаться.

В связи с исследованиями о критическом состоянии, Авенариуса занимает вопрос о законе термического расширения жидкостей (XIII, XIV, XXII). Он ставит задачу — проследить расширение на всем пути от точки плавления до критической температуры (t_c), под постоянным давлением, равным критическому давлению жидкости. Оказалось, что в случае эфира объем v , как функция температуры t , может быть весьма точно выражен формулой

$$v = a - b \log (t_c - t),$$

предложенной в дифференциальной форме Уотерстоном; a и b — характеристичные для данной жидкости, положительные постоянные. (При $t = t_c$ формула дает однако $v = \infty$.) Авенариус находит кроме того, что та же формула, с другими постоянными a и b , точно выражает изменения объема жидкости, находящейся все время под давлением (переменным) своих насыщенных паров.

После того учениками Авенариуса были сделаны исследования нескольких других жидкостей, и формула прилагалась везде с успехом. К тому же заключению пришел позже итальянский физик Гримальди **.

3. С 1880 г., вскоре после того как изобретение Яблочкова дало толчок практике электрического освещения, Авенариуса занимает вопрос о канализации переменного тока. Известно, что свечи Яблочкова, питаемые током альтернативных машин, не допускали распределения параллельными ветвями (*par dérivation*). Чтоб одновременно получать горение свечей в параллельном пучке, предлагались различные способы. Сам Яблочков, не останавливаясь на брошенной им вскользь

* Журн. Ф. Х. О., 14, р. 386 (1882 г.).

** По вопросу о расширении жидкостей возникла полемика между Д. И. Менделеевым и Авенариусом. Автор этого очерка имел случай высказаться по поводу ее в *Wied. Beiblätter* (8, р. 806, 1884 г.) по просьбе издателей.

идее о распределении тока путем индукции, предлагал вводить в каждую ветвь конденсатор большой емкости. Неудобства этой системы понятны. Авенариус указывает, что той же цели можно достигнуть дешевле и удобнее, заменяя конденсатор вольтметром („поляризатор“) или системой соединенных вольтметров. В качестве такого вольтметра может служить пара угольных пластинок, погруженных в водный раствор „жидкого (натрийного) стекла“. Известно, что на всякий вольтметр можно смотреть как на конденсатор большой емкости; будучи заряжаем альтернативной машиной то в одном, то в другом направлении, он своими поляризационными и деполаризационными токами может питать лампу с вольтовой дугой. Сравнительно с собственно конденсатором соответственной емкости, „поляризатор“ имеет преимущества компактности и дешевизны.

Эту мысль Авенариус развивает в ряде статей (XVII—XXI) и оправдывает опытами в Киеве, Париже, Петербурге. Идея несомненно правильная, хотя употребление поляризаторов должно представлять своего рода неудобства, которые едва ли достаточно взвешивает изобретатель, не имевший возможности долго и в больших размерах испытывать свой прием. Мы уже замечали, что изобретение не вошло в практику. Помимо затруднений, связанных с установкой и исправным содержанием вольтметров, этой неудаче были и другие причины. С одной стороны, самые свечи, этот простейший, но не наилучший тип дугового снаряда, отслужив свою великую службу электротехнике, стали сходить со сцены, и временно явился поворот в пользу постоянных (прямых) токов. С другой стороны, разработка индуктивной канализации переменного тока (системы „трансформаторов“) дала вскоре прекрасные результаты и заставила помириться с некоторою долей опасности, которая присуща этой методе. Во всяком случае жаль, что система Авенариуса ни разу не была испытана в тех размерах, как он желал и старался ее испробовать.

Мы сделали краткий обзор главных трудов покойного. Во всех этих работах видна та инициатива, та *vis a tergo*, которая отличает истинного исследователя. Авенариус умел найти тему, умел настойчиво ее расследовать и добыть новый и важный результат. Он был экспериментатором по вкусу и призванию; собственно-теоретическая физика мало его интересовала: это помогало сосредоточивать силы.

Некоторые теоретические недосмотры, сделанные при первой схватке с предметом, вскоре признавались и исправлялись добросовестным искателем; они не повредили ценности полученных им результатов: верное чутье истины, в конце концов, всегда его выручало.

Темы, затронутые Авенариусом в его работах, не многочисленны. Но не забудем, что сколько-нибудь удобные условия для его экспериментальной деятельности существовали недолго, — не считая берлинской эпохи, всего десяток лет, примерно от 1875 г. до 1885 г.: раньше — не было лаборатории, позже — стало изменять здоровье.

В скромных летописях русской физики Михаилу Петровичу Авенариусу принадлежит почетное место — и как исследователю, и как учителю. Имя его не должно быть забыто и в науке всемирной.

Октябрь 1895 г.

СПИСОК ПЕЧАТНЫХ ТРУДОВ М. П. АВЕНАРИУСА

А. Исследования

I. 1863. Die Thermoelectricität, ihrem Ursprung nach, als identisch mit der Contactelectricität betrachtet. — *Pogg. Ann.*, 119. См. II—V, IX, X.

II. 1863. Nachtrag zu dem Aufsatz: „Die Thermoelectricität...“ *Ibid.*

III. 1863. О термоэлектричестве. Рассуждение на получение степени магистра физики. Спб. 1864. 22 стр.

IV. 1864. Ueber electricische Differenzen der Metalle bei verschiedenen Temperaturen. — *Pogg. Ann.*, 122.

V. 1866. Об электрических разностях металлов при различных температурах. Рассуждение на степень доктора физики. Спб. 1866, 40 стр.

VI. 1868. Изменения влажности в восходящем атмосферном течении. — *Киевские Унив. Известия*, 1868, п° 1.

Доказывается, что влажность воздуха, вследствие поднятия его в атмосфере, всегда увеличивается.

VII. 1868. Некоторые из результатов 12-летних наблюдений на университетской метеорологической обсерватории. — *К. Ун. Изв.*, 1868, п° 8.

VIII. 1869. О некоторых тепловых явлениях в спаях термоэлектрических элементов во время прохождения через них тока. (Сообщено на 2-м Съезде Русск. Ест. в Москве.) Труды 2-го Съезда, ч. 2, М., 1871.

Подтверждение опытов В. Томсона. Во всей статье вместо слов читай *спай*.

IX. 1870. Об электровозбудительной силе термоэлектрических элементов с точки зрения механической теории тепла. — *К. Ун. Изв.*, 1870, п° 11. См. X.

X. 1873. Ein Beitrag zur Theorie der Thermoströme. — *Pogg. Ann.*, 109.

XI. 1873. Ueber innere latente Wärme. — *Bull. de nat. de Moscou*, 1873; *Pogg. Ann.*, 151, 1874.

XII. 1876. Ueber die Ursachen, welche die Kritische Temperatur bedingen. Сообщено на 5-м Съезде Русск. Ест. в Варшаве. *Bull. Acad. St. Petersb.* 22 (*Mélanges phys. chim.* 9). 31 août—12 sept. 1876.

XIII. 1877. Расширение жидкостей. — *Зап. Киевск. Общ. Естествоисп.*, 5. См. XIV, XXII.

XIV. 1877. Volumveränderung einer Flüssigkeit durch Temperatur und Druck. — *Bull. Acad. St. Pétr.* 24 (Mélanges, 10) 11/23 oct. 1877.

XV. 1877. Влажность смеси двух масс воздуха различных температур и влажности. — *К. Ун. Изв.*, 1877, n° 12.

XVI. 1877. О некоторых жидкостях, близких друг другу по физическим свойствам. — Сообщение на 6-м Съезде Русск. Ест. в Петербурге. *Журн. Ф. Х. О.*, 12, 1880; *Wied. Beibl.*, 6, 1882.

XVII. 1881. Возможные приемы деления электрического света. — *Журн. Ф. Х. О.*, 13. См. XVIII—XXI.

XVIII. 1881. Methoden der Theilung der electricischen Lichtes. *Curl's Repert.* 17.

Несколько распространенный перевод предыдущей статьи.

XIX. 1881. Méthode pour la division de la lumière électrique. Paris 1881 (Desnos). Литогр. брошюра, 3 стр. с 1 лист. чертежей.

XX. 1881. Доклад на Парижском конгрессе электриков, 11 oct. 1881. *Comptes Rendus des travaux du Congrès. Int. des Electriciens*, Paris, 1882, pp. 373—375.

XXI. 1882. Ueber die Möglichkeit den el. Lichte alle die Eigenschaften des gaslichtes zu geben, welche die grosse Verbreitung des letzteren zu Folge haben. — *Wied. Beibl.*, 6.

XXII. 1884. Об общем законе расширения жидкостей. — *Журн. Ф. Х. О.*, 16.

Частью полемического содержания.

В. Рефераты, полемика, редакционные труды и проч.

Отчеты о заграничной командировке (числом 9). — *Журн. Мин. Н. Пр.*, 1862—1864 (116—123). Также в отдельном издании: Извлечения из отчетов лиц, отправленных М. Н. Пр. за границу, 1—4. Спб. 1863—64.

О солнечных пятнах. — *Морск. Сборн.* 83 (апр. 1866).

Перевод из Кирхгофа, с предисловием и примечаниями переводчика.

Ueber Molecularwärme. — *Chem. Centralblatt*, 1867.

Историческая записка об устройстве 3-го Съезда Р. Ест. и Врачей в Киеве, 1871 г. — Труды 3-го Съезда, К., 1873.

Eine Prioritätstrage. — *Pogg. Ann.*, 151, 1874. Note on Mr Lodge's Paper on a mechanical illustration of thermoelectric phenomena. — *Phil. Mag.* (5) 3, 1877.

Обе последние заметки относятся к термоэлектрической формуле.

Основание магнито- и динамо-электрических машин. — *Инженер*, 1882 г., № 6.

Критическое состояние тел. — *Журн. Элем. Матем.* В. П. Ермакова I, 1884.

По вопросу о расширении жидкостей. — *К. Ун. Изв.*, 1884 г., № 6, *Журн. Ф. Х. О.*, 16.

По поводу статьи Д. И. Менделеева.

По вопросу о расширении жидкостей. Последний ответ г. Менделееву. — *К. Ун. Изв.*, 1884 г., № 11

Максуэлль. Электричество, в элементарной обработке, перевод под редакцией М. П. Авенариуса, К., 1886.

Предисловие к книге: „Физические исследования А. И. Надеждина“, К., 1887.

Профессор д-р Г. Р. Кирхгоф (некролог). — *Вестн. Оп. Физ.*, 3 семестр 1887.

Рефераты о русских работах: а) В *Wied. Beibl.*, p. 741 (Занончевский); 6, p. 86 (Жук), 282 (Страус); 7, p. 676 (Страус), p. 678 (Надеждин). — б) В *Fortschr. d. Physik*, 34, p. 768 (Гезехус), p. 771 (Колли); 36 (3), p. 251 (Воейков), p. 253 (Шведов).

За полноту перечня рефератов не ручаемся. Означенные рефераты не подписаны, но вероятно также составлены Авенариусом.

Немецкая обработка двух статей Надеждина (*Exner's Rep.* 20, 23) также повидимому принадлежит Михаилу Петровичу.

ОГЛАВЛЕНИЕ

К. А. Тимирязев. Александр Григорьевич Столетов (Биографический очерк)	5
--	---

Общедоступные лекции и речи

Г. Р. Кирхгоф	31
Очерк развития наших сведений о газах	55
Энергия солнца	186
Физические лаборатории у нас и за границей	202
Жизнь и личность Ньютона	211
Ньютон как физик	221
Эфир и электричество	233
Софья Васильевна Ковалевская	259
Г. ф.-Гельмгольц (Биографический очерк и общая характеристика)	267
Работы Гельмгольца по акустике	278
Заключительные слова цикла лекций о Г. ф.-Гельмгольце . . .	303
Гельмгольц и современная физика	307
Леонардо да-Винчи как естествоиспытатель	341

Критические и биографические очерки

Г. Любимов как профессор и как ученый	371
К редактору „Русских Ведомостей“	383
Рецензия на книгу проф. Любимова „Начальная физика“ . . .	384
Р. А. Колли	407
М. П. Авенариус	417

812

А. Г. СТОЛЕТОВ
СОБРАНИЕ СОЧИНЕНИЙ

ТОМ
II