
ЗНАНИЕ СИЛА
Р.С.Ф.С.Р
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО

О. Д. ХВОЛЬСОН
ПРОФЕССОР ПЕТРОГРАДСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

ФИЗИКА

И ЕЕ ЗНАЧЕНИЕ ДЛЯ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА

Р. С. Ф. С. Р.
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
БЕРЛИН 1923

Alle Rechte, einschließlich des Übersetzungsrechtes, vorbehalten.

Copyright 1923 by Z. I Grschebin Verlag, Berlin

Напечатано Государственным Издательством по договору с Издательством З. И. Гржебина.

БИБЛИОТЕКА
СОЦИАЛИСТИЧЕСКОЙ
АКАДЕМИИ
1570
93

Типография Шпамера в Лейпциге

ПРЕДИСЛОВИЕ.

Значение физики для человечества основано на открытиях, обогативших наши познания, и на изобретениях, выросших на почве этих открытий, и давших человечеству те блага цивилизации, которые отвечают его стремлению к удобству в широком смысле этого слова.

Изобретения принадлежат области техники, идущей по пятам физики и пользующейся добытыми физикой познаниями. Вопросам техники будут посвящены другие части той серии сочинений, к которой принадлежит эта книга. Поэтому, мы могли ограничиться немногими страницами в конце книги, на которых мы даем почти только простой перечень всем известных изобретений, основанных на том, что дала физика. Почти вся книга посвящена тем познаниям, которыми физика обогатила человечество. При этом пришлось ограничиться наиболее важным, наиболее обнаруживающим значение физики. Посвятив первую главу значению науки вообще, а вторую — специальной характеристике физики, ее задачам и ее методам, мы затем, в главах третьей до восьмой, дали шесть очерков, в каждом из которых рассмотрена определенная группа физических явлений и те великие открытия, к которым привело их изучение. Но, чтобы получить правильное и ясное представление об этих открытиях, необходимо многое знать и вполне понимать смысл и значение большого числа терминов, без которых обойтись невозможно. Чтобы сделать эту книгу действительно общедоступной, пришлось много места уделить раз'яснению этих терминов и всестороннему освещению тех понятий, которые с ними связаны.

Мы старались выбрать по возможности разнохарактерные, по внутреннему содержанию, темы шести очерков. Из них три посвящены строению материи, один — лучистой энергии, и два — великим законам, господствующим над всеми физическими явлениями в доступной нашим наблюдениям части вселенной.

Апрель 1920 года.
Петроград.

О. Хвольсон.

ГЛАВА I.

ВВЕДЕНИЕ.

Длинным и беспредельно сложным оказался путь, по которому пришлось пройти человечеству от того времени, когда весьма простая, но членораздельная речь, вертикальное положение туловища и иные важные признаки поставили человека на особую, высшую ступень, открыли перед ним необ'ятные перспективы и сделали из звереподобных человеков первобытных людей. Первые части этого пути теряются в туманной мгле, покрывающей «историю» доисторического человека и вряд ли удастся когда-либо начертать ясную и достоверную картину того постепенного развития человечества, которое относится к этой отдаленной от нас эпохе. Но зато мы более или менее знакомы с путями, по которым шло человечество в исторические времена и которые привели его к высоте современной культуры.

Нам пока нет надобности останавливаться на той сложной картине, или, вернее говоря, на том большом числе разнообразных картин, совокупность которых могла бы дать нам хотя сколько-нибудь полную картину многочисленных сторон современной культуры. Чисто внешние признаки этой культуры всем известны; мы их видим и чувствуем на каждом шагу, в каждый момент нашего сознательного бытия и потому мы здесь можем обойтись даже без беглой их характеристики.

Говоря в этой книге о культуре, мы, впрочем, не имеем в виду всех ее сторон, и мы, например, вполне оставляем без внимания все те ее проявления, которые связаны с искусством и с литературой.

В дальнейшем нам много раз придется подробно останавливаться на отдельных, особенно важных сторонах того многогранника, под видом которого нам представляется современная культура человечества. Но, не вдаваясь пока ни в какие детали, мы поставим и постараемся разобрать важный и интересный вопрос: каким образом происходило постепенное развитие культуры? Где кроются те потаенные рычаги и пружины, непрерывное влияние которых дало человечеству возможность достигнуть всего того, чем оно в праве отныне гордиться?

Мы знаем, что силы, двигавшие человечество на пути развития, не являлись откуда-то извне, что культура не преподносилась людям, как некое откровение, как готовый результат работы каких-то стоящих вне его и выше его творческих сил. Нет, мы знаем, что человек собственными силами, исключительно благодаря упорной работе и благодаря своему гению, достиг современной высоты; что в самом человечестве кроются те рычаги и пружины, которые непрерывно поднимают его выше и выше Человек сам создал свою культуру и в его деяниях кроется ее источник.

Чтобы найти ответ на поставленный нами вопрос, мы, естественно, должны сперва обратиться к рассмотрению деяний человека и постараться отыскать несомненно в них скрытый источник культуры.

Само собой разумеется, что между деяниями человека не существует такого, явно выраженная задача которого заключалась бы в развивании культуры. Нет и быть не может людей, специальная задача которых была бы увеличивать эту культуру; но есть люди, благодаря работе которых неукоснительно продолжается рост культуры, ширятся старые и возникают новые ее стороны. Ясно, что неуклонное поднятие культурного уровня человечества является как бы случайным, пожалуй, неожиданным «побочным» продуктом деятельности людей, в которой и следует отыскать те черты или стороны, благодаря которым и получается столь драгоценный «побочный» продукт, прикладывается кирпич к кирпичу и строится величественное здание культуры человечества.

Итак, постараемся вникнуть в сущность деятельности людей и найти в ней те рычаги, влиянием которых направляется и поддерживается эта деятельность.

Наблюдая происходящее вокруг нас, мы, прежде всего, видим, что все, кажется без исключения, люди непрерывно к чему-то стремятся, из-за чего-то работают, суетятся и борются, хотят чего-то достигнуть, удовлетворить каким-то своим желаниям. Бесконечно разнообразными по характеру и по своим целям кажутся деяния людей в этой суете, в этой борьбе, в этом хаосе перекрещивающихся стремлений к миллионам различных целей. Однако, если внимательно рассмотреть все эти, столь разнообразные цели, если постараться вдуматься в деятельность людей и глубже вникнуть в самую сущность тех целей, к которым люди стремятся, то оказывается, что вопрос о тех рычагах, под давлением которых совершаются людские деяния, решается довольно просто и что число этих рычагов весьма невелико. Оказывается, что вся эта людская суета, вся эта кажущаяся неразбериха стремлений, надежд и желаний, с их счастливыми успехами и горькими разочарованиями, сводится к трем главным целям, для достижения которых люди борются всю свою жизнь, при чем, однако, не все три цели играют

одинаковую роль К первой из них стремятся все, без исключения, люди; ко второй и третьей лишь сравнительно немного.

Эти три великие цели, стремление к которым незаметно для нас руководит всеми нашими занятиями и действиями, называются: Удобство, Познание и Слава. Оставим в стороне возможный спор о том, действительно ли этими тремя целями исчерпывается разбираемый нами вопрос и не существуют ли еще иные, хотя бы второстепенные, рычаги, направляющие деятельность людей рядом с указанными тремя главными рычагами, вызывающими погоню за удобством, за познанием и за славою. Можно указать на любовь... Однако, этот рычаг совсем особого рода и фактически не долгодействующий, так как любовь семейная, без натяжки, может быть сведена к первому из вышеуказанных трех главных рычагов. Можно еще указать на стремление к красоте и на стремление к нравственности; но для наших целей мы и их можем оставить в стороне.

Из трех вышеуказанных рычагов мы оставим без рассмотрения рычаг третий — стремление к славе. Его влияние в истории культуры, как вполне самостоятельного фактора, не сливающегося с тем стремлением к удобству, которое мы сейчас рассмотрим, представляется вряд ли сколько-нибудь значительным; возможно, что оно было ничтожно малым или даже — отрицательным. Этот вопрос мы здесь не будем подвергать анализу, результат которого не может для нас иметь заметного значения. Таким образом, остаются две главные цели, к которым стремятся люди. остаются всего только два рычага, господствующих над почти всеми деяниями людей: стремление к удобству и стремление к познанию. К их рассмотрению мы теперь и приступим.

Обращаемся сперва к первому рычагу, который хотя и не важнее второго, но в том отношении играет первенствующую роль, что он направляет действия всех без исключения людей. Стремление к удобству властно царствует над родом человеческим, заполняет его жизнь, проникает во все бесчисленные разветвления тех каналов, по которым течет деятельность людей. Само собой разумеется, что термин «удобство» надо здесь понимать в весьма широком смысле этого слова. Под удобством мы подразумеваем, прежде всего, устранение всего того, что усложняет нашу жизнь, возлагает на нас лишнюю работу, заставляет нас терять время и силы, которым мы правильно приписываем большую ценность и которые мы всегда стремимся по возможности беречь. Сюда же относится наше стремление избавиться от всего, что нам причиняет беспокойство, вроде болезней и всякого рода опасностей, которые грозят или могут нам грозить извне от животных, от людей или от тех сил, которые таятся в окружающей нас мертвой природе и, вырвавшись наружу, оказываются опасными врагами человека, обнаруживаясь в таких

явлениях, как, например, гроза, наводнения, землетрясения, бури, лавины, горные обвалы, пожары и т. д. Сюда же, несомненно, относится стремление, если не к богатству, то во всяком случае к выходу из бедности с ее великими неудобствами, вроде тесноты помещения, холодного и сырого, недостатка теплой одежды и неудовлетворительной по качеству и по количеству пищи. Из сказанного ясно, какие разнообразные стороны содержатся в понятии об удобстве. Само собою разумеется, что главную роль здесь, все-таки, играет удобство в обыденном смысле слова, то удобство, достижению которого служат не только бесчисленные, окружающие нас предметы, созданные изобретателями, но и сложные сооружения, как например, железные дороги, трамваи, телеграф, телефон, электрическое освещение и т. д. Погоня за удобством, в указанном широком смысле слова, — вот чем охватываются все те бесчисленные и, как может казаться, совершенно различные цели, к которым стремятся люди и для достижения которых они ведут никогда не прерывающуюся борьбу от начала самостоятельной жизни и до последнего издыхания у преддверия могилы. Ниже мы приведем примеры тех результатов, которые были достигнуты, благодаря борьбе человечества за удобство.

Вторую цель, к которой неуклонно и настойчиво стремятся люди, хотя и далеко не все, мы назвали познанием; оно существенно отличается от простого знания. В чем же заключается сущность стремления к познанию, которое живет в нас, в недрах нашей души, как таинственное, чудное ее свойство? Оно заключается в том, что мы желаем познать все то, что нас окружает, что мы видим, слышим или осязаем; это желание совершенно независимо от того, может ли достигнутое познание принести нам какую-либо пользу, то-есть с какой-либо стороны увеличить наше благосостояние, увеличить степень удобства нашей жизни. Жажда познания весьма далека от праздного любопытства; в ней кроется одно из самых чудных, самых возвышенных качеств человека. Мы желаем познать окружающую нас природу, частицу которой мы составляем, разгадать ее тайны, заглянуть во внутреннюю сущность того, что происходит. Мы не хотим ограничиться знанием, мы стремимся к познанию, которое неразрывно связано с пониманием.

Следы стремления к познанию можно найти и у диких народов; но там оно почти исключительно относится к таким предметам или явлениям, которые приносят человеку особенно большую пользу или особенно большой вред. Эти явления об'ясняются существованием разного рода богов, богинь, злых и добрых духов и т. д.; остатки такого способа об'яснять окружающие нас явления мы и до сих пор находим в разного рода суевериях (домовой, леший, русалки, кикиморы). Но по мере того, как человек все более и более удаляется от первобытного состояния, развивается в нем все острее желание познать истинные, скрытые от непосредственного наблю-

дения причины окружающих его явлений, полнее в них разобраться, проникнуть в их сокровенную сущность. Было бы излишне приводить примеры, указывать хотя бы на некоторые из бесчисленных вопросов, которые ставит жажда познания при созерцании всего того, что происходит на земле и на небе, в мертвой неорганизованной материи и в той материи организованной и живой, из которой построены животныя и растения. В этой книге будет идти речь только о явлениях, которые обнаруживаются в материи мертвой.

Невольно напрашивается вопрос. не лежит ли в основе стремления человека к познанию некоторая, наиболее скрытая, первоначальная причина, может быть даже не всегда ясно сознанная, но неуклонно толкающая человека вперед по пути к пониманию всего, что его окружает, что он наблюдает. Такая как бы потаенная пружина несомненно существует и ее указать не трудно. Из всех предметов и из всех явлений, которые можно наблюдать в окружающем нас мире, несомненно представляют для человека наибольший интерес сам человек и те загадочные явления, которые связаны с жизнью, с самосознанием. Великий немецкий поэт Гейне спрашивает:

«Что представляет человек?
Откуда он пришел, куда уходит?
Кто там живет на звездах золотых?»

Он добавляет

«И дурак ждет ответа».

В действительности, человечество, однако, не перестает надеяться найти ответ на эти вопросы, наиболее жгучие, наиболее его волнующие с того момента, как в нем появились первые проблески сознательного анализа явлений внешнего мира и того внутреннего мира, который заполняется личными переживаниями и который безусловно недоступен наблюдению другого человека. Разгадка собственного бытия, разгадка жизни и, пожалуй, в еще большей степени, разгадка смерти — вот та высшая из всех проблем, тот крайний предел, к которому стремятся мысли и упования человека.

Может быть не всегда ясно сознанная, эта вековечная проблема манит к себе человечество, которое никогда не перестанет стремиться к ее решению. И если человек жаждет познания всех тайн, как мертвой, так и живой природы, то эта жажда непрерывно поддерживается запрятанною в тайниках человеческой души надеждой, хотя бы таким окольным путем и хотя бы немного, но приблизиться к решению центрального для человека вопроса о самом себе. В тайной надежде познать самого себя, человек неутомимо ищет познания всего окружающего и для этого всесторонне изучает внешнюю природу, а также все проявления жизни, как

отдельного человека, так и различных групп людей и целых народов, их историю, их языки и весь их многосложный быт.

Итак, стремление к познанию мы должны поставить рядом со стремлением к удобству; оба в одинаковой степени важны и интенсивны, хотя и не одинаково распространены. Они управляют почти всеми действиями людей в той вечной суете и в том хаосе, каким нам представляется совокупность бесконечно разнообразных деяний вечно метущегося человека.

Мы в самом начале этой главы поставили вопрос: каким образом происходит постепенное культурное развитие человечества? Где кроются те потаенные рычаги и пружины, непрерывное влияние которых дало человечеству возможность достигнуть всего того, чем оно ныне в праве гордиться? Мы указали, что человек сам создал свою культуру, что в его деяниях и следует искать те силы, которые эту культуру развивают. Но деяния людей, как мы видели, направляются, главным образом, стремлением к удобству и познанию. А потому мы и должны заключить, что первоисточником развития культуры является именно это господствующее над человечеством стремление к удобству и к познанию.

Культура возникла, ширилась и развивалась благодаря стремлению человека к удобству и к познанию.

Теперь перед нами встает другой вопрос: в какой сфере человеческой деятельности сосредоточиваются непосредственные источники роста культуры? Кто же, в конце концов, фактически вывел людей из дикого, первобытного состояния к современной культуре, от невежества к свету знания и уменья? На эти вопросы может быть только один ответ: научная деятельность человека дала ему культуру; богиня-наука подняла человечество и одарила его всеми теми культурными благами, без которых мы не можем себе представить нормального течения жизни. Ошибочно думать, что наука есть результат культуры. Где наука занимает подобающее ей место, там процветает народ, растет и крепнет культура, появляются все те удобства жизни, даже временное отсутствие которых нас сердит и раздражает. Правильно сказал русский поэт: «Где высоко стоит наука, стоит высоко человек».

Наука ведет к познанию окружающих нас предметов и явлений, она открывает свойства различных веществ; она говорит нам о внутренних скрытых от непосредственного наблюдения связях между различными явлениями, о законах, которым эти явления подчинены, о тех источниках, из которых они возникают, и о тех последствиях, к которым они приводят. Она постепенно открывает перед нами тайны мертвой и живой природы. Она дает нам сведения о строении материи и указывает сущность света, теплоты, электричества. Это она является тем

светочем, лучи которого проникают и в недра земли, и к небесным светилам, и к тайнам живой, организованной материи. Жажда познания привела к науке, которая одна только и может утолить эту жажду.

Бесчисленные изобретения являются непосредственными источниками тех удобств, которыми пользуется культурный человек. Каким образом были сделаны все эти изобретения, примеры которых будут приведены в этой книге? На какой плодородной почве они выросли? Здесь ответ может быть только один: первоисточником всех изобретений, сделанных на благо человека и дающих ему неисчислимые удобства, является та же богиня-наука, щедро дарящая нам познание и удобство, при чем эти два дара теснейшим образом между собой переплетены. В стремлении исключительно только к познанию наука глубоко изучает свойства различных веществ. Она раскрывает нам эти свойства и учит нас приготовлять бесчисленные новые вещества, которых мы не встречаем готовыми в природе, и которые, во многих случаях, обладают неожиданными, иногда поразительными и для человечества неоценимыми, полезными свойствами. Рядом с этим наука изучает происходящие вокруг нас явления; по строго обдуманному, каждый раз, плану она искусственно вызывает новые явления, возможность которых можно было предвидеть или предугадать: а на пути этих изысканий она иногда неожиданно и как бы случайно наталкивается на такие явления, которые, не представляя видоизменений уже известных явлений, оказываются безусловно и по существу совершенно новыми, раскрывают перед человечеством новые, иногда необ'ятные перспективы и постепенно делаются для него источником новых благ, новых «удобств» в широком смысле этого слова. Но чтобы пользоваться различными явлениями, надо их глубоко и всесторонне изучить, что и делается в тех научных кабинетах, лабораториях и институтах, в которых ярко горит светоч науки, где кипит непрестанная научная работа и откуда выходят великие открытия на благо человечества. Изучая явления, наука касается всех сторон, которые в них обнаруживаются; она старается вникнуть в условия их возникновения, стремится понять их сущность, узнать те, иногда весьма сложные, законы, которыми они управляются и те, обычно глубоко скрытые, связи, которые существуют между ними и другими явлениями, иногда на них столь мало похожими, что трудно было бы даже и подозревать возможность какой-либо между ними связи. Благодаря такому глубочайшему изучению свойств различных веществ и тех явлений, которые в них происходят, увеличивается познание, к которому стремится человечество и в то же самое время делается возможным умелое употребление веществ и явлений на благо человечества, на увеличение тех удобств, которые также составляют залог процветания культуры. Выражая в сжатом виде сущность всего изложенного, мы можем сказать: наука, прямая за-

дача которой исключительно только дать человеку то познание, которое он ищет, приводит к бесчисленным открытиям, использование которых приводит затем к не менее бесчисленным изобретениям, удовлетворяющим стремлению человека к удобству. Открытия и изобретения, тесно между собою связанные, имеют как мы видим, своим первоисточником богиню-науку, величественные храмы которой — школы, низшие, средние и высшие, и все те учреждения, которые посвящены научной работе. Но непосредственной задачей науки все же является одно только расширение и углубление наших познаний, без мысли о практических целях, то-есть о тех удобствах, которыми могло бы воспользоваться человечество Наука дает нам открытия; это ее самодовлеющая задача. Ее не интересует вопрос о пользе, которую человек сумеет извлечь из данного открытия; для нее важно только то увеличение наших познаний, которое связано с научной работой, со всяким шагом вперед на беспредельном пути по направлению к истине. Наука бескорыстно работает для увеличения наших познаний, не справляясь о тех выгодах, которые могут проистекать из ее открытий, и которые представляют предмет техники в обширном смысле слова. Говоря о науке, мы имеем в виду то, что иногда называется чистою наукой и противоставляется прикладным знаниям, то-есть технике с ее бесчисленными разветвлениями.

Итак, мы приходим окончательно к такому выводу: наука дает непосредственно те открытия, которые ведут к познанию, а затем косвенно она же дает те изобретения, которые ведут к удобству. Обе великие цели, к которым стремится человечество, достигаются благодаря богине-науке, и в ней мы должны видеть первоисточник культуры.

Мы говорили до сих пор о науке, как о чем-то едином, исследующем все, что доступно наблюдению, и дарящем нам те познания, которых мы жаждем. Но по мере увеличения беспредельных по числу и по разнообразию предметов исследования, наука стала распадаться на отдельные части, на науки специальные. Затем происходило дальнейшее дробление, и в настоящее время мы имеем дело с весьма большим числом различных наук, из которых каждая имеет свою задачу, свои об'екты исследования и свои методы, являясь более или менее самостоятельным источником познания. Нет надобности перечислять хотя бы названия важнейших групп наук. В том собрании книг, в которое входит и эта книга, будет рассмотрено значение отдельных наук для культуры, будет выяснена та роль, которую каждая из них играла, давая человечеству познание и удобство. Эта книга посвящена специально физике и ее огромным заслугам перед человечеством

ГЛАВА II.

ФИЗИКА, ЕЕ ЗАДАЧА И ЕЕ МЕТОД.

§ 1. Общая задача физики; значение физики для других наук. Мы указали, что наука, если понимать это слово в самом обширном смысле, распалась на большое число специальных наук. Было бы совершенно неправильно считать одни науки более важными, чем другие, и приписывать некоторым из них какое-то первенствующее над другими значение и положение. Нет сомнения, что все науки одинаково интересны и одинаково важны. Тем не менее следует безусловно признать, что физика занимает совершенно исключительное положение, как бы в центре большого числа других наук, группирующихся около нее, черпающих из ее богатой научной сокровищницы и отчасти перенявших ее методы исследования. Об этих науках будет сказано ниже.

Дадим сперва самое общее определение задачи физики; это определение нам затем придется несколько сузить, при чем, однако, обширность задачи физики окажется лишь весьма мало измененной сравнительно с первым ее определением. Мы уже упомянули, что материя, из которой состоят окружающие нас тела, встречается в двух видах, а именно: как материя мертвая, неорганизованная, и как материя живая, организованная; из последней построен мир животных и растений. Задаче физики, в самом обширном смысле слова, можно дать следующую формулировку: Изучить свойства мертвой материи и все те явления, которые в этой материи обнаруживаются. Весьма важно тут же прибавить, что живая, организованная материя, соткана из тех же веществ, которые мы встречаем или можем получить в мертвом, неорганизованном, виде. Отсюда явствует, что результаты, к которым приходит физика, почти всецело приложимы и к материи живой. Однако, этими результатами далеко не исчерпываются свойства живой материи и происходящие в ней явления. Остается незатронутым физикой самое важное, а именно: все то, что нераздельно связано с самой жизнью, как таинственным источником процессов, составляющих предмет изучения наук биологических.

Определение задачи физики, которое нами только-что дано, приходится сузить, так как из физики, как науки, охватывающей

всю мертвую природу, выделился ряд наук, изучающих определенные группы явлений, могущие происходить во всех видах мертвой материи, или же относящиеся лишь к некоторым определенным видам этой материи. Выделение из физики ряда наук произошло очень давно, а одна из них, астрономия, пожалуй, даже старше самой физики. Выделившиеся из физики науки стали шириться и расти и ныне составляют самостоятельные обширные источники познания. Эти науки следующие:

1) Механика, то-есть учение о движениях и о силах. Основы ее и до сих пор входят в состав физики и только дальнейшая математическая разработка более сложных вопросов выросла в особую науку, которая ныне отчасти стоит ближе к чистой математике, чем к физике.

2) Химия, изучающая те явления, при которых меняется состав материи, возникают новые вещества, вследствие «химического» разложения или соединения других веществ. Ныне химия сделалась самостоятельной, грандиозной наукой, с своей стороны, разделившейся на большое число специальных отделов, как например, химия неорганическая, органическая, аналитическая, техническая, физическая, физиологическая и друг. О ее значении для человечества будет рассказано в другой книге той серии, о которой выше было сказано.

3) Астрономия, изучающая небесные светила, их движения, состав и явления, происходящие на их поверхностях.

4) Геофизика, имеющая об'ектом изучения те физические явления, которые происходят на поверхности земли и, отчасти, в ее недрах. В ее состав входят метеорология, физическая география, сейсмология (учение о землетрясениях), оптические явления в атмосфере, учения о земном магнетизме, об атмосферном электричестве и т. д.

5) Минералогия с кристаллографией.

6) Геология.

Все указанные науки имеют своим предметом, как и физика, мертвую, неорганизованную природу. Строго разграничить их по отношению к физике невозможно. Постепенно развиваясь, эти науки все более и более от физики удалялись, и, казалось, прервали почти всякую с ней сколько-нибудь тесную связь. Но вот произошло одно, исторически весьма важное и глубоко знаменательное явление. Некоторые из названных наук вдруг вновь обратились к физике и начали обильно черпать из богатейшего накопленного материала, из научной сокровищницы этой науки. Они начали пользоваться не только результатами, но и методами физики. И, как следствие, получился поразительный результат: в составе этих наук возникли новые, обширные отделы, в сущности новые науки, как бы промежуточные или пограничные между теми науками и физикой.

Последняя играет в них столь большую роль, что многие их части невозможно отделить от физики, так как они в такой же мере принадлежат физике, как вновь возникшим наукам. Всякий, кто специально занимается физикой, обязан познакомиться с этими частями новых наук. Огромная научная польза, которая получилась от поворота наук в сторону физики, явствует уже из того, что вновь возникшие, промежуточные науки имеют ныне свои кафедры в университетах и в других высших учебных заведениях, свои роскошно обставленные научные институты, свои специальные журналы, многочисленные учебники и свою необ'ятную литературу. Перечислим эти вновь возникшие науки, самые названия которых отчасти явственно выражают ту роль, которую физика играла при их обосновании и при их развитии.

1) Физическая химия, возникшая благодаря тому, что химия, обратившись к физике, стала пользоваться ее результатами и методами. Почти все отделы физической химии, по своему характеру, тесно примыкают к чистой физике и, конечно, каждый физик должен с ними ознакомиться. Над некоторыми из вопросов физической химии работали, и притом с величайшим успехом, специалисты по физике, весьма далекие от того, что можно назвать чистой химией. Физическая химия, как бы в благодарность за все то, что ей дала физика, с своей стороны, обогатила эту науку многочисленными новыми, весьма важными результатами.

2) Астрофизика. В течение нескольких тысячелетий астрономия занималась исключительно только вопросом о движении небесных светил. Во второй половине истекшего столетия астрономия почти внезапно стала пользоваться методами физики и построенными ею приборами, спектроскопом, фотометром, полярископом, фотографическим аппаратом и другими физическими инструментами. Тогда возник совершенно новый отдел астрономии, получивший название астрофизики; это, несомненно, одна из самых любопытных наук; она раскрыла перед нами сокровенные тайны мироздания и дала нам в неисчерпаемом изобилии те познания, которых жаждет человечество. Она неимоверно расширила наш кругозор, указав нам вещества, из которых состоят небесные светила, и целый ряд удивительнейших явлений, которые происходят на поверхностях этих светил, с покон веков манивших к себе взоры и мысли людей, жаждавших проникнуть в таинственную даль небес и узнать, что из себя представляют неподвижные звезды, странный млечный путь и загадочные кометы, так сильно когда-то пугавшие людей. Астрофизике ныне посвящены особые отделения в астрономических обсерваториях, со своими особыми инструментами и даже лабораториями. Будем помнить, что астрофизика всем своим существованием обязана физике.

3) Кристаллофизика. Кристаллами называются твердые вещества, образующиеся, главным образом, из растворенного, на-

пример, в воде, или из расплавленного состояний; они имеют форму более или менее правильных многогранников; это значит, что их поверхность составлена из плоских фигур, например, треугольников, четырехугольников, пятиугольников и т. д. Кристаллография занимается вопросом о формах кристаллов, об их геометрических свойствах. Кристаллофизика рассматривает всевозможные физические явления, происходящие в кристаллах, и потому распадается почти на столько же отделов, как и сама физика. Укажем, например, на явления световые, тепловые, магнитные и электрические, а также на явления упругости в кристаллах. Предметом кристаллофизики является, понятно, вопрос о том, в какой мере все эти явления, давно изучаемые физикой, обладают специальным характером, благодаря особенностям формы и внутреннего строения кристаллов. К наиболее выдающимся специалистам по кристаллофизике принадлежат некоторые из профессоров физики.

4) Геофизика, то-есть физика земного шара, целиком построена на физике, все отделы которой почти одинаково для нее важны.

5) В минералогии и геологии также существуют отделы, в которых физика играет существенную роль.

6) Механика, как было сказано, имела до сих пор почти вполне характер науки математической. Основные принципы механики, установленные великим английским ученым Ньютоном (Newton, 1643—1727), казались навсегда незыблемым ее фундаментом. Однако, в последнее время, начался под влиянием физики и здесь переворот, существенно меняющий форму принципов Ньютона. Физическое учение о явлениях электрических и магнитных привело к коренному изменению этих принципов, которые в течение двухсот лет считались фундаментом не только механики, но и значительной части самой физики. В настоящее время механическое миропонимание, постепенно заменяется другим, в котором механические принципы Ньютона заменяются законами, выведенными из тщательного и всестороннего изучения явлений электромагнитных. К этому вопросу мы еще возвратимся (глава 6, § 12).

На вопрос о значении физики для других наук находится ответ, хотя и не исчерпывающий, в предыдущих строках. Все науки, предметом изучения которых является мертвая природа, как мы видели, тесно связаны с физикой, благодаря которой в них возникли новые науки, которые мы назвали «промежуточными». Однако, и для ряда других наук, физика имеет весьма большое значение. Сюда относится, прежде всего, физиология, как животных, так и растений, в которой весьма существенную роль играет приложение физики к явлениям живой природы. Достаточно указать на физиологию органа зрения, которая так много обязана работам знаменитого физика Гельмгольца (Helmholtz, 1821—1894). Немалое значение имеет физика и для медицины; это ясно, если вспомнить

хотя бы о трех различных способах лечения при помощи электричества: постоянным током, индукционным током и зарядами статического электричества. Далее, мы ныне имеем методы лечения рентгеновыми лучами и радиоактивными веществами и просвечивание человеческого тела рентгеновыми лучами, например, для изучения повреждений костей, для отыскания посторонних тел, например, осколков металлов внутри тела человека, а также разного рода болезненных новообразований.

Здесь не место говорить о значении физики для *техники*, большая часть которой построена на том, что было открыто этой наукой. Вопросу о том, что в этом направлении дала физика человечеству, будет посвящена последняя глава этой книги. Возможно, что со временем физика будет иметь значение и для некоторых других наук, ныне стоящих далеко от ее влияния. Сюда относятся, например, науки, занимающиеся изучением языков, наречий и говоров различных народов. Ведь речь состоит из звуков, и потому возможно, что та часть физики, которая посвящена звуковым явлениям (акустика), когда-нибудь окажется способной снабдить упомянутые науки ценным научным материалом, дать им новые методы изучения языков, наречий и говоров, указать новые пути для открытия тех законов, по которым происходит постепенное изменение языка, изменение слов, заимствованных от других народов и т. д.

§ 2. *Три главные задачи физики. Открытие физических явлений.* Мы указали общую задачу физики и то значение, которое физика имеет для других наук. Перейдем теперь к обширному вопросу о том, каким образом физика выполняет свою задачу, то-есть изучает свойства мертвой, неорганизованной природы и те явления, которые в ней обнаруживаются, и в чем заключаются хотя бы основные черты того метода, которым эта наука пользуется и благодаря которому она достигла великих результатов, составляющих источник ее славы и предмет гордости всего человечества.

Прежде, чем говорить о методе физики, мы должны указать, на какие три существенно различные части распадается выполнение общей задачи физики. Мы до сих пор характеризовали эту задачу как изучение *свойств мертвой материи и тех явлений*, которые в ней происходят. В дальнейшем мы, однако, будем говорить *только о явлениях*, обнаруживаемых этой материей, так как свойства мертвой материи выясняются теми явлениями, источниками которых эти свойства служат. Итак, мы скажем сокращенно: физика изучает явления, происходящие в мертвой природе. Эти явления мы впредь и будем кратко называть *физическими явлениями*. Выполнение этой задачи распадается на три части: физика должна эти явления **открыть, изучить и об'яснить.** Итак, открытие, изучение и об'яснение явлений, вот те три великие цели, к которым стремится

физика. Их мы теперь и рассмотрим; более глубокое их понимание и проникновение в их сущность будет достигнуто благодаря тем многочисленным примерам, которые в изобилии будут встречаться в этой книге.

Обращаемся к первой задаче, к открытию явлений. Понятно, что с него должна начаться та специальная работа, которая относится к одному определенному явлению или к группе явлений, родственных между собой и возникающих из одинаковых или не по существу отличающихся друг от друга источников. Открытие явлений происходит двумя путями, а именно: случайно, и, как мы пока для краткости выразимся, неслучайно. Весьма важно и интересно отметить, что случайные открытия, о которых можно подумать, что они происходят довольно часто, в действительности чрезвычайно редки. В виде примера укажем на открытие (1789) итальянским врачем Гальвани (Galvani, 1737—1798) (а может быть и его женой) судорожных сокращений мышц лягушки, явления скорее физиологического, которое затем привело великого итальянского физика Вольта (Volta, 1745—1827) к открытию, уже не случайному, явления электрического тока. Утверждают, что датский ученый Эрстедт (Oerstedt, 1777—1851) заметил (1820) во время лекции, что магнитная стрелка, случайно стоявшая на столе недалеко от проволоки, через которую проходил электрический ток, начала двигаться и, таким образом, было открыто действие электрического тока на магнит, то-есть впервые была обнаружена связь между электрическими и магнитными явлениями. Другие утверждают, что Эрстедт искал действие тока на магнитную стрелку и сделал свое открытие не случайно. Вслед за тем французский ученый Ампер (Ampère, 1775—1836) уже наверное не случайно открыл целый ряд основных электромагнитных явлений. Немецкий ученый Рентген (Roentgen, род. 1845) несомненно случайно открыл (1895), что бумажка, пропитанная некоторым особым веществом, и светящаяся под влиянием невидимых ультра-фиолетовых лучей, с которыми мы познакомимся ниже (глава VI), начинала светиться, хотя никакие ультрафиолетовые лучи на нее не падали. Она случайно находилась на столе, на котором Рентген производил опыты над свечением разреженного газа при прохождении через него электрического тока. Трубка, в которой находился этот газ, была обвернута непрозрачной черной бумагой, так что пришлось допустить, что из трубки выходят какие-то лучи, которые свободно проникают через черную бумагу и, падая на упомянутое вещество, заставляют его светиться. Эти лучи и оказались теми «рентгеновыми» лучами, о которых нам впоследствии придется говорить подробно, и удивительные свойства которых затем уже не случайно были открыты, главным образом, самим Рентгеном.

Мы указали на некоторые из тех редких случаев, когда важные

явления были открыты несомненно совершенно случайно. В действительности, почти все физические явления были открыты не случайно, но были предвидены, предугаданы. На чем основано это предвидение будет изложено несколько ниже (см. § 5), когда мы обратимся к рассмотрению гипотез и той огромной и, как мы увидим, двоякой роли, которую они играют в науке и притом не только в физике, но, хотя бы с некоторым изменением характера, во многих других науках. Но чтобы уже здесь несколько выяснить понятие о неслучайности открытия, мы, для аналогии вспомним, каким образом делались и делаются открытия в географии. Очевидно, что о полной случайности здесь можно говорить лишь в самых редких случаях, когда путешественник находится в местах уже достаточно обследованных и он даже не думает о возможности встретить что-либо существенно новое и интересное, и все же совершенно неожиданно наталкивается на таковое, может быть вследствие того, что он, не зная об этом, шел по дороге, которая до него была мало или вовсе не исследована. Стоит только вспомнить историю величайшего из всех географических открытий (1492), сделанного Колумбом (1446—1506), чтобы понять, до какой степени оно было неслучайное, какую руководящую в ней роль играла предвзятая мысль о существовании материка на Западе от Европы.

§ 3. Исследование физических явлений. Исследование явлений представляет, пожалуй, главную часть деятельности физика-ученого. Оно может относиться как к вновь открытым, так и к давно известным явлениям. Во втором случае почва, вообще говоря, оказывается более подготовленной и исследователю легче найти те направления, в которых он может работать с некоторою надеждой найти что-либо новое, относящееся к данному явлению. Исследование может быть качественное или количественное. В первом случае речь идет только о тех различных видах или формах, которые изучаемое явление принимает при разнообразных частных условиях, например, при различных температурах и давлениях, или вообще, при различной интенсивности того или другого воздействия, могущего изменить характер явления; сюда может относиться, например, влияние света, напряженности электрических или магнитных сил, присутствия различных веществ, например, газов, солей, кислот и т. д. на различные стороны изучаемого явления Действительно, всестороннее исследование данного явления может представлять задачу неисчерпаемую вследствие многочисленности тех причин, под влиянием которых явление может более или менее изменить свой внешний вид, свою форму или иные свои признаки.

Несомненно более важной задачей представляется изучение количественных сторон физического явления, то-есть тех количественных зависимостей, которые существуют между различными величинами, играющими ту или иную роль в рассматриваемом физическом явлении. Мы не вдаемся в дальнейшие общие рассу-

ждения, так как они могут показаться мало понятными; впоследствии мы встретимся с многочисленными примерами количественных исследований физических явлений и на этих примерах вопрос вполне выяснится. Теперь мы ограничимся указанием, что результатом количественных исследований является открытие тех законов, которым данные физические явления подчиняются Эти законы нередко представляют наиболее характерную и важную часть исследуемого явления, дающую нам возможность наиболее глубоко проникнуть в самую сущность явления, в те скрытые от нас корни, из которых оно выростает, и в те причины, которые влияют на его форму и его течение. Мы увидим, что мы, кроме законов, весьма часто встречаемся с правилами, также имеющими весьма большое значение для науки.

Количественное исследование явления всегда сводится к производству каких-либо измерений. Из обыденной жизни мы знаем, что значит измерить длину, вес и температуру. При этом длина, обычно, измеряется очень просто и быстро при помощи стержней или даже лент, когда не требуется большой точности и, например, ошибка в десятую долю дюйма никакой роли не играет; для измерения веса и температуры требуются уже более сложные инструменты, как весы и термометры. Но в физике приходится иметь дело с огромным числом разнообразнейших физических величин, из которых назовем некоторые, более или менее общеизвестные: давление воздуха или иного газа (барометр, манометр), влажность воздуха (гигрометр), сила света (фотометр), сила электрического тока (гальванометр, амперметр), количество теплоты (калориметр) и т. д. Для измерения различных физических величин существуют особые приборы или инструменты, имеющие иногда весьма сложное устройство. Эти приборы постоянно подвергаются разного рода изменениям, цель которых — достичь при их помощи возможно большей точности, а также удобства и быстроты при производстве измерения. Многие мастерския, иногда весьма обширные и богато обставленные, занимаются выделкой инструментов для физических измерений и нередко вся их работа посвящена постройке небольшого числа разнообразных инструментов, родственных между собой по некоторым особенно характерным составным частям, или служащих для измерения величин относящихся к одному и тому же отделу физики. Почти не существует инструментов, которые служили бы только для наблюдения и не давали бы возможности в то же время производить те или другие измерения. Сюда относятся, например, лупа, простые микроскопы и зрительные трубы; но следует помнить, что в физике простое наблюдение без измерений играет, сравнительно, малую роль. Итак, измерительные приборы постоянно усовершенствуются; иногда их устройство при этом упрощается, но чаще — усложняется.

Измерения бывают двух родов: абсолютные и относительные. В первом случае непосредственно измеряется данная

величина, то-есть определяется, сколько раз в ней содержится избранная единица того же рода величины. Сюда относится, например, измерение данной длины в миллиметрах, сантиметрах, метрах; данного веса в миллиграммах, сантиграммах, граммах; данного об'ема в кубических сантиметрах, в литрах; данной силы электрического тока в амперах и т. д. При относительных измерениях мы имеем дело с двумя данными физическими величинами одного рода, и задача измерения заключается в определении их численного отношения, то-есть требуется узнать, во сколько раз одна величина больше другой. Так можно сравнивать две длины, два об'ема, два веса, две силы токов, две яркости освещения, силы двух магнитов и т. д.

По существу разница между двумя родами измерений не велика, ибо, если за одну из двух сравниваемых величин принять избранную единицу, то относительное измерение превращается в абсолютное. Однако, на деле разница иногда весьма велика, и приборы употребляются различные, смотря по тому, предназначены ли они для измерений абсолютных или относительных.

Производство точных измерений есть величайшее искусство, которому, как и любому другому искусству, не всякий может научиться. И здесь, как всегда, играет большую роль прирожденный талант, особенные свойства глаза, уха и, прежде всего, рук; не даром говорят о «золотых» руках того или другого известного ученого. Задача заключается в том, чтобы при помощи данного прибора достичь наилучших, то-есть точнейших результатов, иначе говоря, чтобы ошибка, неизбежная при всяком измерении, была бы по возможности мала, составляла бы возможно малую долю измеряемой величины, малую ее процентную часть. Чтобы в этом отношении действительно достигнуть наилучших результатов, требуются иногда целые годы упражнений, огромный навык и осмотрительность, все необходимые стороны которой лишь медленно и постепенно выясняются. Не только требуется обыкновенная осторожность, без которой можно и прибор испортить и в некоторых случаях себе или другим вред причинить; необходима особая, в каждом частном случае, осмотрительность при выборе метода измерения, способа установки приборов и, в особенности, при попытке вывести какое-либо заключение на основании полученных результатов измерений. Добросовестность, терпение и трудолюбие — вот каков должен быть девиз всякого производящего физические измерения. Самая важная, но и самая трудная сторона дела заключается в необходимости принять во внимание все те побочные обстоятельства, то-есть те внешние влияния, например, температуры, влажности воздуха, давления воздуха, а иногда и его движения, неправильного освещения прибора и т. д., которые могут влиять на измерения и исказить их результат. Необходимо в такой степени изучить все свойства измерительного прибора и всего, что может влиять на его показания, и так «наловчиться» во

всех манипуляциях, сопровождающих самое измерение, чтобы достигнуть крайней точности результатов и чтобы, в то же время, иметь возможность определить степень достигнутой точности, величину возможной, оставшейся ошибки. Мы можем все сказанное вкратце пояснить на примере всем известного измерения веса какого-либо тела при помощи весов, предоставляя читателю обдумать дальнейшие детали. Положим, что требуется взвесить тело, вес которого около 200 грамм. На очень «грубых», то-есть плохо построенных и дешевых весах можно сделать ошибку чуть ли не в целый грамм, что составит полпроцента всей измеряемой величины. На лучше построенных и, вообще, более дорогих весах, можно ручаться за один дециграмм, за один сантиграмм и даже за один миллиграмм, то-есть за одну двухсотую процента или двадцатитысячную долю измеряемой величины. Однако, существуют чрезвычайно сложно устроенные весы, которые, при огромном навыке лица, производящего измерения, могут дать точность взвешивания почти до одной стотысячной доли процента, то-есть до одной десятимиллионной доли определяемого веса. Это, понятно, случаи совершенно исключительные; на подготовку, упражнение и выполнение такого измерения требуются годы; но зато результаты могут иметь весьма большое научное значение. Один такой ряд точнейших взвешиваний потребовал от экспериментатора Ландольта (Landolt, 1831—1910) более десяти лет работы (1900—1910).

Нередко бывает, что экспериментатор имеет перед собою как бы новый случай измерения, настолько выходящий из ряда случаев, более или именее обычных, что ему приходится изобрести совершенно новый метод измерения с новым, подходящим к данному случаю, прибором. Так, например, после открытия радиоактивных веществ, оказалось в высшей степени важным определить плотность того газообразного тела, которое называется эманацией радия или нитоном. Это определение должно было иметь решающее значение для одного из основных вопросов учения о радиоактивности. Огромное затруднение заключалось в том, что этот газ можно добыть лишь в очень малых количествах в виде крошечного пузырька. Два английских ученых — Рамзей (Ramsay, 1852—1916) и Грей (Gray) с трудом добыли (1911) такой пузырек, величиной всего в 0,073 кубическ. миллиметра. Чтобы определить его плотность с достаточной точностью, необходимо было его взвесить и притом с точностью до нескольких миллионных долей миллиграмма. Ясно, что ни на каких весах обычного типа такое взвешивание произведено быть не может. Пришлось построить совершенно особого рода прибор (микро-весы) и придумать новый метод самого взвешивания; таким способом названным ученым, действительно, удалось не только произвести взвешивание, но и достичь необходимой точности и, таким образом, решить один из важнейших, тогда еще

спорных, вопросов в учении о возникновении радиоактивных веществ. Тут от экспериментаторов требовалось, кроме всего указанного выше, еще и большая изобретательность. Добавим, что вес пузырька оказался равным 710 миллионным миллиграмма и что точность измерения доходила примерно до пол-процента. Подобные же задачи измерения очень малых величин встречались на пути истории физики и в других ее областях. Удавалось, например, измерить длину в одну двухтысячную долю миллиметра с точностью до одной стомиллионной доли миллиметра или продолжительность явления, которая равна одной тысячемиллионной доле секунды. Понятно, что для выполнения таких измерений требуются особые методы и приборы, а для построения последних огромная опытность, изобретательность и, прежде всего, та смелость и та настойчивость, которая, не пугаясь предстоящих трудностей, не теряя надежды при неудачах, неуклонно идет вперед, борется и, наконец, достигает намеченной цели.

Все сказанное об измерениях относится также и ко всякому новому физическому опыту или, как говорят, эксперименту. Искусство экспериментатора вырабатывается десятками лет, но в основе непременно должно лежать прирожденное дарование. Всякий опыт есть вопрос, поставленный природе. Великое искусство экспериментатора заключается в такой постановке вопроса, чтобы заставить природу дать ясный и не двусмысленный ответ. Надо уметь понять этот ответ, оценить его значение и вывести из него такие следствия, которые, обогатив науку, увеличили бы наши познания, достижение которых есть главная цель научного творчества.

Мы видим из всего вышеизложенного, что выполнение второй из трех частей, на которые распадается задача физики, а именно: исследование явлений, сводится к постановке опытов и, почти всегда, к производству измерений разного рода физических величин. Этим великим делом занимаются люди, всю свою жизнь отдавшие служению науке и неуклонно стремящиеся к идеальной цели — к увеличению наших познаний о тех веществах, из которых соткан мир и, в его составе — человек.

§ 4. Об'яснение физических явлений. Гипотезы о причине. Открытие и исследование явлений приводит в окончательном итоге к ознакомлению человека с огромным количеством фактов. Таковыми, понятно, оказываются по существу все явления с их характерными и многосторонними особенностями, а также все те законы и правила, которым эти явления подчиняются и которые строго говоря, входят, как составные части, в существо самих явлений и, во всяком случае, представляют важнейшую неот'емлемую часть их сколько-нибудь полной характеристики. Однако, все эти факты, как бы они ни были многочисленны, разнообразны и интересны, вместе взятые еще не составляют того, что было бы достойно названия науки. Это не более, как огромная куча кирпичей или кам-

ней, из которых еще только предполагается построить здание науки. При постройке обыкновенного здания следует, прежде всего, разделить все кирпичи на отдельные кучи, предназначенные для различных, иногда неодинаковых по своему характеру, частей здания. Затем следует все кирпичи, камни и т. д. расположить в определенном порядке и крепко связать их между собою. Кроме того, каждая часть здания должна иметь свой прочный, целесообразно построенный фундамент. Нечто аналогичное происходит и при постройке здания науки. Прежде всего, необходимо из общей кучи фактов подобрать по возможности большую группу таких, которые представляются более или менее очевидно родственными между собой. В виде примера укажем, что такую группу могут представить хотя бы все световые явления или только некоторая часть их, например, те световые явления, которые обнаруживаются при переходе света из одного вещества в другое (преломление света и разложение его на так называемые спектры); другими группами могли бы быть световые явления, происходящие в кристаллах, или возникающие под влиянием магнитных сил и т. д. В научном здании все явления, вошедшие в одну группу, иногда весьма обширную, а иногда и довольно малочисленную, об'единяются некоторою общей мыслью, укладываются на одном общем фундаменте, который и должен служить источником для об'яснения тех явлений, которые составляют данную группу. Чем обширнее группа явлений, об'яснение которых вытекает из одной общей мысли, тем выше развитие науки. Если бы для каждого отдельного явления было придумано свое вполне самостоятельное об'яснение, то это никого бы не удовлетворило и такую кучу фактов и об'яснений никто не назвал бы наукой. Однако, мы еще не дали исчерпывающего определения того, *что мы называем об'яснением* группы явлений или отдельного, например, вновь открытого явления. Для этого мы должны, прежде всего, познакомиться с понятием *о гипотезах* и той огромной роли, которую они играют во всех науках.

Гипотезой, в обширном смысле слова, называется всякое допущение или предположение, правильность которого мы, в данный момент, не имеем возможности проверить. Если впоследствии такая проверка удается, то вопрос о правильности или неправильности гипотезы решается и сама гипотеза, как таковая, перестает существовать; ее уже приходится либо принять, как выражающую достоверный факт, либо в виду ее неправильности, раз на всегда от нее отказаться. Гипотезы могут относиться к различным сторонам научного творчества. Мы отличаем *гипотезы о причине, гипотезы о связи, гипотезы о существовании явления, и гипотезы о законе.*

Наиболее видную, то-есть в глаза бросающуюся, роль играют в физике *гипотезы о причине*; они сводятся к установлению определенного предположения о существовании таких фактов, из

которых — буде они, действительно, существуют — вытекает, как логическое следствие, необходимость существования тех явлений, которые мы наблюдаем и для об'яснений которых гипотеза была придумана. Чем многочисленнее и разнообразнее группа явлений, об'яснение которых строится на одной общей гипотезе, тем важнее последняя, тем больше та роль, которую она играет в науке. По мере того, как возрастает число явлений, об'ясняющихся одною гипотезой, увеличивается вероятность того, что гипотеза правильна, что предполагаемые нами факты, действительно, реально существуют. Однако, эта вероятность никогда не может замениться достоверностью, кроме конечно, если сама гипотеза окажется доступной непосредственной проверке.

Исключение представляют те весьма немногочисленные гипотезы, для которых число об'ясненных ими явлений можно считать беспредельно большим. В этом случае вероятность гипотезы может перейти в достоверность. В виде примера укажем на гипотезу о вращении земли около своей оси вокруг солнца. Гипотезу, утверждающую, что материя состоит из атомов, находящихся в непрерывном движении, в настоящее время можно также считать переставшей быть гипотезой.

На допущенной и ясно формулированной гипотезе об основной причине группы известных и хорошо исследованных явлений строится «теория» этих явлений, дается их об'яснение и, таким образом, воздвигается та часть науки, которая им посвящена. Наблюдаемые и изучаемые нами явления происходят как бы на открытой для нас сцене: гипотезы относятся к тому, что для нас происходит за кулисами мирового театра, то-есть там, куда наши наблюдения проникнуть не могут и где знание, основанное на опыте, заменяется догадкой. Но в закулисных причинах кроется общий источник иногда весьма многочисленных и разнообразных явлений, кроется об'единяющее их начало, из которого они выростают, как необходимые и логически выводимые следствия. Таким образом, теория является результатом перехода от груды фактов, этих кирпичей и камней для науки, к постройке соответствующей им части этого здания. Исходя из гипотезы, выводятся, путем логического рассуждения, об'яснения явлений, то-есть всех их качественных и количественных сторон, всех наблюдаемых правил и законов. Но от физической теории ожидается еще бо́льшего, чем только об'яснение всех уже известных фактов: она должна предсказывать новые явления. Действительно, из гипотезы, положенной в основу теории, должно оказаться возможным вывести, путем логических рассуждений, все вытекающие из нее следствия, то-есть по возможности исчерпывающе ответить на вопрос: какие явления должны оказаться возможными и каким правилам и законам должны эти явления подчиняться, если та закулисная причина, наличность которой предпола-

гается гипотезой, действительно, существует? Невероятно, чтобы все явления, возможность которых вытекает из данной гипотезы, были бы уже открыты и исследованы. Таким образом, теория может указать на существование таких явлений, которых еще никто никогда даже не мог подозревать, хотя бы вследствие их полной новизны или неожиданности. В других случаях теория предсказывает какие-либо новые качественные стороны или количественные законы, относящиеся к таким явлениям, которые уже давно известны, хотя то, что об них предсказывает теория, еще не было замечено Всякого рода предсказания теории должны быть проверены на опыте. Физика особенно гордится теми открытиями явлений или законов, которые были сделаны теоретически, то-есть были на бумаге вычислены, как необходимые следствия принятых гипотез. Если опытное исследование обнаруживает, что явление или закон, действительно, существуют, то мы можем сказать, что данная теория торжествует; она показала свою силу, не только об'ясняя известное, но и раскрывая перед нами неизвестное. Впоследствии мы встретимся с целым рядом таких открытий, которые явились по только-что указанному пути, как плод развития теории, основанной на определенной гипотезе. Не следует, однако, придавать таким правильным предсказаниям теории слишком большого значения и было бы весьма легкомысленно, на основании немногих или даже только одного правильного предсказания, утверждать, что основная гипотеза верна, что вся теория построена правильно и уже навсегда останется незыблемо воздвигнутой частью здания науки. Несомненно, что ясное и без натяжек об'яснение известных нам явлений и законов, и правильное предсказание многочисленных новых, сильно говорят в пользу данной гипотезы и построенной на ней теории. Но они, все-таки, никогда не могут служить доказательством справедливости гипотезы. Дело в том, что одна и та же группа явлений может быть следствием многих, весьма различных закулисных причин; задача науки и заключается в отыскании той из этих возможных причин, которая представляется наиболее вероятной.

Всякая гипотеза вместе с построенной на ней теорией представляет, как указывает история физики, нечто эфемерное, преходящее, легко уязвимое и могущее погибнуть от сравнительно как будто бы и небольшого удара. Сколько бы данная гипотеза не об'яснила и предсказала явлений и законов, от нее наука немедленно отказывается, если хотя бы одно из ее предсказаний не оправдывается на опыте, или если открывается новое явление, необ'яснимое на основании данной гипотезы, или даже несомненно ей противоречащее. Тогда приходится гипотезу, переставшую быть возможной и приемлемой, заменить другою и подвергнуть всю соответствующую часть здания науки более или менее значительной перестройке. Такими событиями переполнена история физики. Был, например, слу-

чай, когда определенная гипотеза, принятая всеми учеными, властно царствовала в течение трех четвертей столетия и казалась на вечные времена незыблемо установленной. Она об ясняла все известные в то время световые явления и с непогрешимой точностью предсказывала новые, неожиданные явления, которые без такого теоретического предсказания, вероятно, никогда бы не были открыты, так как самая мысль о возможности таких явлений никому бы не могла придти в голову. Все полагали, что эта теория принадлежит к наиболее твердо установленным, что она навсегда останется незыблемой частью физики; достоверность ее основной гипотезы смело сравнивали с достоверностью гипотезы о движении земли. Мы имеем в виду гипотезу, что свет есть колебательное движение, распространяющееся в особой среде, заполняющей мировое пространство и названной мировым эфиром. И что же мы видим ныне? Теория колебания эфира уже давно не принимается ни одним ученым, а весьма большое число выдающихся ученых ныне даже совершенно отрицают существование мирового эфира. Это произошло потому, что были открыты многочисленные и разнообразные новые явления, которые никоим образом не могли быть об'яснены теорией колебания эфира, и ее пришлось заменить электромагнитною теорией света Максвелля (Maxwell, 1831—1879), одним из величайших творений человеческого гения. В первой половине восьмидесятых годов, когда Герц (Hertz, 1857—1894) открыл (1887 г.) те электрические лучи, которыми ныне пользуются в телеграфии без проводов, теория Максвелля восторжествовала и навсегда вытеснила теорию колебания эфира. Главные основы ее до сих пор стоят твердо в науке, но в деталях она, в начале текущего столетия, подверглась весьма существенному преобразованию, в связи с теми характерными чертами, которые были внесены в нее, благодаря учению об электронах (мельчайших частиц отрицательного электричества, см. гл. III), постепенно проникающему во все отделы физики. Несколько ниже мы поговорим об истинном значении такого внезапного отказа от обширной и, казалось, пышно расцветшей теории, и замены ее новой, построенной на совершенно другой гипотезе, как новом ее фундаменте.

Чем больше число разнообразных явлений, об'ясняемых одною гипотезой, тем лучше; наличность множества гипотез, из которых каждая служит для об'яснения небольшой группы явлений, указывает на слабое развитие соответствующего отдела науки. Чем меньше гипотез, тем выше научный расцвет. Появление хорошей гипотезы может сильно двинуть науку; но еще важнее исчезновение гипотезы без замены ее другой, или слияние нескольких гипотез в одну, обслуживающую несколько групп явлений, которые до этого считались не связанными между собой общностью причины. «Наука стремится не к установке, но к устранению гипотез», говорит Оствальд (Ostwald, род. 1853).

Идеальной законченности достигла бы наука, если бы в ней осталась только одна единственная гипотеза, из которой вытекала бы, как необходимое следствие, совокупность всех наблюдаемых явлений со всеми их количественными законами, и таким образом была бы обнаружена внутренняя связь между всеми явлениями.

Теперь мы можем дать окончательный ответ на вопрос: «что значит об'яснить физические явления?» Когда идет речь о группах уже известных и более или менее исследованных явлений, то об'яснение сводится к доказательству, что они представляют необходимое следствие некоторой гипотезы о закулисной стороне этих явлений. Об'яснить отдельное, вновь открытое явление, это значит — указать его внутреннюю связь с другими, уже знакомыми нам явлениями; показать, что и оно вытекает как необходимое следствие из одной или нескольких гипотез, принятых в данный момент наукой или, выражаясь образно — вставить новое явление в рамки одной из существующих теорий.

§ 5. Иного рода гипотезы. Мы рассмотрели гипотезы о закулисной причине; их обычно и имеют в виду, когда говорят о гипотезах в физике.

Как мы видели, они входят в состав здания науки, играя роль фундаментов различных его частей, то-есть отдельных теорий. Но существуют другого рода гипотезы, которые оказываются непрерывными и неизбежными спутниками всякого научного творчества, приводящего к открытиям новых явлений, законов или связей между уже известными явлениями; благодаря им развивается и ширится наука и делаются все те открытия, которые мы выше назвали неслучайными; теперь мы можем выяснить этот термин и показать, в чем заключается неслучайность открытий в области физики. Чтобы понять в чем тут дело, необходимо постараться вникнуть — если можно так выразиться — в самый механизм творческой научной работы; надо себе ясно представить, каким образом происходит научная работа, достигаются новые результаты, открываются новые явления, законы и связи. Оказывается, что ученый не делает и не может сделать ни одного шага при своих научных работах без помощи какой-либо гипотезы, если, конечно, исключить очень редкие «случайные» открытия, примеры которых мы привели выше. Действительно, какого бы рода ни была эта научная работа, вникая в «механизм» ее возникновения, мы убеждаемся, что ученый при ее выполнении руководствовался некоторой гипотезой. Это наиболее легко поймется, если мы рассмотрим различные случаи научного творчества в области физики. Всякая научная работа должна производиться планомерно.

Благодаря своим знаниям и своей опытности, ученый ясно представляет себе все детали тех явлений, к области которых относится заинтересовавший его и избранный им вопрос. Каким же образом

ему удается открыть новое явление? Знание и опытность заставляют его предположить, что при определенных новых условиях, при новой обстановке следует ожидать чего-то нового. Ясно, что никто не станет делать опыта, ничего от него не ожидая, а в этом ожидании, в этом предположении, что получится нечто новое, и скрыта руководящая гипотеза.

Ученый исходит из гипотезы о существовании явления, при чем само явление, его характер и облик ему еще неизвестны, или рисуются лишь туманно и в общих чертах. Здесь вопрос о правильности или ложности гипотезы решается, как только опыт произведен. Во втором случае ученый обычно несколько меняет гипотезу, ища явление при измененной обстановке.

Аналогичным путем открываются новые законы. Исследование какого-либо явления указывает ученому на такую связь между двумя физическими величинами, которая, очевидно, выражается каким-то законом. Так, например, количество теплоты, выделяющееся в течение данного времени в проволоке, через которую течет электрический ток, явственно зависит от силы этого тока. Ученый ищет этот закон и для этого пробует разные законы, то-есть исходит из ряда последовательных гипотез, что тот или другой закон может «подойти», то-есть оказаться в согласии с той зависимостью, которая наблюдается в действительности на опыте. Может случиться, что ни один из гипотетически принятых законов не окажется соответствующим наблюдаемой зависимости, истинный закон которой, в этом случае, остается неизвестным.

Другой случай научной творческой работы мы имеем перед собой, когда ученый, на основании иногда весьма общих соображений, приходит к убеждению, что между двумя группами явлений, которые всем казались ничего общего между собой не имеющими, должна существовать связь, например, какое-нибудь влияние одного из двух явлений на возникновение или на внешнюю форму другого. Это будет гипотеза о связи, которая, благодаря ее неопределенной форме, не может быть непосредственно проверена. Исходя из своей гипотезы о связи, ученый ищет эту связь и при этом строит ряд новых гипотез относительно того, в каком виде и при каких обстоятельствах предположенная связь могла бы обнаружиться. Каждая из этих добавочных гипотез заставляет его произвести соответствующий опыт в надежде найти, по указанному этою гипотезой пути, искомую связь. Когда обнаруживается, что избранный путь верен, тогда и основная гипотеза о существовании связи оказывается подтвержденной. Так, Фарадей (Faraday, 1791—1867) искал связь между явлениями световыми и магнитными и, наконец (1845), нашел, что под влиянием магнитных сил, действующих внутри прозрачных тел, световой луч может подвергаться особого рода вращению вокруг своего собственного направления. Мы упомянули выше о случайном открытии Эрстедтом связи между магнитными и

электрическими явлениями Позже оказалось, что связь более глубокая, и было открыто возбуждение магнетизма при помощи электрического тока, а затем Фарадеем (1831) возбуждение токов (индукционных) магнитами и другими токами.

Приведенные примеры достаточно выясняют, какую роль играют гипотезы, как неизбежные и непрерывно действующие спутники ученого при его научной работе.

Клод Бернар (Claude Bernard, 1813—1878), знаменитый физиолог, говорит: «Предвзятая мысль или гипотеза есть необходимая точка исхода всякого опытного исследования. Без нее немыслимо открыть что-либо новое». От уменья избрать правильную гипотезу, то-есть идти по такому пути, который может привести к цели, зависит, очевидно, успех научной работы, и этим уменьем определяются все степени талантливости ученых, во главе которых стоят такие гении, как Ньютон, Фарадей, Френель, Герц и др., коими гордится человечество. На вопрос, каким путем можно дойти до постановки гипотезы, которая привела бы к прогрессу науки, можно найти ответ в словах Кеплера (Keppler, 1571—1630), сказавшего: «мой добрый гений подсказал мне эту мысль».

На стран. 20 мы указали, что, за редкими исключениями, научные открытия делаются «неслучайно». Все вышеизложенное достаточно раз'ясняет, в чем заключается «неслучайность», и какую роль играют знание, опытность и талант при постановке руководящих гипотез, заменяющих слепой случай

§ 6. Историческое значение гипотез о причине. Физика и наука о познании (гносеология). — Возвратимся еще раз к гипотезам о причинах определенных групп явлений. Мы видим, что определенная гипотеза о причине лежит в основе того, что мы назвали теорией иногда многочисленной группы явлений, нередко весьма разнообразных по внешнему виду. Но мы указывали также на недолговечность таких гипотез, с вынужденным отказом от которых падает и построенная на них теория, рушится часть здания науки, так что приходится строить ее вновь и на новом фундаменте, то-есть на новой гипотезе о причине. И мы привели, как пример, теорию световых явлений, построенную на гипотезе колебания эфира. Но тут невольно возникает серьезный вопрос. Гипотезы и построенные на них теории, как показывает история физики, в большинстве случаев, не обладают долгою жизнью; они, после расцвета, иногда пышного и блестящего, подвергаются постепенному упадку, оказываются устарелыми, не соответствующими новым требованиям науки и, в конце концов, должны быть навсегда отвергнуты; почти всякая новая теория, как только она возникает, уже обречена на гибель, на замену, со временем, другою теорией с другой фундаментальной гипотезой. Если все это так, то спрашивается: какое же значение могли иметь все эти гипотезы и теории, которые, очевидно, неверны, так как их пришлось заменить другими?

К чему строить здание науки, если каждую его часть приходится, раньше или позже разрушить и перестроить? Какую же пользу принесли науке все эти отжившие теории, развалины которых указывают нам путь исторического развития физики? Стоит ли продолжать трудиться над постройкой теорий, которые все равно не удержатся? И где же, наконец, вечные ценности науки, где та истина, к которой она стремится? Ответы на все эти вопросы дает нам история науки и эти ответы заставляют нас отвергнуть всякий пессимизм и всякий скептицизм, и с добрым упованием, с глубокою верой относиться к науке и ее результатам и питать светлые надежды относительно дальнейшего ее развития и тех плодов, которые она еще преподнесет человечеству. Ведь вот в чем дело. Было бы весьма ошибочно полагать, что теория, долгое время господствовавшая в науке и затем оставленная, исчезает, не оставляя никаких следов. Это не так! Теория, кончившая свое существование, сделала для науки свое, иногда весьма великое дело, которое остается незыблемым; она принесла ей некоторую, и притом иногда огромную пользу, дала ей новый материал, мощно двинула ее вперед и подарила человечеству такие познания, от которых ему отказываться нет причины. Как же это, однако, могло случиться, если гипотеза, на которой все было построено, в конце концов, оказалась неприемлемой, неверной, то-есть не соответствующей *действительности*? Последнее слово дает нам ключ к ответу. Что такое действительность, то-есть та истина, познать которую и есть задача науки? Разве мы имеем право утверждать, что истина вообще доступна нашему пониманию, что мы могли бы ее охватить, если бы нам удалось проникнуть за кулисы той сцены, на которой разыгрываются физические явления, доступные нашему непосредственному наблюдению? На этот вопрос мы ответа дать не можем и мы должны скромно ограничить задачу науки, как *стремление приблизиться к истине*. Предположение новой гипотезы можно сравнить с попыткой построить модель того, что находится за пределами наших наблюдений. Модель, оказавшаяся неудовлетворительной, не была целиком неверной; в ней, несомненно, было много сторон, весьма близких к соответственным сторонам неведомой истины, или даже тождественных с ними. Понятно поэтому, что на основании этой модели, то-есть этой гипотезы, можно было об'яснить или даже предсказать все те явления, *которые зависят именно от этих сторон истины*, правильно предугаданных принятой гипотезой. Таким образом данная гипотеза и могла принести всю ту пользу, которая навсегда останется ее заслугой перед человечеством и которая характеризует ту роль, которую она сыграла в истории науки. Те явления и те законы и правила, которые, благодаря ей, были открыты, остаются навсегда в сокровищнице науки, и те познания, которые она нам подарила, почти всегда целиком или, по крайней мере, в их существеннейших частях, уже не подвергаются изменениям; они более или менее цели-

ком переходят в новую теорию. Все ценное остается, отбрасывается лишь то, что оказалось безусловно неверным. Новая теория получает от старой, как богатейшее наследие, все то, что ею было создано и что почти всегда неизмеримо больше того, что она сама получила в наследие от своей предшественницы. Пользуясь этим материалом, новая теория продолжает работу предыдущей. В ее основе лежит новая гипотеза, обладающая всеми теми сторонами старой, которые не было причины менять и о которых мы сказали, что они близки к соответствующим сторонам неведомой, закулисной истины, или даже с ними тождественны. Но другие стороны старой гипотезы оказываются в новой замененными такими, относительно которых есть повод предположить, что они *ближе к истине*, чем замененные ими старые. Таким образом, замена отжившей гипотезы новой и соответствующая перестройка теории раскрывает перед нами новые возможности, новые горизонты и представляет важный шаг вперед по направлению к истине, о которой мы не знаем, доступна ли она человеческому разуму. Развитие науки — это приближение к истине, по пути к которой нас ведут одна за другой те последовательные гипотезы и построенные на них теории, возникновение, расцвет и умирание которых и составляет предмет истории физики. Из всего изложенного выясняются ответы на те вопросы, которые мы поставили относительно научного значения гипотез о причине; неизбежная эфемерность их не должна нас пугать. *Гипотезы и теории умирают, как умирают люди*, оставляющие ценный, а иногда и великий след в истории человечества, которая благодарно чтит их память, так как они жили не напрасно. И про умершие гипотезы и теории следует сказать: *они жили не напрасно*.

Мы упомянули о пределах человеческой познавательной способности. Что такие пределы, действительно, существуют, в этом убеждает нас ряд вековечных вопросов, не поддающихся решению, хотя человечество не перестает над ними трудиться и не перестает надеяться хотя бы сколько-нибудь приблизиться к их решению. Оставляя в стороне науки биологические с их фундаментальным вопросом о сущности жизни, мы укажем на два главных вопроса, мучительно стоящих перед человеком: *это вопросы о конечности или бесконечности пространства, в особенности, и времени*. Здесь не место для разбора этих двух вопросов, к которым нам впоследствии еще придется возвратиться. Ограничиваемся указанием, что эти два вопроса имеют огромное значение для той части физики, которая трактует о рассеянии энергии, одном из величайших открытий человеческого гения, с которым мы познакомимся в главе VII. Как бы глубоко ни был изучен и выяснен принцип рассеяния энергии, как бы ясно ни представились нам первоисточники этого принципа, у нас остается ряд вопросов, наиболее интересных и привлекательных, без решения ко-

торых принцип не может считаться окончательно выясненным. Но такое выяснение невозможно, так как оно тесно связано с упомянутыми вопросами, относящимися к пространству и, в особенности, ко времени. Здесь наши стремления встречают предел; перед нами зияет пропасть, через которую мы перешагнуть не можем. Таким образом, вопросы чистой физики оказываются неразрывно связанными с такими вопросами, самая возможность решения которых отчасти представляется лежащей за пределами человеческого разума.

В связи с вопросом о пределах познаваемого человеком находится общий вопрос о том, каким образом человек узнает об окружающих его явлениях. Этот важнейший и для физики вопрос разбирается в том отделе философии, который известен под названием теории познания (гносеологии). Забывая об ее основах, ученый рискует впасть в грубые ошибки, сделаться жертвой несомненных заблуждений. Нельзя поэтому согласиться с теми, которые свысока относятся вообще ко всякой философии, они, хотя и бессознательно, но несомненно следуют в своей научной работе тому, чему нас учит теория познания. Не прибегая к ней, они не могли бы об'яснить некоторых из наиболее простых и почти непрерывно нас окружающих и нами наблюдаемых явлений. Ограничимся немногими намеками. Как известно, для каждого человека существуют два мира: внутренний и внешний; посредниками между этими двумя мирами являются наши органы чувств. Внешний мир имеет способность влиять на органы чувств, вызывать в них особого рода изменения, или, как принято говорить, возбуждать в них раздражения. Внутренний мир человека определяется совокупностью тех явлений, которые безусловно недоступны непосредственному наблюдению другого человека. То раздражение, которое вызвано внешним миром в органе чувств, передается миру внутреннему и, с своей стороны, вызывает в нем ощущение, для возможности которого необходима наличность сознания. Воспринятое внутренним миром ощущение об'ективируется, то-есть переносится во внешнее пространство, как нечто принадлежащее определенному месту и определенному времени. Иначе говоря, мы, путем такого об'ективирования переносим во внешний мир наши внутренние ощущения, при чем пространство и время служат тем фоном, на котором располагаются эти об'ективированные ощущения. В тех местах пространства, где они помещаются, мы невольным образом предполагаем наличность порождающей их причины. Исследование процесса об'ективирования, происходящего бессознательно, относится к философии. Итак, мы познаем внешний мир на основании тех ощущений, которые этот мир вызывает в нас, раздражая наши органы чувств: мы видим, слышим, осязаем и т. д. Так как умозаключение, сопровождающее всякое об'ективирование, основано исключительно только на воспринятом ощущении, то ясно, что полнейшая одинаковость этих ощущений непременно повлечет за собой

и тождественность об'ективированных причин, и эта тождественность сохраняется помимо, и даже против нашей воли и в тех случаях, когда другие органы чувств неоспоримо свидетельствуют нам о неодинаковости причин, вызвавших одинаковые ощущения. В этом кроется один из главных источников несомненно ошибочных умозаключений, приводящих к многообразным, так называемым, обманам чувств и, прежде всего, к обманам зрения (оптические обманы), слуха и т. д. Простейший пример представляет изображение предмета за плоским и за выпуклым зеркалом или перед вогнутым зеркалом, то-есть в свободном пространстве. Другим источником подобных обманов является отсутствие навыка при ощущениях новых. Мы хорошо знаем, что за зеркалом никакого предмета нет, и все же мы не в состоянии заставить себя не видеть этого предмета. Итак, чтобы об'яснить столь элементарное явление, как изображение предмета в зеркале, мы должны обратиться к основам учения о познании, могущим оградить нас от многих из тех ошибок, которые при научных исследованиях легко могут заманить нас на ложный путь.

§ 7. Разделение физики. Физика разделялась, примерно до последней четверти истекшего столетия, на ряд отделов, резко разграниченных друг от друга. Каждый отдел был посвящен группе таких явлений, более или менее близкое родство которых между собой не могло подвергаться сомнению. Но это деление отчасти находилось в зависимости от того, которыми из наших органов чувств данные явления воспринимаются. Иначе говоря, деление производилось не столько по об'ективным признакам, которые одни должны были бы руководить способом деления и иметь при этом решающее значение, сколько по признакам суб'ективным, зависящим от свойств и от строения человеческого тела. Таким образом мы имели в физике отдел, посвященный явлениям, воспринимаемым нашим органом зрения, то-есть оптику или учение о свете. Другой отдел трактовал о явлениях, воспринимаемых органом слуха; это — акустика или учение о звуке. Особый отдел составляло учение о явлениях тепловых, с которыми нас, прежде всего, знакомит орган осязания. Отдельно изучались те специальные свойства, которые присущи телам твердым, жидким и газообразным. Наконец, учение о явлениях электрических и магнитных, обладающих особым характером и как будто совсем не похожих на явления, рассматриваемые в только-что упомянутых отделах физики, также представляли два обособленных отдела этой науки. Конечно, были известны разного рода явления, которые одновременно относились к нескольким отделам физики, так как в них как-бы переплетались явления, обычно относившиеся к этим различным отделам. Но это указывало только на внутренние связи между явлениями, все-таки, по существу разнородными. Об'единяющим все отделы физики началом оказался, открытый в конце первой половины истекшего столетия, великий

закон сохранения энергии, с которым мы ближе познакомимся в главе IV.

С течением времени резкость границ между различными отделами стала постепенно уменьшаться; местами эти границы стушевывались и, наконец, совершенно исчезали, так что два отдела физики сливались в один. Они строились на одном общем фундаменте; это значит, что две гипотезы, лежавшие в основе двух теорий, заменялись одной общей гипотезой, служившей основанием для построения одной общей теории тех двух групп явлений, которые до того времени считались разнородными по существу и потому изучались в двух различных, резко друг от друга разграниченных отделах физики. Первое такое соединение двух отделов в один началось еще в двадцатых годах истекшего столетия, после работ Ампера, предложившего учение о молекулярных электрических токах, окружающих частицы магнитов. Он, таким образом, свел магнитные явления к электрическим и привел два отдела физики к одному. После разного рода колебаний, мысль Ампера была всеми принята и в настоящее время учение о магнитных и электрических явлениях составляет одно целое, построенное на общем фундаменте, каковым ныне является теория электронов, которая будет рассмотрена в следующей главе. Самое замечательное слияние двух отделов физики произошло в восьмидесятых годах истекшего столетия, когда после теоретических работ Максвелля, создавшего, как уже было упомянуто, электромагнитную теорию света, опыты Герца, открывшего электрические лучи, прочно установили справедливость основных положений теории Максвелля. Тогда вся огромная оптика слилась с учением о явлениях электрических и магнитных; из вполне самостоятельного отдела физики она превратилась как бы в одну из глав только что упомянутого учения. В результате мы имеем три старых отдела физики, слившиеся в один, поскольку дело касается об'яснения трех родов явлений. Это не мешает в учебниках сохранять отдел, посвященный оптическим явлениям; но здесь дается только описание явлений и разбор тех законов, которым они подчинены. Все более глубокие об'яснения могут быть даны только в отделе, рассматривающем явления электрические и магнитные, ибо свет есть явление электромагнитное (глава VI, § 12).

Учение о тепловых явлениях стояло когда-то совершенно обособленно, основываясь на гипотезе о существовании особого теплового вещества, которое называлось «теплородом». Когда в сороковых годах истекшего столетия твердо установилось учение об энергии, исчезло навсегда учение о теплороде, на место которого стала новая гипотеза, утверждающая, что сущность теплоты заключается в быстрых, неправильных движениях тех мельчайших отдельных частиц, из которых, несомненно, состоит материя. Теория тепловых явлений оказывается частью общего учения о движении, то-есть

основанною на законах механики. Дальнейшее развитие этой теории привело в 1911 году к новому, поразительному результату. Подробный разбор тепловых движений частиц веществ показал, что эти движения отличаются от звуковых колебаний только бо́льшей быстротой; так что сравнительно медленные колебания частиц представляют звуковые явления, воспринимаемые ухом, между тем, как быстрейшие колебания составляют сущность явлений тепловых и воспринимаются органом осязания. Таким образом, неожиданно был перекинут широкий мост между такими двумя отделами физики, как акустика и учение о теплоте, которые казались ничего общего между собой не имеющими и стоящими весьма далеко друг от друга.

То, что мы сказали о сближении и даже слиянии обширных отделов физики, еще в большей степени относится к тем подотделам или главам, на которые обширные отделы распадаются Дело в том, что в этих подотделах приходится вводить разного рода *добавочные гипотезы*, дополняющие основную гипотезу, на которой построена общая теория всей обширной группы явлений. Эти добавочные гипотезы служат для более детального об'яснения различных сторон отдельных групп явлений. И здесь история физики учит нас, что нередко происходила замена нескольких гипотез, игравших роли в различных главах одного отдела физики, одной гипотезой, вследствие чего ряд различных теорий, посвященных соответствующим группам явлений, заменялся одною, общею для них теорией. О великом значении уменьшения числа гипотез для науки уже было сказано на стран. 29.

Мы определили физику, как науку о явлениях, происходящих в мертвой, неорганизованной материи; задача физики — открыть, исследовать и об'яснить эти явления. Если выделить учение о движении и о силах, которое составляет предмет механики, то таких отделов остается *семь*; специальные предметы, которым они посвящены, суть:

1) Тела твердые.
2) Тела жидкие.
3) Тела газообразные.
4) Звук (акустика).
5) Свет, точнее лучистая энергия (оптика).
6) Теплота.
7) Электричество и магнетизм.

Первые три отдела, вместе взятые, составляют то, что принято называть мало-удачно подобранным именем: физика частичных (или молекулярных) сил, или просто молекулярной физикой.

Приведенный список отделов физики дает нам возможность несколько точнее определить те цели, к которым стремится физика, и те направления, в которых она ищет ответы на запросы пытливого ума человека, жаждущего познания. Мы удобнее всего укажем

эти цели, если приведем ряд определенных вопросов; задача физики — найти по возможности ясные и исчерпывающие ответы на эти вопросы. Само собой разумеется, что мы можем привести лишь самые главные из этих вопросов.

Каково внутреннее строение материи? Из каких первичных частей или частиц состоит материя? Какие силы действуют между этими частицами и каков источник этих сил? Какие движения совершают частицы? Каково строение частиц и какие внутри их действуют силы и какие возможны движения? Каковы размеры частиц?

Как об'ясняются те специальные свойства, которыми обладает вещество в каждом из трех состояний: твердом, жидком и газообразном?

Каков характер тех движений частиц и их дальнейших составных частей, которые представляют сущность теплоты? Как меняются эти движения в зависимости от температуры? Как, вообще, температура влияет на всевозможные свойства твердого, жидкого и газообразного вещества и на те явления, которые в нем совершаются? Каким образом передается теплота от одного места тела к другому? Каким образом происходит плавление и испарение твердых тел, затвердевание и испарение жидких и ожижение газообразных, то-есть вообще так называемые переходы вещества от одного из трех «состояний» в другое?

В чем заключается источник того великого принципа, который господствует над всеми явлениями, происходящими в мире и который учит нас (см. глава VII), что мир есть организм, развивающийся в определенном направлении и тем определяет собой величайший из всех существующих законов — закон эволюции мира, и который известен под названием принципа рассеяния энергии, а также второго начала термодинамики, или просто второго Начала?

Что такое свет или, как более общее понятие, лучистая энергия? Как эта энергия возникает внутри материи и ею испускается во все стороны? Как об'ясняются основные свойства лучистой энергии: отражение, преломление, разложение в так назыв. спектр, поглощение при прохождении через материю, интерференция, поляризация и т. п.? Как возникают те особые оптические явления, которые наблюдаются в кристаллах?

Что такое электричество? что такое магнетизм? Каким образом происходит их возникновение при различных условиях? Как влияют электрические и магнитные силы на свойства вещества и каков внутренний механизм этого влияния? Что такое электрический ток и как он возникает при различных условиях? В чем заключается внутренний механизм его разнообразных действий: тепловых, химических (электролиз), механических, индукционных и многих других? В чем заключается тайна загадочных радиоактивных веществ?

Приведенный список вопросов, который, понятно, можно удлинить сколько угодно, переходя к деталям различных явлений, может дать понятие об общем характере тех целей, к которым ведет физика и тех познаний, которые она обильно преподносит благодарному за них человечеству. Общий же характер всех перечисленных вопросов можно выразить словами: познать ту закулисную область, в которой находятся и действуют первоисточники явлений, происходящих на открытой для нас мировой сцене и подвергаемых нами научному исследованию. И нет пределов для той глубины, до которой пытается проникнуть наука. В нижеследующих страницах мы познакомимся с важнейшими из результатов, добытых физикой; они нам покажут, в какой мере этой науке удалось утолить ту жажду познания, благодаря которой она сама возникла, расцвела и неуклонно продолжает развиваться и в ширь и в глубь.

§ 8. О некоторых простых математических соотношениях. — Математика играет в физике весьма важную роль и притом не только обыкновенная алгебра и геометрия, но и высшая математика, без которой нет возможности узнать все те следствия, которые вытекают из какой-нибудь принятой гипотезы или из закона, обнаруженного нашими наблюдениями. В этой книге мы математикой вовсе не будем пользоваться. Однако, нам придется указать на некоторые физические законы, для правильного понимания которых необходимо знакомство со словами: «квадрат» числа, «прямо пропорционально» и «обратно пропорционально». Вот мы и позволим себе напомнить нашим читателям, что обозначают эти слова.

Если взять какое-либо число и помножить его на самого себя, то полученное произведение называется квадратом взятого числа. Так, квадрат числа 3 равен 9-ти, квадрат 5-ти равен 25-ти, квадрат 10-ти равен 100 и т. д.

В повседневном житейском обиходе мы постоянно встречаемся с такими случаями, когда какая-нибудь одна величина зависит от другой, так что первая непременно меняется, то-есть увеличивается или уменьшается, когда меняется вторая. Так, цена какого-нибудь товара зависит от его количества, то-есть его веса (мука) или от его длины (сукно). Освещение стола зависит, между прочим, от того расстояния, на котором находится от него свеча или лампа и т. д.

В физике мы встречаем бесчисленное множество таких зависимостей одной величины от другой, при чем особый, каждый раз, характер или род зависимости выражается определенным законом. Эти законы могут быть беспредельно разнообразны, но особенно часто встречаются четыре простейшие зависимости и нам придется высказывать соответствующие им законы. Напомним смысл этих весьма простых законов.

1) Одна величина прямо пропорциональна другой означает, что первая увеличивается или уменьшается во столько же раз, во сколько раз увеличивается или уменьшается другая. Так, цена

определенного товара, например, муки прямо пропорциональна весу; путь, который проходит равномерно бегущая лошадь, прямо пропорционален времени, в течение которого лошадь бежала. Такая простая зависимость одной величины от другой и в физике встречается весьма часто Так, например, повышение температуры тела прямо пропорционально количеству тепла, притекшего к этому телу и оставшегося в нем.

2) Одна величина обратно пропорциональна другой означает, что первая уменьшается во столько раз, во сколько раз вторая увеличивается; она соответственно увеличивается, когда вторая уменьшается. Положим, что имеются 100 рублей для закупки товара; ясно, что количество товара (вес или длина), который можно купить, обратно пропорционален ценности товара: чем дороже товар, тем меньше можно его купить на сто рублей.

Если требуется выполнить некоторую работу, например, выкопать канаву, вырубить лес и т. д., то время, в течение которого эта работа может быть выполнена, обратно пропорционально числу рабочих, принимающих в ней участие, если предположить, что все рабочие обладают одинаковой работоспособностью и друг другу не мешают.

3) Одна величина прямо пропорциональна квадрату другой означает, что первая увеличивается или уменьшается во столько же раз, во сколько раз увеличивается или уменьшается квадрат числового значения второй. Если вторая величина увеличивается в 4 или в 10 раз, то первая увеличивается в 16 или в 100 раз; если вторая уменьшается в 3 или в 8 раз, то первая уменьшается в 9 или в 64 раза. Если, например, электрический ток проходит по определенной проволоке в течение данного времени, хотя бы одной минуты, то количество теплоты, которое образуется в этой проволоке, прямо пропорционально квадрату силы тока. Это значит, что при увеличении силы тока в 2, 3, 4 и т. д. раза, количество теплоты увеличивается в 4, 9, 16 и т. д. раз. Если мы имеем участок земли в виде точного круга, то величина поверхности этого участка, то-есть число десятин, которые на нем помещаются, прямо пропорционально квадрату диаметра этого круглого участка. Если увеличить в 2, 3, 4 и т. д. раза диаметр участка, то число десятин увеличится в 4, 9, 16 и т. д. раз.

4) Одна величина обратно пропорциональна квадрату другой величины, означает, что первая уменьшается во столько раз, во сколько раз увеличивается квадрат числового значения второй; наоборот, первая увеличивается во столько раз, во сколько уменьшается квадрат числового значения второй. Например, освещение стены свечей обратно пропорционально квадрату расстояния свечи от стены. Если свеча сперва находилась на расстоянии одного аршина от стены и мы увеличим это расстояние до 2 или до 5 аршин, то освещение соответственно уменьшится в четыре раза или в 25

раз. Поэтому, 4 свечи на расстоянии 2 аршин или 25 свечей на расстоянии 5-ти аршин освещают стену так же ярко, как одна свеча на расстоянии одного аршина. Приведем еще пример: взаимное притяжение тел, по закону всемирного тяготения, обратно пропорционально квадрату расстояния притягивающихся тел друг от друга. Если расстояние между телами увеличится в 2, 3, 4 и т. д. раза, то сила их взаимного притяжения уменьшается в 4, 9, 16 и т. д. раз.

Нам ниже придется часто встречаться с весьма громадными числами, которые пришлось бы по обычному способу писать с очень многими, например, двадцатью и более нулями на конце, которые даже и сосчитать крайне неудобно. Такие числа пишут сокращенно в виде числа 10 с припиской, справа и повыше, другого числа, показывающего сколько нулей в числе, то-есть сколько раз число 10 помножено само на себя. Так например, пишут 10^2 вместо сто, 10^3 — вместо тысячи, 10^4 — это десять тысяч, 10^6 — миллион, 10^8 — сто миллионов, 10^{19} — это число, состоящее из единицы с 19-ью нулями, 4.10^{23} — это число, состоящее из цифры 4 с двадцатью тремя нулями. Мы часто будем пользоваться этим удобным сокращенным способом писания очень больших чисел.

§ 9. Заключение. В первой главе мы видели, какую роль в жизни человечества играет стремление к удобству и стремление к познанию; мы видели, что на почве этого стремления выростает и развивается культура, и что источник, дающий нам, прежде всего, познания, а затем уже и все жизненные удобства, к которым мы привыкли, есть наука, являющаяся и первоисточником всякой культуры. Вторую главу мы посвятили специально физике и мы познакомились с ее задачами и с ее методами. Теперь мы переходим к нашей главной теме, а именно: к подробному изложению того, что физика дала человечеству, какими познаниями и какими удобствами оно обязано этой науке. Иначе говоря, мы рассмотрим, что сделано физикой для культуры человека. При этом мы отдельно рассмотрим те два направления, которые мы характеризовали словами познание и удобство. Мы начнем с тех познаний, которые раскрыла физика, как единственно соответствующие непосредственной задаче этой науки. Их изложение займет почти весь об'ем настоящей книги, и все же нам придется ограничиться наиболее существенным и интересным, чтобы не перейти указанного нам об'ема. Удобства, к которым привела физика, относятся к технике, которой мы посвятим лишь малую часть этой книги, ограничиваясь обзором того, чему мы в этой области обязаны физике, и не вдаваясь ни в какие детали технического характера. Такого обзора будет достаточно, чтобы понять, сколь многим, и в этом направлении, человечество обязано физике.

Мы, в дальнейшем, не намереваемся касаться всех отделов физики, ибо мы не пишем учебника этой науки. И группировка

материала будет у нас иная, чем принятая в учебниках. Мы возьмем ряд по возможности общих, принципиальных вопросов и изложим то, что с ними связано, хотя бы оно и относилось к различным отделам физики.

Рассматривая те познания, которыми одарила нас физика, мы во многих случаях не будем иметь возможности проследить тот, иногда весьма длинный и сложный путь, который привел к тому или другому результату. Для нас наиболее важно точное указание того, что физикой достигнуто, тех глубоких познаний, которые она перед нами раскрыла.

В науке пользуются исключительно только метрическими мерами длины, площади (поверхности), об'ема и веса и мы их введем везде, где это окажется нужным, не считая удобным пользоваться мерами русскими. Для читателей, которые не вполне свыклись с метрическими мерами, мы приводим несколько чисел, дающих возможность перевести метрические меры в русские.

Меры длины. Метр (сокращенно м.) = 0,409 сажени = 1,406 аршина = 3,28 фута = 39,37 дюйма. Приблизительно метр равен $22^1/_2$ вершка, то-есть полтора аршина без полтора вершка. Метр разделяется на 10 дециметров, на сто сантиметров и на 1000 миллиметров. Дециметр = 3,94 дюйма = 2,25 вершка. Сантиметр (см.) = 0,39 дюйма = 0,225 вершка. Миллиметр (мм.) = 0,04 дюйма; дюйм = 25,4 мм. Тысяча метров составляет километр, равный 0,9374 версты = 468 и 2,1 аршина.

Меры площади. Квадратный метр = 0,22 кв. сажени = 1,977 кв. аршина. Квадратный сантиметр = 0,155 кв. дюйма = 0,051 кв. вершка.

Меры об'ема. Кубический метр = 0,103 куб. сажени = 35,32 куб. фута = 2,78 куб. аршина = 81,3 ведра. Литр = кубическому дециметру = 61 куб. дюйму = 0,08 ведра. Бочка содержит 492 литра.

Меры веса. Килограмм (кгр.) = 2,44 фунта = 2 фунта 42,4 золотника; он равен 1000 граммам. Грамм (гр.) = 0,234 золотника; фунт содержит 409,5 грамма. Грамм = 10 дециграммам (дгр.) = 100 сантиграммам (сгр.) = 1000 миллиграммам (мгр.); лот = 12,8 грамма; золотник = 4,266 грамма, доля = 44,4 миллиграмма.

Температуру мы всегда будем выражать в градусах по шкале Цельсия (Celsius C или Ц.), а не по шкале Реомюра (R), которою у нас пользуются в повседневном обиходе. Начало, то-есть 0^0, в обоих шкалах одно и то же; это температура, при которой тает лед. Точка кипения воды находится при 100^0 C или при 80^0 R. Отсюда следует, что если взять четыре пятых температуры по шкале Цельсия, то получится температура по шкале Реомюра. Так, например, 20^0 C = 16^0 R.

ГЛАВА III.

МОЛЕКУЛЫ, АТОМЫ И ЭЛЕКТРОНЫ.

§ 1. Введение. То, из чего состоят тела, встречающиеся в природе, или искусственно изготовленные человеком, мы будем называть веществом или материей. Уже в древние времена материя привлекала к себе внимание мыслителей, старавшихся разгадать тайну внутреннего ее строения и, прежде всего, ответить на вопрос, заполняет ли материя действительно сплошь то пространство, которое она, как нам кажется, вполне занимает, повидимому не оставляя пустого места, если, конечно, исключить такие тела, как губка, древесный уголь и т. д., в которых пустые каналы заметны даже простым глазом, а еще лучше, если их рассматривать в увеличительное стекло (лупу) или в микроскоп. Эти каналы называются порами, а самое вещество — пористым. Во многих телах существование пор обнаруживается тем, что они всасывают в себя жидкости, напр. воду. Так, легко убедиться, что мел впитывает в себя большое количество воды. При очень сильном давлении можно воду заставить проходить даже через довольно толстые слои металлов, которые нам кажутся телами вполне сплошными, непористыми. Особенно поразительно, что многие газы поглощаются твердыми телами и даже довольно свободно проходят через них, особенно если эти тела нагреты. Так, например, газ гелий, о котором нам часто придется говорить, легко проходит через пластинки горячего кварца. Но самый удивительный пример представляет тяжелый металл палладий, по своим свойствам близкий к золоту, к платине и к тому металлу осмию, из которого ныне изготовляются нити для электрических лампочек. Палладий поглощает в громадном количестве газ водород, который нам также придется часто упоминать. Оказывается, что при обыкновенном атмосферном давлении палладий поглощает количество водорода, об'ем которого в 1000 раз больше об'ема самого палладия. Ясно, что и этот металл не вполне заполняет «занятого» им пространства, ибо должно же оставаться место, где мог бы находиться поглощенный водород. Описанные и им подобные явления заставляют нас считать, что материя не заполняет, как нечто непрерывное, того пространства, которое она

занимает, судя по внешней видимости. Еще в древние времена возникла мысль о том, что материя состоит из отдельных, весьма мелких частиц, которые были названы атомами, то-есть неделимыми. О мельчайших частицах, неразрушимых и неизменных, говорит еще Анаксагор (500 до 428 до Р. Х.); но отцом атомной теории обычно считается Демокрит (460 до 370 до Р. Х.). Аристотель (384 до 322 до Р. Х.) высказался, однако, против прерывности материи и возможности существования атомов. Позже Эпикур (341 до 270 до Р. Х.) и в особенности Лукреций (96 до 55 до Р. Х.) развивали мысли Демокрита об атомах. Затем, в течение долгих столетий, атомная теория не играла сколько-нибудь существенной роли. Возобновителем этой теории является Гассенди (Gassendi, 1592—1655), который ввел понятие о силах, действующих между атомами и об'яснил исчезновение какого-либо вида материи и появление новых видов, как результат перегруппировок различного рода атомов. К этим мыслям присоединился Бойль (Boyle, 1627—1691), которого можно считать предшественником Дальтона, так как он первый показал значение атомной теории для об'яснения явлений химических. Истинным основателем современной атомистики следует признать Дальтона (Dalton, 1766—1844), которой изложил свое учение в 1808 году в сочинении «Новая система химии». Мы не приводим дальнейших имен, так как вся химия, а также обширные отделы физики ныне всецело построены на атомной или, точнее говоря, на молекулярной теории. Это одна из весьма немногих теорий, основную гипотезу которой ныне уже можно признать переставшей быть гипотезой. Мы изложим ее в той форме, в которую она вылилась в настоящее время. Это будет первый пример той поразительной глубины, до которой проникли наши познания в тот закулисный мир, к которому очевидно относятся молекулы, атомы и электроны, этот первичный строительный материал всей доступной нашему наблюдению части вселенной. Хотя эта теория и получила свое первое развитие на почве химии, ее расцвет и изумительное современное расширение и углубление основаны исключительно на результатах исследований, принадлежащих физике. В современном учении о молекулах, атомах и электронах нельзя не видеть великого торжества физики, торжества человеческого гения, который в ненасытном стремлении к познанию проникает в неведомый мир, недоступный непосредственному восприятию нашими органами чувств, но, как оказалось, доступный освещающим лучам, которые испускает неугасаемый светоч науки.

§ 2. Атомы и молекулы. Когда идет речь о разного рода веществах, из которых состоят все окружающие нас предметы, то общепринято, вместо слова «вещество», употреблять иногда слово «тело», что, вообще говоря, легко может привести к недоразумениям, так как телами называются и сами предметы, могущие иметь сложное

устройство и состоять из многих различных веществ. Так, напр., стол, часы, локомотив, насос, луна и т. д. несомненно суть «тела»; но в дальнейшем мы будем придавать слову «тело» также значение вещества и, напр. стекло, медь, воду, спирт, кислород и т. д называть телами Мы исключаем из нашего рассмотрения всякого рода смеси, сплавы и растворы, как состоящие из нескольких веществ, и обратимся к телам (веществам) «чистым» в химическом смысле слова, то-есть не содержащим примесей других, посторонних веществ.

Все химически чистые вещества могут быть разделены на две группы: на тела простые, которые еще называются элементами, и на тела сложные, которые представляют «химические соединения» двух или большего числа тел простых. Мы сейчас увидим, что означают эти слова.

Простое вещество (мы пока исключаем радиоактивные вещества) ни при каких обстоятельствах не может распасться на несколько веществ, отличающихся от него и между собою; и они не могут быть получены как единственный результат взаимодействия нескольких веществ, которые при этом отдельно перестали бы существовать, перейдя в состав рассматриваемого простого тела. Иначе выражаясь, мы скажем, что простые тела не могут подвергаться ни химическому анализу, то-есть разложению на составные части, ни химическому синтезу, то-есть образованию из каких-либо составных частей. К элементам принадлежат все чистые металлы, из которых весьма многие всем хорошо известны, как, напр., железо, медь, олово, свинец; цинк, алюминий, ртуть, серебро, золото, платина, никкель и т. д. Всего существует около 55-ти различных металлов. С многими из них мы будем встречаться в этой книге; укажем, напр., на легкие металлы калий и натрий, плавающие по воде и, при обыкновенной температуре, настолько мягкие, что они легко режутся ножем. К металлам относится также и радий, об удивительных свойствах которого, конечно, все слыхали. Из элементов, не относящихся к металлам, всем известны твердые тела: иод, сера, фосфор, кремний, мышьяк (чистый, а не тот белый порошок, который неправильно, но обычно называется мышьяком) и углерод (известен в трех видах, как уголь, графит и алмаз). Из газообразных элементов назовем следующие: кислород и азот, входящие в состав воздуха; далее, водород, который в 14 раз легче воздуха, и хлор (зеленоватый газ с удушливым запахом). Особый интерес представляют, однако, газы: неон, аргон, криптон, ксенон и гелий, из которых первые четыре содержатся в воздухе и притом в весьма малых количествах, кроме аргона, составляющего почти 1% всей массы воздуха. Исключительный интерес представляет элемент гелий, находящийся в некоторых минералах, из которых он выгоняется при их прокаливании. Общее число различных элементов превышает сто (если считать и радиоактивные вещества).

Представим себе некоторое количество какого-либо элемента

и станем его мысленно делить на все меньшие и меньшие части. Тогда мы, наконец, дойдем до таких частей, которые ни при каких условиях не делятся на еще более мелкие части. Они называются *атомами* и представляют те мельчайшие, совершенно одинаковые между собою части, из которых сложен рассматриваемый элемент. Мы увидим в главе VIII, когда обратимся к вопросу о строении атомов, что даже мысленное деление атома какого-либо вещества на еще более мелкие части *того же вещества* оказывается невозможным. Наука лишь весьма недавно раскрыла, чем отличаются друг от друга атомы различных элементов.

Тела сложные представляют «*химические соединения*» двух или большего числа тел простых, то-есть элементов. Смысл этих слов выясняется из следующего. Если мы тело сложное, то-есть любое чистое вещество из не-элементов, станем мысленно делить на все меньшие и меньшие части, то мы, наконец, дойдем до таких частей, которые уже не могут быть разделены на еще более мелкие части *того же вещества*. Они называются *молекулами*, а иногда и «частицами», хотя это название может вызвать недоразумения, так как частицами называют часто такие, хотя и весьма малые части вещества, из которых, однако, каждая содержит многие миллионы молекул. *Каждая молекула состоит из атомов* тех элементов, которые входят в состав рассматриваемого соединения. Так, напр., каждая молекула воды состоит из одного атома кислорода и двух атомов водорода; молекула поваренной соли состоит из одного атома металла натрия и одного атома хлора; молекула углекислого газа, который выделяется, напр., из сельтерской воды и неправильно называется углекислотой, состоит из одного атома углерода и двух атомов кислорода; молекула сахара состоит из двенадцати атомов углерода, одиннадцати атомов кислорода и двадцати двух атомов водорода. Из этих примеров видно, что сложное вещество, по своему внешнему виду и по своим свойствам совершенно не похоже на те элементы, химическим соединением которых оно является; достаточно обратить внимание на воду «два газа», на поваренную соль «мягкий металл и зеленоватый газ» и на сахар. Молекула сложного вещества может быть раздроблена, но при этом получаются атомы тех простых веществ, из которых данное, сложное построено. Так, вода может быть «разложена» на кислород и водород, поваренная соль на натрий и на хлор и т. д. Ясно, что в отличие от элементов, сложные вещества могут быть подвергнуты как *анализу*, так и *синтезу*.

Ознакомившись с понятием о молекуле сложного вещества, мы должны внести одну маленькую поправку к тому, что нами было сказано относительно мельчайших частей, из которых состоят *элементы*. Дело в том, что некоторые элементы также состоят, прежде всего, не из атомов, но из молекул, которые, однако, тем существенно отличаются от выше рассмотренных молекул сложных

веществ, что они состоят из одинаковых между собою атомов. Так, напр., молекула кислорода состоит из двух, тесно между собою связанных атомов кислорода, то же самое относится к молекулам азота, водорода и хлора, из которых каждая состоит из двух одинаковых атомов. Названные четыре элемента суть газы; они называются газами двухатомными. Существуют, однако, и такие газообразные элементы, которые состоят из отдельных, то-есть несвязанных между собою атомов. Сюда относятся аргон, неон, криптон, ксенон, гелий, и также пары металлов: калий, натрий, кадмий и ртуть; ясно, что эти пары, по своим свойствам вполне напоминающие газы, должны быть причислены к газообразным элементам. Все эти газы называются одноатомными, про них можно, пожалуй, сказать, что их молекула тождественна с атомом. Впоследствии нам часто придется говорить об одноатомных, двухатомных и многоатомных газах, при чем мы будем пользоваться этими терминами (кроме первого) не только говоря об элементах, но и о газообразных соединениях. Одноатомным может, очевидно, быть только простое вещество, то-есть элемент. Но двухатомным мы можем назвать всякое вещество, молекула которого состоит из двух атомов; трехатомным — когда она состоит из трех атомов и т. д. К двухатомным газам, не-элементам, относится окись углерода (молекула состоит из одного атома углерода и одного атома кислорода), окись азота (атом азота и атом кислорода), хлористоводородный газ (атом хлора и атом водорода, раствор в воде называется соляною кислотою), пары поваренной соли и др. Водяные пары представляют газ трехатомный, ибо молекула та же, что и для воды; аммиак есть газ четырехатомный (атом азота и три атома водорода; его раствор в воде называется нашатырным спиртом). Относительно твердых элементов мы ограничиваемся указанием, что металлы, по всей вероятности, вещества одноатомные, то-есть, что они не состоят из молекул, образованных двумя или большим числом связанных между собой атомов.

§ 3. Вес и размеры атомов и молекул. Мы с большою точностью знаем, как между собою относятся веса атомов различных элементов. Самый легкий из них — атом водорода. Если принять вес одного атома водорода за единицу сравнения, то оказывается, что атомный вес гелия — 4, углерода — 12, азота — 14, кислорода — 16, неона — 20,2, натрия — 23, алюминия — 27,1, фосфора — 31, хлора — 35,5, аргона — 39,9, калия — 39,1, железа — 55,8, кобальта — 58,97, никкеля — 57,7, меди — 63,6, цинка — 65,4, криптона — 82,9, серебра — 107,9, олова — 118,7, иода — 126,9, ксенона — 130,2, платины — 195,2, золота — 197,2, ртути — 200,6, свинца — 207,2, радия — 226, урана — 238,2. Эти числа показывают, во сколько раз один атом названного элемента тяжелее одного атома водорода. Так, мы видим, что атом углерода в 12 раз, атом фосфора в 32 раза, атом железа в 55,8 раз,

атом ртути в 200,6 раз и атом металла урана, самый тяжелый из всех, в 238,2 раза тяжелее одного атома водорода. Приведенные здесь числа не вполне точны, но для наших целей достаточны. Наш Дмитрий Иванович Менделеев (1834—1907), один из величайших ученых всех времен, расположил все элементы в так называемую периодическую систему, на которой мы здесь не останавливаемся. Однако, для нас весьма важно познакомиться еще с атомным числом или порядковым номером элемента Это не что иное, как тот номер, под которым стоит элемент, если все элементы занумеровать в том порядке, в котором они расположены в системе Менделеева Этот порядок почти везде совпадает с тем, который получится, если все элементы расположить просто в порядке возрастающих атомных весов В настоящее время атомные числа установлены для элементов, при чем оказалось, что всех номеров 92. Приведем некоторые атомные числа, которые мы ставим перед названием элемента, а в скобках мы еще раз повторим атомные веса: 1 водород (1), 2 гелий (4), 6 углерод (12), 7 азот (14), 8 кислород (16), 10 неон (20,2), 11 натрий (23), 13 алюминий (27,1), 15 фосфор (31), 16 сера (32), 17 хлор (35,5), 19 калий (39,1), 26 железо (55,8), 29 медь (63,6), 47 серебро (107,9), 50 олово (118,7), 53 иод (126,9), 78 платина (195,2), 79 золото (197,2), 80 ртуть (200,6), 82 свинец (207,2), 88 радий (226), 92 уран (238,2). Некоторые порядковые номера (43, 61 и 75) остались пока пустыми; соответствующие им элементы еще не открыты. В трех местах два элемента как бы переставлены; меньшему номеру соответствует больший атомный вес. Так 18 аргон имеет атомный вес 39,9 а 19 калий имеет 39,1. Рассматривая вышеприведенные числа, мы видим, что вначале, то-есть пока они не велики, порядковый номер равен или близок половине атомного веса, но что при больших числах это соотношение уже не существует, так как атомные веса значительно превосходят удвоенные порядковые номера (для урана 238,2 вместо $92 \times 2 = 184$). Весьма интересно, что до номера 80 (ртуть) мы находим под каждым номером только один элемент, а под последними 12-ью номерами (81 до 92) под каждым из них по несколько элементов, которые почти все относятся к тем недавно открытым радиоактивным элементам, с которыми мы впоследствии ближе познакомимся. Так, под порядковым номером 82 находятся, кроме свинца, еще шесть радиоактивных веществ. Элементы, имеющие общий порядковый номер, называются изотопами, они обладают неодинаковыми атомными весами.

Молекулярным весом какого-либо вещества называется вес одной его молекулы, при чем за единицу сравнения опять берется вес одного атома водорода, так что молекулярный вес просто равен сумме весов тех атомов, из которых молекула построена. Обращаясь к вышеприведенному составу некоторых веществ, мы видим, что молекулярный вес воды 18 (один атом кислорода — 16 и два атома

водорода 1 + 1), углекислого газа — 44 (12 + 16 + 16), поваренной соли 58,5 (23 + 35,5), сахара 342 (12 × 12 + 16 × 11 + 22). Для двухатомных элементов мы, кроме атомных весов, имеем также и молекулярные веса. Так, молекулярный вес водорода — 2, азота — 28, кислорода — 32, хлора — 71. Вопрос о том, как расположены атомы, входящие в состав молекулы, рассматривается в химии; этого вопроса нам нет надобности касаться.

Мы будем пользоваться весьма важным термином «грамм-молекула». Под грамм-молекулой какого-либо вещества мы будем подразумевать столько граммов этого вещества, сколько указано его молекулярным весом. Так грамм-молекула воды — это 18 граммов воды; далее 44 грамма углекислого газа, 58,5 граммов поваренной соли, 342 грамма сахара составляют грамм-молекулы названных веществ. Точно так же грамм-молекула водорода — 2 грамма, азота — 28 граммов, кислорода — 32 грамма. Для элементов можно также говорить о грамм-атоме, который содержит столько граммов, сколько указано атомным весом элемента Таким образом, грамм-атом водорода — 1 грамм, кислорода — 16 граммов, серы — 32 грамма и т. д. Для одноатомных газов грамм-молекула очевидно тождественна с грамм-атомом, который напр., для гелия равен 4 граммам, для аргона 39,9 граммам, для паров натрия 23 граммам, для паров ртути 200,6 граммам.

Мы рассмотрели относительные веса атомов и молекул, сравнив их с весом одного атома водорода. Однако, весьма любопытно было бы узнать истинный вес атомов и молекул или, что то же самое, узнать сколько атомов или молекул заключаются в одном грамме того или другого вещества. И на этот вопрос наука ныне может дать вполне точный ответ. Легко сообразить, что одна грамм-молекула вещества содержит всегда одно и то же число молекул, какое бы мы ни взяли вещество. Это значит, что одинаковое число молекул содержится в 2 граммах водорода, в 32 граммах кислорода, в 71 грамме хлора, в 18 граммах воды, в 44 граммах углекислого газа, в 58,5 граммах поваренной соли, в 342 граммах сахара; такое же число атомов содержится в 4 граммах гелия, в 23 граммах паров натрия, в 200,6 граммах паров ртути и т. д. Действительно, веса отдельных молекул двух веществ относятся, как молекулярные веса этих веществ. Если мы возьмем два таких количества двух веществ, чтобы в них содержались одинаковые количества молекул, то веса этих двух количеств очевидно будут относиться между собой, как молекулярные веса взятых двух веществ. Отсюда уже прямо следует, что, если взять такие два количества двух веществ, чтобы их веса относились, как молекулярные веса этих веществ, то число молекул в двух взятых количествах будет одинаковое. Такой случай мы очевидно имеем, когда мы берем от каждого вещества как раз столько граммов, сколько указано его молекулярным весом, то-есть по одной грамм-молекуле.

Весьма важное в физике число молекул в одной грамм-молекуле вещества называется числом Авогадро и обычно обозначается буквой N. По исследованиям американского ученого Милликена (Millican, 1917)

$$N = 6{,}06.10^{23}.$$

Это число состоит, как видно, из 24 цифр; из них первые три суть 606, а за ними следуют 21 нуль. Так как это есть число молекул, содержащихся в 2 граммах водорода, то в одном грамме находится $^1/_2$ N молекул; но каждая молекула состоит из 2 атомов. Отсюда ясно, что в одном грамме водорода содержатся N атомов, то-есть то чудовищное число, которое выше написано. Если мы миллион миллионов назовем биллион, миллион биллионов — триллион, миллион триллионов — квадриллион, то число N равно шестистам шести тысячам триллионов, что составляет более шести десятых одного квадриллиона. Если мы один грамм представим себе разделенным на квадриллион равных частей, то вес атома водорода окажется равной одной и двумтретям (1,67) такой части. Зная вес одного атома водорода, с которым мы умеем сравнивать веса атомов всех других элементов, а также веса молекул всевозможных соединений, мы легко получим истинный вес каких угодно атомов и молекул. Для этого стоит только помножить найденный нами вес атома водорода на соответствующие атомные или молекулярные веса, из которых некоторые, в виде примеров, были нами указаны.

Число N слишком громадно, чтобы хотя бы косвенно можно было дать какое-либо об нем понятие, и мы его несколько уменьшим, рассматривая лишь некоторую часть грамм-молекулы. Дело в том, что Авогадро (итальянец, 1776—1856) дал следующий, весьма важный закон, относящийся к газам: в одинаковых об'емах различных газов, находящихся при одинаковой температуре и при одинаковом давлении, находится одинаковое число молекул. Слова «при одинаковом давлении» означают, что все газы должны быть в одинаковой степени сжаты, а не так, что один сильно сжат, а другой, пожалуй, даже разрежен при помощи насоса. Так, напр., все газы могут находиться под обычным давлением нашей атмосферы, то-есть под таким давлением, которое производит столб ртути высотою в 760 мм. Только-что приведенный закон называется законом Авогадро Из этого закона получается еще такой результат: грамм-молекулы различных газов занимают при одинаковых температурах и давлениях одинаковые об'емы. Положим, напр., что все газы находятся при температуре 0° и при нормальном атмосферном давлении (760 мм. ртути). Тогда грамм-молекула любого газа занимает об'ем в 22,42 литра, то-есть в 22.420 куб. сантим. (литр равен 1000 кубическим сантиметрам) и в этом об'еме содержатся N молекул. Уменьшим это число в 22.420 раз, то-есть возьмем один кубич. санти-

метр. Тогда окажется, что один крошечный кубический сантиметр любого газа содержит при 0° и при атмосферном давлении число молекул, равное

$$n = 2{,}7\ 10^{19}$$

Столько молекул находятся, при указанных условиях (0° и 760 мм. ртути), напр., в кубическом сантиметре воздуха (около $^1/_{16}$-ой кубического дюйма). Постараемся наглядно представить громадность этого числа. Положим, что мы, поместивши наш кубический сантиметр воздуха (или иного газа) в замкнутый сосуд, выпускаем из него ежесекундно по одному миллиону молекул Чтобы выпустить все молекулы, нам пришлось бы непрерывно продолжать эту работу в течение одного миллиона лет. А в грамм-молекуле газа, напр, в двух граммах (менее половины золотника) водорода находятся уже N, то-есть еще в 22.420 раза больше число молекул. Иначе можно сделать наглядным громадность числа n, если представить себе n небольших капель воды, из которых каждая имела бы форму шарика, диаметр которого немного больше 2 миллиметров (об'ем 5 куб. мм.). Эти n капель заполнили бы озеро, глубиною в 250 сажен, шириною в 15 верст и длиною в 30 верст.

Заметим, что современные воздушные насосы дают возможность разредить газ до одной десятитысячи-миллионной доли атмосферы. Но и при таком разрежении, в кубическом сантиметре будут содержаться 2700 миллионов частиц.

Мы видим, что наука смогла указать вес атомов и молекул, а следовательно и число их, заключающихся в данном количестве, напр., в данном об'еме вещества Большой интерес представляет, далее, вопрос о размерах, то-есть о величине атомов и молекул. В главе, посвященной вопросу о строении атома, мы увидим, что в настоящее время самое понятие о величине атома представляется несколько потерявшим свою прежнюю простоту и определенность. До возникновения новых взглядов на строение атома, представляли себе отдельный атом в виде крупинки, вполне определенной формы, обычно шаровидной и, в связи с этим, вполне определенных размеров. Этот размер можно было вычислить на основании ряда различных наблюдений, при чем оказывалось, что диаметр молекулы такого газа, как напр., кислород или азот, приблизительно равен двум десятимиллионным долям одного миллиметра, так что пять миллионов таких молекул, расположенных рядом, составили бы цепочку длиною в один миллиметр. Это дает нам возможность привести еще одну иллюстрацию вышеуказанного числа молекул газа, заполняющего один кубический сантиметр при 0° и 760 мм. давления. Вообразим себе все n молекулы, расположенными в один непрерывный ряд. Они составят весьма тонкую нить, длина которой такова, что ею можно 134 раза обернуть земной экватор. Представим себе небольшой, напр.,

резиновый шарик, диаметр которого равнялся бы 50 миллиметрам В таком случае следующее грубое сравнение даст нам понятие (но не представление) о величине молекулы. Она примерно во столько же раз меньше резинового шарика, во сколько раз этот шарик меньше всего земного шара Французский ученый Перрен (Perrin) дает (1909) такое сравнение один атом водорода теряется в массе тела человека, как тело человека терялось бы в массе солнца Само собою разумеется, что молекулы очень сложных соединений, содержащие большое число атомов, обладают и соответственно большими размерами.

§ 4. Электроны В современной физике получила первенствующее, и притом ежедневно возрастающее значение гипотеза о существовании электронов, которую, впрочем, в настоящее время вряд ли еще можно считать гипотезой, до такой степени достоверной представляется их реальность Построенная на этой гипотезе электронная теория, определяющая свойства электронов и те явления, которые они могут вызвать, проникла почти во все отделы физики и придала электронам роль господствующего первоисточника физических явлений.

Напомним, что если тереть друг об друга два тела, напр, стекло об шелк или сургуч об мех, то оба тела приобретают целый ряд новых свойств, причина которых заключается в том, что эти тела при трении «электризуются», то-есть что на их поверхностях появляется электричество. Более внимательное рассмотрение показывает, что существуют два рода электризации, появляющихся одновременно на двух взаимно натираемых телах; они получили названия электризации положительной и отрицательной. Для об'яснения наблюдаемых при этом явлений, допускалось, что существуют два рода электричества, положительное и отрицательное. Их действия противоположные, все то, что одним электричеством притягивается, другим отталкивается и наоборот. Если в каком-либо теле оба электричества находятся в таких количествах, что их действия на другие тела как раз взаимно уничтожаются, то мы говорим, что эти количества равны между собой и что тело, которое нам представляется совсем не наэлектризованным, находится в нейтральном состоянии. Если в теле находится одного электричества больше, чем другого, то первое получает перевес и тело представляется наэлектризованным именно этим электричеством. Отсюда ясно, что результат будет одинаковый, придадим ли мы нейтральному телу некоторое количество, напр., положительного электричества, или отнимем от него такое же количество отрицательного. В обоих случаях тело представится нам наэлектризованным положительно. То количество электричества, которое находится на теле, называется «зарядом» этого тела.

В течение долгого времени ученые предполагали, что оба электричества обладают более или менее аналогичными свойствами, пред-

ставляя как бы две разновидности особого рода вещества Говорили даже о двух «электрических жидкостях», способных течь внутри так называемых проводников электричества, к которым принадлежат, напр., все металлы, уголь, а также растворы солей, кислот и щелочей. Полагали, что два электричества, смешавшись, как бы уничтожаются, образуют нейтральную смесь, не производящую никаких действий во внешнем пространстве.

Такой взгляд на одинаковый характер основных свойств двух электричеств (если не считать, что их действия направлены в противоположные стороны) ныне заменен совершенно другим, который несомненно ближе к истине. Двум электричествам, существование которых предполагается и современной наукой, приписываются существенно различные свойства и, в связи с этим, совершенно разнородные роли в физических явлениях. Мы теперь достоверно знаем, что в огромном большинстве случаев, когда мы наблюдаем разнообразные электрические явления, непосредственным деятелем является то электричество, которое принято называть электричеством отрицательным. Его существование не может подлежать ни малейшему сомнению; его свойства многосторонне выяснены, равно как и его роль в большом числе физических явлений. Мы достоверно знаем, что отрицательное электричество обладает «атомным» строением; это значит, что оно состоит из отдельных частичек, непосредственно между собой ничем не связанных. Эти «атомы» отрицательного электричества и называются электронами. Электроны взаимно отталкиваются, то-есть стремятся как можно дальше удалиться друг от друга. Они обладают чрезвычайной подвижностью и скорость их движений может, как мы увидим, достигать чудовищной величины. Всем известное явление электрического тока представляет не что иное, как поток электронов, движущихся в проводнике (проволоке) в определенном направлении. Все электроны совершенно одинаковы, ничем друг от друга не отличаясь. Заряд электрона, то-есть то количество отрицательного электричества, из которого он состоит, ныне известен с величайшею точностью и мы можем указать величину этого заряда следующим образом. Вообразим два одинаковых маленьких шарика, хотя бы из сургуча; диаметр шарика не должен превышать нескольких миллиметров. Оба шарика так натерты мехом, что их поверности равномерно и одинаково покрыты отрицательным электричеством. Расположим их так, чтобы их центры находились на расстоянии одного сантиметра друг от друга. Сделаем заряды такой величины, чтобы оба шарика взаимно отталкивались с очень маленькою силою, равною весу 1,02 миллиграмма; это соответствует весьма слабой электризации шариков. Мы можем с достоверностью сказать, что на каждом из шариков находятся около 2100.000.000, то-есть двух тысяч и ста миллионов электронов. Легко понять, что сила, с которою взаимно отталкиваются два электрона,

должна быть чрезвычайно мала. Эта сила тем больше, чем ближе два электрона находятся друг к другу. Она меняется обратно пропорционально квадрату расстояния электронов друг от друга (см. стр. 41), это значит, что при уменьшении расстояния в 2, 3, 10 раз, взаимное отталкивание увеличивается в 4, 9, 100 раз. Если расстояние двух электронов равно всего только одной миллионной части миллиметра, то сила их взаимного отталкивания примерно в сорок тысяч раз меньше веса одного миллиграмма. Даже если два электрона находятся друг от друга на расстоянии одной стомиллионной доли миллиметра, то их взаимное отталкивание приблизительно равно одной четверти веса миллиграмма. Все эти данныя показывают, как хорошо известна величина заряда электрона. Столь же точно известна та величина, которая называется массой электрона и которую мы мысленно можем заменить весом электрона (о массе см. главу IV). Оказалось, что масса электрона в 1850 раз меньше массы самого легкого из атомов, а именно атома водорода. Выше мы видели, сколько атомов водорода находятся в одном грамме этого газа. Теперь уже легко вычислить, что в одном грамме электронов находятся приблизительно 10^{27}, то-есть одна тысяча квадриллионов электронов. Такой «грамм электронов» представляет заряд чудовищной силы. Два грамма электронов, находясь на расстоянии одного миллиона километров друг от друга, отталкиваются с силою, равною весу двадцатипяти миллионов килограммов. Если бы один из них находился на земле, а другой на солнце (расстояние 140 миллионов километров), то сила их взаимного отталкивания равнялась бы весу 1200 килограммов или 75-ти пудов. Даже если бы один грамм находился на солнце, а другой на отдаленнейшей из известных нам планет, на Нептуне, находящемся на расстоянии 4500 миллионов километров от солнца, то сила отталкивания превышала бы вес одного килограмма.

Величина электрона также ныне известна с удовлетворительной точностью. Полагая, что электрон имеет форму шара, мы можем сказать, что его диаметр примерно еще в пятьдесят тысяч раз меньше диаметра атома, который выше был указан. Надо расположить рядом двести пятьдесят тысяч миллионов электронов, чтобы получить нить длиною в один миллиметр. Но если расположить в один ряд те электроны, которые составляют вышерассмотренный «грамм электронов», то получится нить, которую можно было бы провести 14 раз от земли до солнца и обратно или 28 раз от земли до солнца и обратно или 28 раз от земли до солнца или от солнца почти до планеты Урана; длина этой нити равняется четырем тысячам миллионов километров.

Наука до сих пор не нашла никаких явлений, в которых можно было бы видеть намек на какое-либо «строение электрона». Много споров вызвал вопрос о том, может ли электрон под влиянием действующих на него сил менять свою форму. Некоторые ученые

считают электрон за тельце абсолютно твердое, то-есть ни при каких условиях не меняющее своей, вероятно шаровидной, формы. Однако, в настоящее время большинство ученых, повидимому, примкнуло к учению об электроне «деформирующемся», то-есть меняющем свою форму под влиянием действующих на него сил. Так, напр, электрон может сплюснуться, вроде того, как пустой резиновый шар сплющивается, если его сдавить с двух сторон. При определенных условиях электрон может так сильно сплюснуться, что принимает почти вид круглой пластиночки, которая по середине несколько толще, чем по краям.

Все сказанное относится к электричеству отрицательному, которое и состоит из электронов. Современная наука предполагает существование также и положительного электричества, действия которого противоположны действиям электричества отрицательного. Однако, нам не известны такие явления, при которых можно было бы с достоверностью утверждать наличность свободных частиц положительного электричества, между тем как потоки свободно движущихся отрицательных электронов несомненно играют главную роль в целом ряде физических явлений; сюда относятся, напр., электрический ток, катодные лучи, лучи (бета) радиоактивных веществ и другие явления, которые мы рассмотрим впоследствии. Неизвестно, существуют ли положительные электроны и обладает ли положительное электричество, вообще, атомным строением. Тем не менее говорят об «элементарном количестве» положительного электричества, подразумевая количество, которое производит такое же действие, как один электрон, но, конечно, направленное в противоположную сторону. Если мы имеем собранные в одном месте, напр., десять электронов и такой заряд положительного электричества, который равен десяти элементарным количествам, то они все вместе взятые, представляют нечто «нейтральное», то-есть не проявляющее никаких электрических сил в окружающем пространстве. Но отсюда вовсе не следует, что этот заряд положительного электричества состоит из десяти, самостоятельно существующих частей, аналогичных десяти отрицательным электронам. Во главе, посвященной современному учению о строении атома, мы ближе познакомимся с тою ролью, которую наука ныне приписывает положительному электричеству, и тут мы увидим ту глубокую, принципиальную разницу, которая существует между основными свойствами, характеризующими два рода электричества.

Нам необходимо указать еще на одно свойство электронов. Действие электрического тока на магнитную стрелку (стр 20) показывает, что движущиеся электроны вызывают в окружающем пространстве магнитные силы. Мы можем сказать, что покоющиеся электроны вызывают в окружающем пространстве электрические силы, а движущиеся электроны, кроме того, еще и магнитные силы. К этому вопросу мы еще возвратимся.

§ 5. Заключение. На стр. 45 было сказано, что ознакомление с атомами, молекулами и электронами представит первый пример, показывающий до какой глубины лучи науки проникают в мир закулисных явлений, ярко освещая то, что для нас оставалось бы покрытым вечным мраком, если бы нам пришлось ограничиться тем, что перед нами непосредственно раскрывают наши органы чувств. Читатель наверное согласится, что предыдущие строки оправдывают наши слова. Мы познакомились с миром невообразимо малых атомов, из которых пять миллионов располагаются на длине одного миллиметра, и электронов, которые еще в пятьдесят тысяч раз меньше. И мы видим, что наука не только доказала существование молекул, атомов и электронов и определила их размеры, но весьма точно указала их массу, то-есть то их число, которое составляет один грамм, а также для электронов величину тех сил, которые между ними действуют. А в последней главе мы увидим, что физика еще гораздо глубже проникла в этот скрытый от нас мир, разгадав тайну строения атомов. Ясно, что в этом направлении физика блестяще выполнила свою задачу — утолить ту жажду познания, к которому стремится мыслящее человечество.

ГЛАВА IV.

СОХРАНЕНИЕ МАСС И СОХРАНЕНИЕ ЭНЕРГИИ.

§ 1. Введение. В предыдущей главе мы познакомились с первым примером таких открытий физики, которые, по предположению, относятся к чему то реально существующему. Атомы, молекулы и электроны — это особого рода тела, которые мы более или менее ясно можем себе представить, хотя они, по чрезвычайной малости своей, непосредственному наблюдению подвергнуты быть не могут. Наука дает настолько многочисленные, разнообразные и неопровержимые доказательства их существования, что должны исчезнуть всякие сомнения относительно их реальности. В дальнейшем мы встретимся еще с другими случаями, где глубокие познания, преподнесенные физикой человечеству, будут относиться к реально существующим, определенным телам или к их свойствам или, наконец, к разным явлениям, которые происходят при строго определенных условиях. Все подобного рода познания, добытые наукой, несомненно представляют огромный интерес и имеют большое, иногда даже решающее значение при построении правильного миропонимания. Однако, наука подарила нам еще и совсем другого рода познания, имеющие более отвлеченный характер, так как они относятся не к каким-либо специальным свойствам вещества или к определенным явлениям, но как бы охватывают собою всю совокупность физических явлений, то-есть все, что происходит в доступной нашему наблюдению части вселенной. Здесь идет речь о мировых законах, властно господствующих над всеми явлениями, которые им строго подчиняются; здесь мы имеем дело с истинами, наиболее глубокими, наиболее поразительными и наиболее соответствующими нашему стремлению к познанию. Наука раскрыла нам три таких основных мировых закона или, как их еще называют принципа, а именно принцип сохранения масс, принцип сохранения энергии и принцип эволюции мира. Из них последние два, которые еще известны под названиями первого Начала и второго Начала, всецело принадлежат физике. В этой главе мы рассмотрим первые два принципа. Третий принцип мы изложим в

особой главе и тогда мы увидим, что его открытие и раз'яснение является одним из величайших творений человеческого гения и что содержащаяся в нем истина более какой-либо другой расширяет наши познания, охватывая все глубины пространства и времени.

§ 2. Закон или принцип сохранения масс. Всякое тело обладает определенной, присущей ему массой, не меняющейся, куда бы это тело не было перенесено. Строго научное понятие о массе можно получить следующим образом. В механике существует основной закон инерции, по которому тело, вполне предоставленное самому себе, то-есть не подвергнутое влиянию внешних сил, может либо находиться в покое, либо двигаться по прямой линии и притом равномерно, то-есть с неизменною скоростью. Под влиянием внешних сил, тело от покоя может перейти к движению или изменить скорость своего движения. Если одна и та же сила последовательно действует на разные тела, то оказывается, что эти тела получат в заданное время весьма неодинаковые измения скорости; а чтобы различные тела получили одинаковое изменение скорости, на них должны действовать весьма различные по величине силы. Чем больше эта сила, тем больше, говорим мы, масса тела. Если мы, напр., желаем скорости движения двух тел в течение одной минуты одинаково увеличить, и для этого на первое тело должна действовать одна сила, а на второе тело другая сила, которая в 10 раз больше, то мы говорим, что масса второго тела в десять раз больше чем масса первого. За единицу массы принимается масса одного кубического сантиметра чистой воды при 4^0; она называется «грамм». Вес этого количества воды также называется «грамм», о чем нельзя не пожалеть, так как это может повести к различным недоразумениям, для избежания которых нередко приходится писать «грамм-масса» и «грамм-вес», чтобы точно определить о чем идет речь. Если различные тела взвешивать в одном и том же месте, то оказывается, что вес тел пропорционален их массе, так что тело, которого масса равна, напр., 10-ти граммам или 15-ти килограммам (единицы массы), обладает и весом в 10 граммов или в 15 килограммов (единицы веса). Тем не менее существует весьма глубокая разница между массою тела и весом тела. Как уже было сказано, масса присуща данному телу и не зависит от места, где оно находится, или иных внешних обстоятельств. Напротив, вес является чем то случайным, вызванным внешним обстоятельством, а именно близостью земного шара, притягивающего тела к себе, вследствие чего они производят давление на другие тела, на которых они лежат и которые им мешают приблизиться к земле; этим давлением и определяется вес тел. Однако, вес в высокой степени зависит от места, где находится тело. На поверхности земли вес зависит от географической широты места; чем дальше от экватора, тем больше вес тела, что находится в связи с не вполне

шаровидной формой земли В данном же месте вес тела зависит от высоты его положения над поверхностью земли. Стоит только перенести тело из одного этажа дома в выше лежащий, чтобы его вес уменьшился на величину, которую удавалось определить точными измерениями На вершине высокой горы вес меньше, чем близ поверхности океанов. На луне вес гораздо меньше, чем на земле, а на Юпитере и особенно на солнце вес много раз больше. Перенесенное в междузвездное пространство тело может не иметь никакого или почти никакого веса. Масса же тела одна и та же на всех широтах, на всех высотах и вообще во всех местах вселенной. Чтобы быть то́чным, условились считать, что масса-грамм обладает весом-грамм, когда она находится на уровне океана и на 45^0 северной широты. Заметим, что все наши гири суть меры масс и что при всех взвешиваниях, мы, собственно говоря, определяем не вес, а массу различных тел, если при этом пользуемся гирями (а не пружинными весами).

Принцип сохранения масс говорит, что общая масса произвольного числа тел не меняется, какие бы между этими телами не происходили физические или химические явления, полагая, конечно, что эти тела не отдают часть вещества внешним телам и от них не получают вещества Иначе выражаясь: материя не создается и не исчезает; она сохраняется неизменной. При всевозможных явлениях мы имеем дело с переменой расположения атомов, группировка которых меняется. Весьма тщательные исследования Ландольта (Landolt), подтвердившего, что при химических реакциях не меняется масса тел, уже были упомянуты на стр. 24.

§ 3. Работа и энергия. Познакомимся, прежде всего, с понятием о работе, которым пользуются в механике. Оно довольно простое: мы говорим, что производится работа, когда преодолевается какое-либо сопротивление. Приведем примеры таких явлений или, как еще говорят — таких процессов, при которых какие-либо силы совершают работу. Простейший пример представляет поднятие груза; чем тяжелее груз и чем выше его поднимают, тем больше совершаемая при этом работа. Из этого примера берется и единица работы, килограммометр, равный работе, которую надо совершить, чтобы поднять один килограмм на высоту одного метра; чтобы поднять 10 килограммов на высоту 6-ти метров, необходимо затратить работу в 60 килограммметров. Работа совершается, когда тело движется, преодолевая сопротивление воздуха или воды или сопротивление трения, напр., в осях колес, а также когда одно тело скользит или катится по поверхности другого. При сгибании, сжатии, растягивании или скручивании стержня или пружины производится работа против внутренних сил, действующих между частицами твердого вещества и сопротивляющихся всякому изменению расположения этих частиц;

особенно велика может быть работа при разрыве или при разломе тела. При плавлении твердого тела и, в особенности, при испарении жидкости также совершается работа против внутренних сил, сопротивляющихся тому раз'единению частиц, которое сопровождает всякое плавление и испарение. При химическом разложении вещества приходится, в большинстве случаев (но не всегда), произвести работу отделения друг от друга тех атомов, которые входят в состав молекулы сложного тела и в ней тесно связаны так называемыми силами химического сродства. Наука дает нам вполне точные указания величины этой внутренней работы. Чтобы разложить один грамм воды, то-есть во всех молекулах этой воды оторвать друг от друга атомы кислорода и водорода, необходимо произвести работу в 1600 килогр.-метров, то-есть такую работу, как при поднятии 16-ти килограммов на высоту 100 метров (один пуд на высоту 47 сажен). Чтобы разрушить все молекулы одного грамма углекислого газа, то-есть в каждой их них оторвать друг от друга атом углерода и два атома кислорода, входящие в состав этих молекул, необходимо произвести работу в 935 килогр.-метров Наука и здесь проникла еще глубже: оказалось, что для отрывания сперва одного атома кислорода из всех молекул надо произвести работу в 655 килогр -метров, между тем как отрывание второго атома кислорода потребует работу всего в 280 килогр.-метров. Чтобы разложить один грамм поваренной соли на натрий и хлор, необходимо затратить 710 килогр.-метров работы.

Если скорость движения тела под влиянием каких-либо сил увеличивается, то этими силами также производится работа, ибо преодолевается «сопротивление инерции», то-есть стремление тела сохранить свою скорость. Работа производится еще в том случае, когда удаляют друг от друга два тела, которые взаимно притягиваются, напр., два разноименных (южный и северный) полюса двух магнитов или два разноименно (положительно и отрицательно) наэлектризованных тела, а также, когда приближают друг к другу два тела, которые взаимно отталкиваются, напр., одноименные магнитные полюсы или одноименно наэлектризованные тела. Заметим, что работа поднятия груза есть частный случай удаления друг от друга двух взаимно притягивающихся тел (земной шар и груз).

Переходим к вопросу об энергии. Совокупность двух или большего числа тел мы в дальнейшем будем называть системою тел. Самое поверхностное наблюдение обнаруживает нам, что окружающие нас тела или системы тел во многих, и притом весьма разнообразных случаях обладают способностью произвести работу. Если тому встретится случай, то-есть возможность или необходимость преодолевать какие-либо сопротивления, то тело или система действительно и будут производить работу. Таким образом ясно, что способность произвести работу и фактическое производство

далеко не одно и то же. Тело или система могут беспредельно сохранить свою работоспособность, без того, чтобы какая-либо работа действительно была бы ими совершена.

Способность произвести работу называется энергией. Если тело или система работоспособны, то мы говорим, что они обладают энергией.

Если такое тело или такая система фактически производят работу, то их энергия, то-есть дальнейшая работоспособность уменьшается и может дойти до полного истощения. Это дает нам возможность говорить о запасе энергии, которым обладает тело (или система), и который остается неизменным, пока на его счет не производится никакой работы, но тратится, постепенно расходуется, когда работа фактически совершается, так что в конце концов весь запас энергии может исчезнуть. Мы это подтвердим на том перечне различных видов энергии, к которому мы приступаем. Величина запаса энергии определяется всею тою работою, которая на ее счет может быть совершена.

Наблюдение показывает, что энергия, то-есть работоспособность проявляется в весьма различных видах или формах и не известно, все ли существующие виды энергии открыты человеком. Далее обнаруживается, что все виды энергии могут быть разделены на две группы. К первой принадлежат все виды энергии кинетической, ко второй все виды энергии потенциальной, эти две группы мы рассмотрим отдельно.

I. Энергия кинетическая, которая еще называется энергией явной или энергией движения. Во всех видах энергии кинетической мы имеем дело с чем-либо находящемся в движении; это движение и является условием наличности энергии, то-есть способности производить работу, преодолевать какие-либо сопротивления. Сюда относятся следующие виды энергии:

1. Энергия движущегося целого тела. Совершенно очевидно, что всякое движущееся тело может, благодаря своему движению, преодолевать встречаемые им сопротивления и, следовательно, обладает запасом энергии. Пушечный снаряд пробивает корабельную броню, но и легкое, медленно движущееся тело может произвести некоторую, хотя и весьма малую работу, напр., прорвать паутину. Текущая вода и ветер, вращающееся маховое или мельничное колесо, мчащийся поезд представляют дальнейшие примеры. Когда движущееся тело совершает работу, то скорость его движения непременно уменьшается, а вместе с нею и его запас энергии, который будет весь использован, когда тело остановится. Оказывается, что запас энергии движущегося тела пропорционален массе тела и квадрату его скорости. При одинаковой скорости, удвоенная масса обладает удвоенной энергией, а при заданной массе энергия увеличивается, напр., в 4, 9 или 100 раз, когда скорость увеличивается в 2, 3 или 10 раз.

2. Энергия тепловая. В следующей главе мы подробнее познакомимся с современным взглядом на сущность теплоты. Здесь мы должны ограничиться указанием, что теплота, содержащаяся в данном теле, есть кинетическая энергия движений атомов, молекул, а может быть и свободных электронов, входящих в состав тела. Чем быстрее происходят эти движения, тем выше температура тела. Что теплота есть вид энергии явствует из того, что, напр., все паровые машины производят свою колоссальную работу на счет теплоты, которая из топки передается пару в котле. Когда производится работа, происходит уменьшение запаса тепловой энергии, то-есть часть теплоты исчезает; она затрачена на работы. Точные опыты показали, что горячий пар, двигая поршень в цилиндре паровой машины, охлаждается.

Опыты (1842) английского ученого Джуля (Joule, 1818—89), а также многих других, показали, какое количество тепловой энергии должно быть затрачено при производстве определенной работы, и вот что оказалось. То количество теплоты, которое необходимо, чтобы один грамм воды нагреть на один градус, называется малою калорией, а то количество, которое нагревает один килограмм воды на один градус, и которое очевидно в 1000 раз больше — большою калорией. Оказалось, что, затрачивая одну большую калорию, можно получить 426 килогр.-метра работы; это значит, что та теплота, которая нагревает 1 кгр. воды на 1^0, могла бы эту же воду поднять на высоту 426 метров (230 сажен). Говорят, что 426 кгр.-м. эквивалентны одной большой калории; число 426 кгр.-м. называется механическим эквивалентом теплоты.

3. Энергия лучистая. Ей будет посвящена вся глава VI. Здесь мы только заметим, что к различным видам лучистой энергии относятся, напр., видимый свет, лучи Рентгена и те электрические лучи Герца, которыми пользуются при телеграфии без проводов; кроме этих трех, существуют еще два вида лучистой энергии, а именно лучи инфракрасные и ультрафиолетовые, с которыми мы также познакомимся впоследствии.

4. Энергия электрического тока. Что электрический ток работоспособен, доказывается трамваем и разного рода другими сооружениями, в которых действуют электрические двигатели. Отсюда следует, что этот ток обладает энергией, которая заключается в энергии движения электронов внутри проводника (проволоки). Когда ток производит работу, его сила уменьшается; часть движения исчезает, затрачиваясь на работу.

II. Энергия потенциальная, которая еще называется энергией скрытой или энергией положения. Во всех видах потенциальной энергии мы имеем дело с совокупностью двух тел, которые взаимно притягиваются, то-есть стремятся

приблизиться друг к другу, или взаимно отталкиваются, то-есть стремятся удалиться друг от друга Вместо двух тел, в обычном смысле слова, мы здесь можем иметь дело с двумя молекулами, двумя атомами или двумя электронами Притягиваясь или отталкиваясь, два тела приходят в движение и при этом очевидно могут совершать работу, хотя бы увлекая с собою один конец каната, обвернутого вокруг вала, который при этом вращается, приводя в движение какие угодно станки, под'емные машины и т. д. Отсюда ясно, что такие два тела, оставаясь неподвижными на своих местах, обладают, однако, способностью производить работу, то-есть энергией, которая и называется энергией потенциальной или скрытой, в отличие от прежде рассмотренной, где наличие движения делает работоспособность явной, то-есть непосредственно заметной. Там энергия принадлежала одному телу, одной молекуле, одному атому, одному электрону (см глава V); здесь энергией обладают два тела. Там величина запаса энергии зависела, кроме массы тела, прежде всего от его скорости Здесь величина энергии существенно зависит от положения тел, напр, от их расстояния друг от друга. Если тела притягиваются, то запас потенциальной энергии очевидно тем значительнее, чем дальше они находятся друг от друга, то-есть чем длиннее тот путь, при прохождении которого сила их взаимного притяжения может преодолевать всякого рода сопротивления и, следовательно, производить работу. Если тела приблизятся до взаимного соприкосновения, то рассматриваемая потенциальная энергия сделается равною нулю. Такие два тела обладают максимальною работоспособностью, когда они удалены друг от друга на столь огромное расстояние, что их взаимодействие перестает быть заметным. Когда два тела отталкиваются, то запас потенциальной энергии оказывается тем значительнее, чем ближе они находятся друг к другу, то-есть чем больше тот путь, вдоль которого действующая между ними отталкивательная сила может производить какую-либо работу. Наибольшею энергией обладают такие два тела, если они сближены до взаимного соприкосновения. Их потенциальная энергия равна нулю, когда они настолько удалены друг от друга, что их взаимодействие перестает быть заметным.

И здесь, во всех случаях, подтверждается, что всякое фактическое производство работы неразрывно связано с уменьшением запаса энергии. Действительно, притягивающиеся тела могут производить работу только, приближаясь друг к другу, а отталкивающиеся тела — только удаляясь друг от друга. В обоих случаях, как мы видим, запас энергии уменьшается и может вполне истощиться, если, в первом случае, тела дойдут до взаимного соприкосновения, а во втором — тела удалятся друг от друга на весьма большое расстояние. Из всего вышеизложенного вполне выясняется правильность названия «энергия положения». Рассмотрим различные виды потен-

циальной энергии, при этом мы будем продолжать начатую нумерацию вообще всех видов энергии.

5. Потенциальная энергия тел, притягивающихся силой всемирного тяготения. Ньютон (Newton, 1643—1727) показал, что все тела взаимно притягиваются. Сила притяжения прямо пропорциональна произведению масс двух притягивающихся тел и обратно пропорциональна квадрату их расстояния. Это вот что означает: если мы, не меняя расстояния двух тел, увеличили массу одного из них в 3 раза и массу другого в 5 раз, то притяжение между телами увеличится всего в 15 раз. А если мы, не меняя масс двух тел, увеличим их расстояние в 2,5 или 10 раз, то их взаимное притяжение уменьшится в 4,25 или 100. Солнце притягивает землю и все планеты и кометы; планеты притягивают своих спутников и в том числе земля — луну. Земля притягивает все тела, находящиеся на ее поверхности. Эти тела также взаимно притягиваются, но сила притяжения в этом случае так слаба, что только при помощи сложных и весьма «чувствительных» приборов удалось не только обнаружить эту силу, но и измерить ее величину в некоторых частных случаях; так, напр., Корню (Cornu, 1841—1902) производил (1870—1878) измерение притяжения между массой ртути в виде шара, радиус которого равнялся 12 сантиметрам, и маленьким медным шариком, весившим 109 граммов.

Ясно, что солнце и одна из планет, напр., земля, вместе взятые, или земля и луна, вместе взятые, обладают огромным запасом потенциальной энергии. Земля и какое-либо тело, приподнятое над ее поверхностью, вместе взятые, также обладают запасом потенциальной энергии, который тем больше, чем больше масса тела и чем оно выше поднято. Часто говорят о потенциальной энергии приподнятого груза, что не вполне точно, так как этой энергией обладает не груз сам по себе, но лишь в совокупности с землею. Приподнятый груз может совершать работу только опускаясь вниз, при чем его запас энергии очевидно уменьшается; запас дойдет до нуля, когда тело опустится до поверхности земли. Гири в часовых механизмах могут служить примером.

Потенциальная энергия двух тел, размеры которых не очень велики, чрезвычайно мала. Приведем один пример. Вообразим два шара из материала, который был бы в 10 раз тяжелее воды (медь в 9 раз, свинец в 11,4 раза тяжелее воды). Радиус каждого шара примем равным двум метрам, так что диаметр каждого шара равен почти двум саженям. Наибольшая их потенциальная энергия, которою эти шары обладают, находясь весьма далеко друг от друга, всего равна приблизительно одной трети килограмм-метра, и это вся та работа, которую шары могут произвести, приближаясь от большого взаимного расстояния до такого, при котором они соприкасаются своими поверхностями. Между тем каждый из этих двух шаров весит около 330.000 килограммов. Об'ясняется это ма-

лостью силы притяжения. когда шары касаются друг друга, так что их центры находятся на расстоянии двух радиусов, то-есть 4 метров друг от друга и сила их взаимного притяжения наибольшая какая только может быть, то эта сила оказывается всего равною весу 50 граммов. Если центры шаров находятся на расстоянии 40 метров друг от друга, то шары притягиваются с силою, равною весу полуграмма (около 0,1 золотника); и это не смотря на громадность — в обычном смысле слова — шаров, весящий каждый 330.000 килограммов (около 21 000 пудов).

6. Энергия положения однородных частиц. Между частицами твердого, а также между частицами жидкого тела действуют особого рода силы, которые называются молекулярными или частичными силами. Эти силы удерживают частицы вещества в определенных друг от друга расстояниях и сопротивляются, как взаимному удалению, так и взаимному приближению частиц. В первом случае частицы, под влиянием этих сил, стремятся сблизиться, как если бы они взаимно притягивались; во втором случае они стремятся удалиться друг от друга, как если бы они взаимно отталкивались. Отсюда следует, что всякое изменение расположения частиц, при котором меняется их взаимное расстояние, должно сопровождаться возникновением запаса потенциальной энергии, которая расходуется, когда происходит восстановление прежнего нормального расположения. Здесь возможны разные случаи, из которых мы рассмотрим только три.

а) Потенциальная энергия упруго-измененного (деформированного) твердого тела (пружины). Если мы твердое тело, напр., пружину, смотря по ее форме, сожмем, растянем, согнем или скрутим (спиральные часовые пружины), то она приобретает способность произвести работу; в ней возникает запас энергии, очевидно потенциальной, как результат деформации, то-есть изменения расположения частиц. Пружина может работать только если она разжимается, сокращается, разгибается, или раскручивается, при чем запас энергии уменьшается; он доходит до нуля, когда деформация исчезает, то-есть пружина вновь принимает свою нормальную форму.

б) Потенциальная энергия жидкости, возникающая при плавлении твердого тела. Когда твердое тело плавится, переходя в состояние жидкое, очевидно происходит изменение распределения частиц, или, как говорят, перемена структуры вещества. Молекулярные силы при этом уменьшаются При обратном затвердевании жидкости, молекулярные силы восстановляются и под их влиянием частицы переходят в то расположение, которое соответствует твердому состоянию вещества. При этом переходе совершается некоторая работа, результат которой мы укажем в следующей главе. Ясно, что частицы жидкости обладают запасом потен-

циальной энергии, которого у того же вещества в твердом состоянии не имеется.

в) Потенциальная энергия пара или газа, возникающая при испарении жидкости. Мы увидим, что все, без исключения, газы можно превратить в жидкое состояние. Отсюда следует, что все газы можно рассматривать, как пары соответствующих жидкостей. В газах частицы находятся далеко друг от друга и действующие между ними молекулярные силы весьма слабы и во многих случаях даже почти равны нулю. Когда газ, приближаясь к жидкому состоянию, сгущается, то-есть его частицы располагаются ближе и ближе друг к другу, то молекулярные силы начинают расти и под их влиянием частицы переходят в расположение, соответствующее жидкому состоянию вещества. И в этом случае производится работа внутренними силами, а это показывает, что газ или пар содержит запас потенциальной энергии, которого у того же вещества в жидком состоянии уже не имеется. Так как газ может перейти сперва в жидкое, а затем и твердое состояние, то ясно, что в нем должны заключаться оба запаса потенциальной энергии, которые мы только что рассмотрели.

Эти запасы энергии весьма значительны, как видно из следующего примера. Положим, что мы имеем один килограмм льда, который мы переведем сперва в один килограмм воды, при 0^0, а затем в один килограмм водяного пара также при 0^0. Оказывается, что при переходе из твердого состояния в жидкое наш килограмм вещества приобретает потенциальную энергию, при затрате которой могли бы быть совершены 34 000 килограмм-метров работы. Еще удивительнее, что при переходе жидкого в газообразное состояние наш килограмм приобретает такой огромный запас потенциальной энергии, который соответствует работе в 258.000 килограмм-метров. Всего же в одном килограмме водяного пара при 0^0 содержится способность произвести 292.000 килограмм-метров работы при переходе сперва в жидкое, а затем в твердое состояние без изменения температуры. Здесь идет речь только о потенциальной энергии положения частиц, которую не следует смешивать с тою кинетическою тепловою энергией нагретого пара, которая является источником работы паровых двигателей.

7. Энергия положения разнородных частиц. Энергия химическая. Атомы простых тел могут соединяться между собою, образуя молекулы сложных тел. Молекулы двух различных тел также могут соединяться, образуя более сложные молекулы; две группы атомов, взятые из двух различных молекул, могут соединиться между собой. В огромном большинстве случаев (но не во всех) силы химического сродства заставляют атомы или группы атомов сближаться, при чем производится иногда весьма значительная работа. Отсюда следует, что атомы, способные химически соединяться, обладают запасом энергии, которая может служить источ-

ником работы, когда химическое соединение веществ фактически происходит. Эта энергия называется химической; она очевидно потенциальная, ибо зависит от положения разнородных атомов. Она существует, пока вещества, могущие химически соединяться, отдалены друг от друга, но она оказывается израсходованной, когда атомы, иначе расположившись, образуют молекулы химического соединения. Приведем два примера.

Положим, что в одном из двух сосудов находятся два грамма водорода, а в другом — 16 граммов кислорода. Эти два газа обладают запасом потенциальной химической энергии, которая соответствует работе в 29 000 килограмм-метров; эта работа производится, когда атомы водорода и кислорода, изменив свое расположение, образуют молекулы водяного пара, содержащие, каждая, один атом кислорода и два атома водорода.

Теперь положим, что в одном сосуде находятся 12 граммов угля, а в другом 32 грамма кислорода. Совокупность этих двух сосудов содержит запас потенциальной химической энергии, которая может дать 41.000 килограмм-метров работы, когда уголь соединяется с кислородом (сгорает), при чем один атом углерода и два атома кислорода образуют одну молекулу углекислого газа. Потенциальной химической энергией угля и кислорода мы пользуемся для производства работы при помощи паровых двигателей.

8. Энергия электростатическая. Одноименные электрические заряды взаимно отталкиваются, разноименные притягиваются Поэтому наэлектризованные тела обладают потенциальной энергией, которая и называется электростатической. Разряжая лейденскую банку, можно пробить толстое стекло; всем известно, какою огромною работоспособностью обладает заряд атмосферного электричества; она проявляется при разряде, то-есть при молнии, чисто механические действия которой так часто приходится наблюдать.

9. Энергия магнитная. Одноименные полюсы двух магнитов взаимно отталкиваются, разноименные — притягиваются. Поэтому совокупность двух магнитов обладает особым видом потенциальной энергии, которая называется энергией магнитной.

Мы кончили обзор различных видов энергии, как кинетической, так и потенциальной. Все они могут быть затрачены на производство работы, при чем часть их, соответствующая произведенной работе, исчезает. Затраченная энергия и полученная при этом работа называются эквивалентными, это относится ко всем видам энергии, а не только к энергии тепловой, для которой мы уже ввели этот термин (стр. 63). Два запаса энергий разных видов также называются эквивалентными, или даже просто равными, если при их затрате получается одинаковая работа, напр., одинаковое число килограмм-метров. Из девяти видов энергии, с которыми мы познакомились, можно сделать 36 комбинаций по

два вида, и в каждой такой комбинации мы можем говорить об эквивалентных или равных запасах энергий двух взятых видов. Так, напр., могут быть эквивалентны два запаса энергии, из которых одна — кинетическая энергия движущегося тела, другая — энергия упруго-измененного тела, или одна — энергия тепловая, другая энергия электрического тока; или одна — энергия лучистая, другая — энергия химическая и т. д — всего, как сказано, 36 возможных комбинаций. Можно выразиться несколько иначе· чтобы при помощи каждого из девяти видов энергии произвести одинаковую работу, надо затратить из имеющихся запасов эквивалентные количества энергий каждого из этих видов.

§ 4. Закон или принцип сохранения энергии. Мы видели, что всякое производство работы совершается за счет запаса энергии одного из девяти видов, при чем эквивалентное этой работе количество энергии затрачивается, то-есть исчезает. Все изложенное является результатом тщательных наблюдений окружающих нас явлений. Теперь мы перейдем к другому, не менее интересному и важному результату тех же наблюдений Оказывается, что результатом всякой произведенной работы оказывается возникновение эквивалентного ей запаса энергии какого-либо вида. Для выяснения этого фундаментального закона достаточно перебрать те случаи производства работы, которые были нами перечислены в начале § 3-его (стр. 60), и показать какой вид энергии при этом получается. При поднятии груза получается в результате потенциальная энергия приподнятого груза. Когда тело движется, преодолевая сопротивление среды, получается энергия движения этой среды; когда преодолевается трение — получается теплота. Работа при сжатии, растяжении, сгибании и скручивании твердого тела дает потенциальную энергию упруго-измененного тела (напр., пружины). Работа, произведенная при плавлении и при испарении дает ту потенциальную энергию жидкости или пара, которая была рассмотрена на стр. 66, 67. Работа, произведенная при химическом разложении сложного вещества, дает химическую энергию полученных при этом более простых веществ. Если работа тратится на преодолевание инерции тела, скорость которого при этом увеличивается, то в результате получается увеличение запаса кинетической энергии движения этого тела. Если произвести работу удаления друг от друга двух взаимно притягивающихся тел, или приближения друг к другу двух взаимно отталкивающихся тел, то в обоих случаях получается увеличение запаса потенциальной энергии этих тел. Надо произвести работу, чтобы наэлектризовать или намагнитить тела, при чем получаются запасы электростатической или магнитной энергии. И всякий раз оказывается, что вновь возникший запас энергии с точностью эквивалентен той работе, которая при этом была затрачена.

Соединяя этот результат с тем, который был найден в преды-

дущем параграфе, мы получаем такую картину: работа совершается исключительно только насчет эквивалентного ей количества энергии какого-либо вида, которая при этом исчезает; как результат работы получается опять эквивалентное ей количество энергии, вообще говоря, какого-либо другого вида. Понятно, что исчезнувшая энергия и вновь возникшая, как эквивалентные одному и тому же количеству работы, также эквивалентны друг другу или, проще говоря, количественно равны между собою. Мы видим, что вместо каждого исчезнувшего количества энергии непременно появляется равное ему количество энергии того же, или какого-либо другого вида. Это заставляет нас смотреть на работу, как на промежуточное звено, весьма часто даже ускользающее от поверхностного наблюдения, и считать наиболее существенным фактом исчезновение одной энергии и появление другой в равном количестве. Это дает нам право говорить о переходе или превращении одного вида энергии в другой, при чем общее количество энергии остается неизменным. Рассматривая окружающие нас разнообразнейшие явления, мы убеждаемся, что все они существенно сводятся к непрерывным и разнообразным превращениям одного вида энергии в другой, который затем может превратиться в третий, этот — в четвертый и т. д. При всех этих превращениях энергия не создается вновь и не исчезает бесследно. Энергия вечна и не разрушима, как и материя; ее полное количество сохраняется неизменным. В этом и заключается закон или принцип сохранения энергии: энергия не исчезает и не образуется вновь; но энергия одного вида может перейти в эквивалентное количество энергии другого вида. Назовем замкнутой системой такую совокупность тел, которая не отдает энергии внешним телам и от них энергии не получает. Тогда мы можем иначе выразить принцип сохранения энергии: энергия замкнутой системы сохраняется неизменной, какие бы процессы внутри этой системы ни происходили. Закон сохранения энергии, по своему характеру, весьма существенно отличается от закона сохранения масс, рассмотренного в § 2. Этот последний закон учит нас, что мельчайшие составные части материи неразрушимы и что они при всевозможных физических и химических явлениях только перемещаются в пространстве, только меняют свое расположение, свою группировку. Совершенно иное мы наблюдаем относительно энергии. Здесь мы непрерывно наблюдаем исчезновение и возникновение энергии, но они всегда происходят одновременно, так что исчезновение одного вида энергии сопровождается возникновением энергии того же или иного вида. Сохранение масс относится ко всякому виду материи отдельно взятой, сохранение энергии — только к более общему понятию, то-есть к сопокупности всех видов энергии, при-

сущих замкнутой системе. Аналогия между двумя законами была бы полная, если бы, напр., все виды материи, то-есть элементы могли бы непрерывно превращаться друг в друга, при чем масса оставалась бы постоянной, или если бы наоборот, каждый отдельный вид энергии был бы неразрушим.

Как сказано, все явления окружающего нас мира, всегда содержащие в себе признак какого-либо совершающегося изменения, существенно сводятся к превращениям одного вида энергии, принадлежащего одной системе тел (или одному телу), в другой вид, появляющийся на другой системе. Первая производит работу, тратя свою энергию; вторая система, в которой накопляется энергия, оказывается об'ектом, над которым внешний мир совершает работу, преодолевая исходящее от нее сопротивление. В этом случае условились говорить, что вторая система производит отрицательную работу.

Мы, видим, что принцип сохранения энергии, господствуя над всеми физическими явлениями, кладет на них свою особую печать строгой закономерности: возникающая энергия должна быть с точностью эквивалентна исчезнувшей Таким образом, этот великий, мировой принцип учит нас, что мир, то-есть доступная нашему наблюдению часть вселенной, не есть хаос, но есть мир, в котором царствует определенный порядок, определенная строгая закономерность.

Познание этой великой истины дала физика, сумевшая вылить ее в простую и удобопонятную форму.

Из принципа сохранения энергии вытекает, как следствие, неопровержимое доказательство невозможности перпетуум мобиле (perpetuum mobile), то-есть такой машины, которая непрерывно производила бы работу без того, чтобы к ней притекали свежие запасы энергии. К несчастью все еще находятся люди, которые, не поняв в чем дело, тратят время, силы и средства, стремясь изобрести прибор, который бы вечно двигался, забывая о главном — о непрерывном производстве работы. Машина, которая бы вечно двигалась, не производя никакой работы, была бы бесполезной игрушкой; но на земле даже и такая игрушка неосуществима, ибо нельзя добиться такого движения, которое, на земле, не встречало бы сопротивления воздуха и разного рода трения, на преодолевание которых постепенно затрачивался бы имеющийся запас энергии движения. Прибор, который давал бы работу «из ничего», называется перпетуум мобиле первого рода, в отличие от перпетуум мобиле второго рода, с которым мы познакомимся в последствии.

Мы видели, что принцип сохранения энергии относится ко всякой замкнутой системе. Размеры этой системы могут быть мысленно увеличены сколько угодно при условии отсутствия обмена энергии между нею и остальным миром. Мысленно мы можем увеличить ее настолько, что она, напр, обхватит Млечный путь и даже

отдаленнейшие туманные пятна и потому допустимо выражение принципа словами «энергия мира постоянна», если под миром подразумевать наш астрономический мир, то-есть ту часть вселенной, которая доступна нашему наблюдению. Но совершенно недопустимо приложение принципа постоянства полного запаса энергии в замкнутой системе, ко вселенной, то-есть к той совокупности всего существующего, ничтожно малую часть которой составляет наш астрономический мир; особенно это относится к случаю, если принимать вселенную «бесконечно» большой, то-есть удовлетвориться этими словами, которые, в сущности, ничего не выражают и в которых мы напрасно стали бы искать ясно воспринимаемого смысла. О вселенной мы ничего не знаем, свойства ее нам неизвестны и может быть они лежат вне пределов разумения человека; поэтому всякие рассуждения о постоянстве общей суммы материи или общей суммы энергии во вселенной являются праздными и в высокой степени ненаучными. Вселенная ни в каком случае не должна быть предметом естественно-исторических исследований и прилагать к ней законы физики нельзя. Человек может гордиться тем, что ему удалось открыть великий мировой закон, которому подчиняются все явления мира, доступного нашему наблюдению. Но этим он должен скромно ограничиться и не переходить в такую область, в которой на место строгой богини-науки становится легкомысленная фантазия, которая никогда не даст человеку того, что он жаждет, новых познаний, нового, хотя бы и только вероятного приближения к истине.

Из принципа сохранения энергии следует, что непрерывная цепь следующих друг за другом физических явлений может быть развернута в также непрерывную цепь последовательных превращений запасов энергии из одного вида в другой, из другого в третий и т. д. Весьма интересно и поучительно прослеживать такие цепи все дальше и дальше, и притом в обе стороны, то-есть как вперед, так и назад. При этом мы, идя вперед, постоянно должны себя спрашивать «во что превращается такая-то энергия», до возникновения которой мы проследили нашу цепь; идя назад, мы должны повторять вопрос «откуда возник такой-то вид энергии», до которого мы также проследили ту же цепь. Таким образом перед нами возникают два новых вопроса: где первоисточник тех запасов энергии, которые мы имеем перед собою на земной поверхности и в какой вид энергии, в конце концов, превращаются эти запасы. Рассмотрев большое число таких цепей, состоящих из последовательных превращений одного и того же запаса энергии, мы приходим к такому заключению: первоисточником почти всех запасов энергии на земной поверхности является та лучистая энергия, которая непрерывным потоком льется от солнца на землю. Ничтожную, сравнительно с нею, роль играют, как источники энергии, внутренняя теплота земли, весьма медленно проникающая

до ее поверхности, и связанные с нею извержения вулканов и землетрясения. Лучистая энергия солнца несомненно возникает на счет его тепловой энергии, так как солнце находится при высокой температуре, которую долгое время не удавалось определить сколько-нибудь достоверно. В недавнее время возник новый замечательный отдел пирометрии, которая, в отличие от обыкновенной термометрии, занимается измерением очень высоких температур. Этот отдел называется оптической пирометрией; он учит измерять температуры раскаленных тел путем исследования того света, который эти тела испускают Особые приборы, построенные для этой цели, дают возможность довольно точно измерить, напр., температуру внутри горна, температуру раскаленного или расплавленного металла, температуру пламени нити светящейся электрической лампочки и т. д. Прилагая эти новые методы к солнцу, можно было показать, что температура поверхностного слоя солнца находится около 6000°. Заметим, кстати, что эти же новые методы дали возможность определить температуры многих неподвижных звезд. В 1908 году появилась замечательная работа двух ученых Вильзинга (Wilsing, род. 1856) и Шейнера (Scheiner, 1858—1914), произведенная в астрофизической обсерватории в Потсдаме, недалеко от Берлина, определивших (1905—1907) температуры 109 неподвижных звезд Эти температуры оказались весьма различными; они колеблются между 3000° и 12.000°. К наиболее холодным из исследованных звезд относится звезда β в созвездии Андромеды, звезда α Ориона, звезда β Рака, звезда α Геркулеса и другие; к наиболее горячим звездам. звезда α Рыб, звезда λ Ориона, звезда γ Близнецов, звезды α, η и ϱ Льва, звезда ζ Боота (Волопаса), звезда ε и υ Геркулеса, звезда γ Лиры, звезда α Дельфина, звезда α Пегаса и др. Невообразимо далеки от нас неподвижные звезды, ничего от них до нас не доходит, кроме слабых лучей света. Но эти лучи рассказывают нам, какие вещества находятся на светящихся поверхностях этих небесных светил, какова там температура, с какою скоростью они к нам приближаются или от нас удаляются и, во многих случаях, даже какие у них имеются, темные или светлые, спутники и многое другое. И вот, наука сумела понять вещий язык этих лучей, многое узнать от них о беспредельно далеких от нас мирах и дать нам те познания, о которых люди мечтали в течение долгих тысячелетий, тщетно стремясь разгадать тайны звездного мира.

Возвращаясь к солнцу и желая цепь превращающихся друг в друга видов энергии проследить как можно дальше назад, мы должны теперь поставить вопрос об источнике тепловой энергии солнца. Эта энергия большею частью, а может быть и целиком, имеет своим источником потенциальную энергию масс, притягивающихся по закону всемирного тяготения (стр. 65) То вещество, из которого состоит солнце, занимало, по

мнению весьма многих ученых, когда-то огромное пространство в виде легкого тумана, в котором частицы находились далеко друг от друга сравнительно с тем, как они ныне расположены, образуя массу солнца. Такой туман разрозненных частиц, взаимно притягивающихся по закону всемирного тяготения, должен обладать невообразимо громадным запасом потенциальной энергии. Когда, под влиянием этого взаимного притяжения, частицы приближаются друг к другу, а весь туман постепенно сгущается, то потенциальная энергия начинает переходить сперва в кинетическую энергию движения частиц, а затем в энергию тепловую, или, что также возможно, непосредственно в эту последнюю Таким образом, сгущение разрозненной массы сопровождается непрерывным выделением теплоты, которая и довела всю массу до весьма высокой температуры, которая, вероятно, когда-то была еще гораздо выше температуры солнца в настоящее время. В течение огромного промежутка времени происходило постепенное дальнейшее сгущение до того об'ема, который ныне занимает солнце и за все это время возникала тепловая энергия насчет непрерывно уменьшающегося запаса потенциальной энергии притягивающихся масс, а эта тепловая энергия переходила в энергию лучистую, которая, испускаемая во все стороны, расходилась по междузвездному пространству. Наука дает нам средство вычислить всю ту теплоту, которая возникла из потенциальной энергии с того момента, как началось первое сгущение в разрозненном, легком тумане до наших дней. Оказалось, что в каждом грамме вещества солнца выделились 29 миллионов малых калорий, из которых каждая (см. выше) могла бы нагреть один грамм воды на один градус; легко убедиться, что один грамм, сгущаясь из тумана, мог бы нагреть 290.000 граммов воды от 0^0 до 100^0, то-есть до кипения. Этот процесс еще не прекратился; солнце продолжает сгущаться, а потому непрерывно возникает тепловая энергия из потенциальной энергии взаимно притягивающихся частиц солнца. Оказывается, что если радиус солнца уменьшится на одну десятитысячную долю своей величины, то выделится такое количество теплоты, которого, при современном лучеиспускании солнца хватит на 1500 лет. Столь малое изменение радиуса солнца не может быть замечено при астрономических наблюдениях. Нет сомнения, что рассмотренный источник теплоты солнца действительно существует. Возможно, что он единственный, но не трудно указать и на другие источники, фактическую роль которых учесть, однако, невозможно. Так, напр., высказывалось мнение, что на поверхность солнца непрерывно и со всех сторон льется дождь тех метеоритов, которые часто падают и на земную поверхность в виде твердых тел разной величины и различного состава; такие тела находятся во многих естественно-исторических музеях, кабинетах и т д. Дойдя до поверхности солнца, метеориты обладают весьма большою скоростью, а следовательно и огромным запасом кинетической энергии движения, которая при

встрече с солнцем переходит в энергию тепловую. Далее, указывалось, что на солнце могут происходить радиоактивные явления, которые, как мы увидим, также оказываются источниками тепловой энергии. Как сказано, нет возможности учесть значение последних двух источников солнечной теплоты.

Мы сказали, что на поверхность земли льется непрерывный поток лучистой энергии солнца и мы осветили вопрос об источнике этой энергии, которая сама является источником почти всех видов энергии, наблюдаемых на поверхности земли. Лучистая энергия солнца поглощается воздухом, водою и твердым поверхностным слоем земли, при чем она превращается в энергию тепловую. Растения пользуются лучистой энергией солнца, чтобы выработать все органические вещества, из которых они построены, для чего приходится, напр., произвести огромную работу разложения углекислого газа, находящегося в воздухе, на составные части. Здесь лучистая энергия превращается в энергию химическую, запасы которой мы видели в горючих материалах, которыми нас снабжает растительный мир, напр., в дровах и в каменном угле, залежи которого удачно называют окаменевшими солнечными лучами. Запасы химической энергии содержатся во всех продуктах растительного царства, которые служат пищей для животных. Для краткости говорят о солнечной теплоте, подразумевая ту теплоту, которая только на земле возникла из лучистой энергии, испускаемой солнцем. Эта теплота поглощается водою океанов, озер, рек, болот и т. д., которая нагревается, испаряется и подымается, образуя облака. Таким образом, мы имеем здесь переход в потенциальную энергию пара (стр. 67), а также в потенциальную энергию приподнятого тела; исчезающая при этом тепловая энергия носит название скрытой теплоты испарения. Если солнечная теплота тратится на таяние льда или снега (скрытая теплота плавления), то она заменяется потенциальной энергией жидкости (стр. 66). Некоторая часть солнечной теплоты расходуется на работу приведения в движение воздуха, превращаясь в кинетическую энергию ветра. Из сказанного явствует, в какие различные виды энергии непосредственно или через теплоту, как промежуточное звено, превращается лучистая энергия, идущая к нам от солнца. Эти виды энергии, с своей стороны, претерпевают бесчисленные превращения, в цепи которых не только могут встречаться все раньше рассмотренные нами виды кинетической и потенциальной энергии, но и каждый из этих видов может встречаться сколько угодно раз.

Проследив цепь превращений энергии назад, мы дошли до потенциальной энергии первичного тумана, из которого образовалось наше солнце. Теперь мы возвращаемся ко второму из поставленных на стр. 72 вопросов: какие виды энергии находятся в конце той цепи последовательных превращений, звенья которой составляют

сущность окружающих нас физических явлений. Внимательно наблюдая эти явления, мы убеждаемся, прежде всего, что цепь может быть весьма длинною и что различные виды потенциальной энергии могут в течение неопределенно долгого времени оставаться неизменными. Но, далее, мы замечаем, что все виды энергии, в конце концов, переходят в энергию тепловую, которая превращается в энергию лучистую, испускаемую телами в междузвездное пространство. В этом легко убедиться, если перебрать существующие виды энергии. Кинетическая энергия движущегося тела переходит в теплоту при всяком ударе, связанном с остановкою тела или с уменьшением его скорости, а также при всяком трении. Лучистая энергия, поглощаемая телами, почти всегда целиком превращается в энергию тепловую и то же самое относится к энергии электрического тока, нагревающего те проводники, через которые он течет, на чем основано электрическое освещение. Потенциальная энергия приподнятого тела переходит в теплоту, когда тело падает и ударяется в землю. Потенциальная энергия жидкости и пара выделяется в виде теплоты, когда жидкость затвердевает или пар переходит в жидкость. Химическая энергия также, и прежде всего, превращается в энергию тепловую при всяком горении, при разнообразнейших химических реакциях и, между прочим, при тех, которые происходят в телах животных и человека (животная теплота). Наконец электростатическая энергия электрического заряда чаще всего непосредственно переходит в энергию тепловую, как это наблюдается при разряде лейденской банки и в особенности при ударе молнии. Из этих примеров конечно не следует, чтобы каждый вид энергии всегда и непосредственно переходил в энергию тепловую. Но ясно бросается в глаза тенденция к такому превращению, которое в конце концов действительно и происходит.

Сопоставляя то, что было сказано об источнике почти всех видов энергии на земле, то-есть о начале цепи превращений одного вида энергии в другой, с тем, что нам дает наблюдение насчет конца этой цепи, мы получаем следующую грандиозную картину, достойную кисти великой богини-науки: Поток лучистой энергии льется от солнца во все стороны, теряясь в безднах междузвездного пространства. Крошечная доля этого потока попадает на Землю, отчасти ею непосредственно отражается, отчасти поглощается, делаясь источником почти всех видов энергии, встречаемых на Земле и вызывая не только все физические явления, происходящие в мертвой природе, но и делая возможными жизненные процессы в живой материи растений и животных. Но после ряда превращений, иногда краткого, иногда очень длинного и долговременного (залежи каменного угля), вновь возникает лучистая теплота, рассеивающаяся в беспредельном пространстве. Общий запас всех видов энергии, находящихся на Земле, вряд ли подвергается сколько-нибудь значительным колебаниям, а за более продолжительный период времени, напр, в среднем за

целый год, несомненно остается без изменений. Отсюда следует, что убыль энергии должна равняться ее притоку, то-есть, что Земля столько же испускает во все стороны лучистой энергии, сколько она получает от солнца Но полученные от солнца запасы энергии остаются в течение некоторого времени на Земле, подвергаясь бесчисленным превращениям и вызывая, с ничтожными исключениями, все явления живой и мертвой природы. Легко было бы привести целый ряд примеров последовательных превращений энергии из одного вида в другой, ограничиваемся немногими примерами.

Мы бросаем вертикально вверх камень, то-есть придаем ему кинетическую энергию движения, откуда она берется и во что она превращается? Лучистая энергия солнца была где-то и когда-то поглощена какими-то растениями, в которых появилась энергия химическая, которая перешла непосредственно в наше тело или сперва в тело травоядного животного, которое служило нам пищей. Химическая энергия переходит в тепловую, часть которой в наших мышцах исчезает, когда мы производим работу, и на ее месте появляется кинетическая энергия движущегося камня, которая по мере удаления камня от земной поверхности, превращается в потенциальную энергию поднятого тела Когда камень, достигнув высшей точки, остановится, вся его кинетическая энергия перешла в потенциальную, которая при падении камня вновь обращается в кинетическую энергию движения, затем, при ударе камня об землю, в энергию тепловую, переходящую, наконец, в энергию лучистую.

Вторым примером мы возьмем двигатель, который вращает динамо-электрическую машину. Двигателем может служить, напр., паровая машина или турбина. В первом случае химическая энергия растительного топлива переходит в энергию тепловую, которая тратится на образование кинетической энергии движения частей динамо-машины. Во втором случае лучистая энергия солнца сперва перешла в теплоту, часть которой подняла воду в виде пара к облакам, превратившись в потенциальную энергию приподнятого тела. Дождем полилась эта вода на возвышенные места, собралась в ручейки, речки и реки и потекла вниз; потенциальная энергия приподнятых облаков перешла в кинетическую энергию движения, сперва — воды, потом — турбины и, наконец, — частей динамо-машины. Здесь возникает кинетическая энергия электрического тока, которая, смотря по назначению, переходит в энергию тепловую (нагревание, освещение), в энергию движения тел (трамвай, разного рода электродвигатели), в энергию химическую (гальванопластика) и т. д.

§ 5. Заключение. В этой главе мы познакомились с законом сохранения энергии, одною из глубочайших истин, до которых додумалось человечество Этот закон господствует над всеми явлениями, не только мертвой природы, но и живой, в которой ничего не было найдено, что шло бы в разрез с этим законом. В кажущемся хаосе окружающих нас явлений этот закон является строго ре-

гулирующим началом. Богиня-наука разобралась в этом кажущемся хаосе и нашла ту вездесущую руководящую идею, которая показывает, что мы имеем дело не с хаосом, но с миром строго соразмеренных событий, и она указала нам на энергию, как на ту величину, которая, вечно оставаясь неизменной количественно, в своих качественных превращениях выражает об'единяющую внутреннюю сущность окружающих нас явлений, столь глубоко различных по их внешнему облику и характеру.

ГЛАВА V.

ТЕПЛОТА, КАК ДВИЖЕНИЕ МОЛЕКУЛ И АТОМОВ.

§ 1. Введение. В главе III мы познакомились с молекулами, атомами и электронами, а в главе IV, рассматривая свойства энергии и различные ее виды, мы уже должны были допустить, что теплота есть кинетическая энергия движения частиц тел. В этой главе V, которую можно было бы назвать «кинетическая теория вещества», мы займемся более подробным изучением тепловой энергии.

К тому, что в главе III было сказано о существовании молекул и атомов, здесь добавляется, что они находятся в непрерывном движении, что их состояние кинетическое (подвижное). Соединяя то и другое в одно целое, мы получаем картину, которая соответствует тому современному молекулярно-кинетическому миропониманию, которое положено в основу всей физики.

Мы несколько расширим нашу тему и познакомимся с разного рода явлениями, находящимися в связи с движениями частиц вещества. Здесь мы вновь увидим, до какой глубины идут те познания, которыми нас так обильно снабжает физика.

§ 2. Что такое теплота? О теплоте и холоде мы узнаем по тем ощущениям, которые они вызывают в нашем органе осязания. Вопрос о причине возникновения этих ощущений, то-есть сущности теплоты и холода, ставился еще учеными древнего мира, но только 19-ое столетие дало окончательный на него ответ. Мы не останавливаемся на разного рода фантастических представлениях, которые высказывались в течение длинного ряда столетий, и в которых играла не малую роль странная мысль, что теплота и холод возникают как результат влияния двух причин, по существу различных, действующих, каждая, самостоятельно, независимо от другой.

В XVIII столетии была более или менее общепринята гипотеза, что тепловые явления вызываются особым «невесомым» веществом, которое по латыни называлось калорикум, а по-русски «теплород»; этот последний термин лишь сравнительно недавно окончательно исчез из русских книг. Отдельные ученые, впрочем, в

разное время высказывали более правильные мысли, но в мало ясной форме и не произведя впечатления на современников. Так, например, известный математик Кардануc (Cardanus, 1501—1576) утверждал, что теплота не есть вещество, но «свойство вещества» и что холод есть отсутствие теплоты Последнюю мысль повторил затем Мариотт (Mariotte, 1620—1684). Фантастические мысли встречаются еще и в XVIII столетии. Так, философ Христиан Вольф (Christian Wolf, 1679—1754) утверждал, что теплород сам по себе не теплый, но что он вызывает чувство теплоты, когда он приводится в движение

Простейшие тепловые явления, если не считать увеличения об'ема тел при повышении температуры, были открыты очень поздно, а именно во второй половине XVIII столетия тремя учеными, немцем Вильке (Wilke, 1732—1796), швейцарцем Делюк (Deluc, 1727—1817) и англичанином Блек (Black, 1728—1799) Благодаря их работам, были введены понятия о теплоемкости и о скрытой теплоте плавления и испарения. Из них первое явилось когда было открыто, что для нагревания одинаковых весовых количеств различных веществ требуются весьма неодинаковые количества теплоты. Так, для нагревания одного грамма ртути на 1^0 требуется в 30 раз меньше теплоты, чем для такого же нагревания одного грамма воды. Это выражается словами, что теплоемкость ртути $^1/_{30}$; подобно, теплоемкость льда — $^1/_2$, угля — $^1/_4$, аллюминия — $^1/_5$, железа — $^1/_{10}$, серебра — $^1/_{20}$ и т. д. Теплоемкость воздуха около $^1/_4$. Наибольшей теплоемкостью обладает газ водород, а именно 3,4; это значит, что для нагревания некоторого весового количества водорода на 1^0 требуется почти в $3^1/_2$ раза больше теплоты, чем для нагревания на 1^0 такого же весового количества воды и примерно в сто раз больше, чем для соответственного нагревания ртути. Вторая из величин важнейших в учении о теплоте, скрытая теплота, уже была нами упомянута на стр. 75. Мы видели, что для перевода вещества из твердого состояния в жидкое необходимо произвести работу, преодолевая силы сцепления, действующие между частицами вещества, и еще гораздо бо́льшую работу при переходе вещества из жидкого состояния в парообразное, то-есть при испарении и при кипении. На производство этой работы тратится притекающая к веществу кинетическая тепловая энергия, а в результате получается потенциальная энергия, содержащаяся в жидкости или в паре. Теплота, как таковая, исчезает, как бы скрывается; непрерывное ее притекание к плавящемуся или кипящему веществу не вызывает в нем повышения температуры. Это и есть скрытая теплота плавления или испарения.

Открытия вышеназванных трех ученых стали возможными после того, как был изобретен термометр, давший возможность производить количественные измерения в области тепловых явлений. Изобретение первого термометра, как мы сейчас увидим, не заслуживающего этого названия, приписывается великому итальянскому

ученому Галилею (Galilei, 1564—1642), который в 1597 г. построил прибор, состоявший из шарика с трубкой, содержавших воздух, отделенный от наружного воздуха каплей воды. При изменении температуры эта капля перемещалась в ту или другую сторону. По двум причинам такой прибор не может быть назван термометром. Заметим, прежде всего, что между физическими приборами существует большое число таких, названия которых оканчиваются слогом «метр», например, термометр, барометр, гигрометр (измеряет влажность воздуха), гальванометр и т. д. Существуют другие приборы, названия которых имеют на конце слог «скоп»; например, термоскоп, бароскоп, гигроскоп, гальваноскоп и т. д Из них первые дают возможность более или менее точно измерить соответствующую физическую величину, между тем, как вторые только указывают, что физическая величина изменилась в ту или другую сторону; они, пожалуй, еще дают возможность сказать, которое из двух изменений больше, но ни о каком точном сравнении, ни о каком измерении речи не может быть. Ясно, что прибор Галилея, в крайнем случае, мог бы быть назван термоскопом. Необходимо, однако, прибавить, что и при неизменной температуре капля воды в трубке должна была смещаться в ту или другую сторону в зависимости от изменения атмосферного давления (открытого только в 1643 г.), так что прибор мог служить и бароскопом. Ясно, что его показания, зависящие от двух причин, от температуры и от барометрического давления, даже не могли всегда правильно указывать на направление, в котором меняется температура. Удивительно, что Герике (Guericke, 1602—1686), изобретатель воздушного насоса, построил около 1660 года совершенно такой же прибор с воздухом, хотя он знал об изменениях атмосферного давления и не мог не понимать их влияния на показания его прибора.

Кто первый устроил термометр с жидкостью, а именно с водою, определить трудно. Бельгиец Гельмонт (van Helmont, 1577—1644) пользовался водяным термометром, но без шкалы. В 1641 году вода впервые была заменена спиртом, как утверждают, по предложению герцога Фердинанда II (1621—1670) во Флоренции. Таким термометром пользовались члены знаменитой Флорентийской академии, существовавшей всего только десять лет (1657—1667). Конец трубки был закрыт, а из трубки воздух был выгнан; на трубке находилась настоящая шкала, но градусы отмечались не черточками, как это делается ныне, а маленькими стеклянными пуговками, весьма искусно припаянными к трубке. Число градусов колебалось от 50-ти до 400; различные шкалы почти не могли быть сравниваемы между собою. Постоянными точками служили: наибольший зимний холод и наибольшая летняя жара во Флоренции. В 1829 году был во Флоренции случайно найден ящик, наполненный термометрами флорентийских академиков со шкалами в 50 градусов. Оказалось, что 50^0 Флор.

равняются 44° R, 0° Флор. = 15° R и 0° R = 13,5° Флор. Несомненно, также, что флорентийские академики заменили спирт ртутью, но, повидимому, не для того, чтобы этим прибором измерять температуру, но для производства опытов, показавших, что ртуть в теплой воде быстрее нагревается, а в холодной быстрее охлаждается, чем вода; это, как мы теперь знаем, зависит от малой теплоемкости ртути. Еще в 1701 году Ньютон пользовался термометром, наполненным льняным маслом. По некоторым данным оказывается, что в 1684 г. в Париже кем-то был построен прибор со ртутью, в виде термометра; но вряд ли он имел правильно построенную шкалу и мог служить для измерения температуры

Французский ученый Амонтон (Amontons, 1663—1705) построил (1703) воздушный термометр, в котором, однако, температура измерялась не об'емом, но давлением воздуха и в котором одной из постоянных точек служила температура кипения воды.

Правильная термометрия была основана трудами французского ученого Реомюра (Réaumur, 1683—1757), немецкого Фаренгейта (Fahrenheit, 1686—1737) и шведского Цельсия (Celsius, 1701—1744).

Из них Фаренгейт первый стал приготовлять спиртные термометры, показания которых были одинаковы, что представляло огромный шаг вперед и вызвало величайшее удивление его современников. Около 1715 года он заменил спирт ртутью и принял за постоянные точки температуры тающего льда (32° F) и температуру тела здорового человека (96° F). Первые его термометры не доходят до температуры кипения воды, о которой он, однако, в 1724 г. говорит, что она находится у 212° F. Неизвестно, пользовался ли он этой температурой для определения постоянной точки на самих термометрах.

Реомюр описал в 1730 году свой термометр, который был наполнен спиртом и в котором впервые шкала была построена на температурах таяния льда и кипения воды, как на двух постоянных точках, расстояние между которыми он разделил на 80 градусов. Делюк заменил спирт в этих термометрах ртутью Цельсий построил свой ртутный термометр около 1742 года; он разделил промежуток между теми же двумя постоянными точками на 100 градусов, при чем он температуру кипения воды принял за 0°, а температуру таяния льда за 100°. По предложению Штремера (Mårten Strömer, 1707—1770) эти числа были переставлены.

Из этого краткого очерка видно, что приборы, которые действительно могли служить для измерения температур, появились около середины XVIII столетия, и, только благодаря им, могла возникнуть наука о тепловых явлениях, основатели которой уже были переименованы на стр. 80. Мы не будем следить за дальнейшим раз-

витием этой науки, которое в течение ста лет не имело большого влияния на решение вопроса о сущности самой теплоты. Ученые считали возможным об'яснить все тепловые явления, которые постепенно открывались и всесторонне исследовались особыми свойствами того теплового вещества (теплорода), о котором уже было сказано, и мысль о котором господствовала в науке примерно до сороковых годов XIX столетия, когда оно стало все более и более вытесняться новым учением о кинетическом характере теплоты. Это учение на первых ступенях своего развития утверждало только, что содержащаяся в данном теле теплота определяется движением частиц этого тела и что температура тела тем выше, чем быстрее происходят эти движения. Оставался невыясненным вопрос о том законе, который точно определил бы зависимость температуры от величины скоростей частиц. Впрочем, некоторые ученые еще раньше высказывали мысли о кинетическом характере теплоты, хотя и в весьма смутной форме.

Знаменитый английский ученый Бэкон (Francis Bacon, 1561—1626) утверждал, что теплота есть «расширяющее движение, которое тормозится и происходит в малых частях вещества». Декарт (Réné Descartes 1596—1650) также выразил мысль, что «теплота есть дрожание частиц тела», вызванное ударами того особого небесного вещества, которое играет большую роль в учении Декарта о разнообразных астрономических и физических явлениях.

В начале XIX столетия явились защитниками мысли, что теплота есть движение частиц вещества, три лица: Веньямин Томпсон, граф Румфорд, более известный под вторым именем (Rumford, 1753—1814), Дэви (Humphry Davy, 1778—1829) и Томас Юнг (Thomas Young, 1773—1829); все трое англичане.

Чтобы понять работы этих ученых, следует указать, что возникновение теплоты при трении об'яснялось тем, что теплород при трении выдавливается из трущихся тел или, более остроумно, тем, что при трении всегда образуются опилки, теплоемкость которых меньше, чем теплоемкость сплошных тел; излишек теплоты и выделяется из опилок. Предполагалось также, что теплота появляется при трении из воздуха.

Румфорд (в Мюнхене 1798) заметил, что при сверлении дула пушек выделяется огромное количество теплоты; измерения показали, что опилки обладают такою же теплоемкостью, как и сплошные куски металла. Опыты сверления, произведенные в большом чане с водою, которая доходила до кипения, доказали, что теплота не бралась из воздуха и что она возникала при трении безостановочно и в беспредельном количестве. Отсюда Румфорд заключает, что теплота не может быть особым веществом и что она, как возникающая безгранично из движения, сама может быть только движением.

Дэви (1799) подвергал взаимному трению два куска льда, при

чем образовывалась вода, теплоемкость которой в два раза больше теплоемкости льда, что еще более резко опровергало вышеприведенную гипотезу. Он повторил этот опыт под колоколом воздушного насоса, окруженного льдом, и получил тот же результат. Дэви видел в этих опытах опровержение учения о теплороде и в 1812 году ясно и определенно высказал мысль, что теплота есть колебательное движение частиц твердого вещества; в жидкостях и газах он считал возможными вращательные, а в некоторых случаях также и прямолинейные движения. Юнг (1802 и особенно 1807) высказался за гипотезу о тепловом движении, а также (1812) Ампер; однако, большинство физиков продолжало смотреть на теплоту, как на особое вещество, теплород. Так, например, Био (Biot, 1774—1862) еще в 1825 году резко высказался за теплород и против теории движения частиц.

Поворот произошел только в сороковых и пятидесятых годах и он был вызван великою творческою работой ученых, которая развивалась в двух, впрочем, тесно между собой связанных направлениях. Первое из них привело к выяснению принципа сохранения энергии, которому была посвящена предыдущая глава. Историю этого принципа мы здесь излагать не будем. Заметим только, что замечательные опыты (1843—1850) английского ученого Джуля (James Prescott Joule, 1818—1889) доказали эквивалентность, существующую между теплотой и работой, и дали численное значение механического эквивалента теплоты (стр. 63). Затем, Гельмгольц в знаменитом сочинении «О сохранении сил» (1847) распространил новый мировой принцип на все физические явления, неясный, в данном случае, термин «сохранение сил» был впоследствии заменен более определенным и отчетливым термином «сохранение энергии». Понятно, что в науке, дошедшей до выяснения названного принципа, не могло быть речи о теплоте, как об особом невесомом веществе, теплота могла быть только одним из видов энергии, а именно кинетической энергией движения тех частиц, из которых состоит вещество.

Второе направление, в котором двигалась наука и которое находилось в тесной связи с первым, касалось вопроса о внутреннем строении газов; оно привело к созданию одного из интереснейших отделов физики, известного под названием кинетической теории газов. Ее прямая задача заключалась в начертании такой картины внутреннего строения газов, которая дала бы возможность качественно и количественно об'яснить все известные свойства газов. При этом оказалось, однако, необходимым прежде всего ответить на вопрос о сущности запаса тепловой энергии, содержащейся в газе. Ответ был весьма определенный: тепловая энергия определяется кинетической энергией движения газовых частиц. Кинетическая теория газов, в ее современном виде, была основана в пятидесятых годах истекшего столетия. Принцип со-

хранения энергии и кинетическая теория газов навсегда уничтожили учение о теплороде, как об особом, невесомом веществе, и навсегда поставили на его место новое учение, отвечающее на вопрос «что такое теплота?» и притом не только для газообразных, но и для жидких и твердых веществ: теплота есть кинетическая энергия движения молекул и атомов.

§ 3. Основные свойства газов В виду того, что в этой главе нам, прежде всего, придется иметь дело с веществом, находящимся в газообразном состоянии, необходимо предварительно вкратце сказать об основных свойствах газов. Твердые тела обладают определенным об'емом, то-есть занимают часть пространства вполне определенной величины; кроме того, они имеют присущую им форму, изменение которой требует более или менее значительной работы внешних сил, преодолевающих те внутренние силы, которые удерживают частицы в определенных друг относительно друга положениях. Жидкости не имеют определенной формы. Исключение представляют очень малые количества жидкости, принимающие форму шариков (капельки ртути, а также воды на жирной или пыльной поверхности). Большие количества жидкости принимают, впрочем, также шаровидную форму, если жидкость не подвержена действию внешних сил. Так, земля и другие планеты приняли форму шаров, когда они еще находились в незатвердевшем состоянии. Масло (например, оливковое), помещенное внутри такой смеси спирта с водою, которая обладает одинаковою с ним плотностью, также принимает форму шара. Не обладая, вообще говоря, присущей им формой, жидкости принимают, под влиянием собственного веса, форму того сосуда, в котором они находятся. Зато всякое количество жидкости занимает определенный об'ем, который не зависит от случайной его формы

Газ, взятый в определенном весовом количестве, не обладает ни присущим ему об'емом, ни характерной для него формой. Он не только принимает форму, но и занимает весь об'ем того сосуда, в котором он находится. Последнее показывает, что всякий газ всегда стремится расшириться, то-есть занять по возможности бо́льший об'ем. Если сосуд, содержащий газ, соединить трубочкой с сосудом, из которого воздух выкачен, так что в нем остается «пустота», то часть газа немедленно перейдет из первого сосуда во второй, и газ равномерно наполнит оба сосуда, то-есть все пространство, предоставленное в его распоряжение Стремление газа расшириться приводит к тому, что газ всегда производит давление на все тела, с которыми он соприкасается. Притяжение земли удерживает воздух, который без этого притяжения разлетелся бы по межзвездному пространству. Нижний слой воздуха сдавлен тяжестью верхних слоев и с своей стороны столь же сильно давит снизу вверх на эти слои и на все тела, с которыми он соприкасается. Это и есть

атмосферное давление, которое измеряется барометром и обычно выражается в миллиметрах высоты ртутного столба, производящего одинаковое с ним давление Как нормальное, принимается давление в 760 мм. ртутного столба; такое давление для краткости называется «атмосферой». Если газ находится в покое, то-есть не происходит увеличения или уменьшения его об'ема, то давление, которое он производит, должно с точностью равняться внешнему давлению, под которым он сам находится. Первая из этих величин иногда называется упругостью газа. Если, например, подвергнуть газ давлению в 50 атмосфер, то и его контр-давление, то-есть его упругость будет равняться 50-ти атмосферам. Об'ем, занимаемый данным количеством газа, может меняться в колоссальных пределах. Если исходить от об'ема, занимаемого газом, когда он находится под давлением одной атмосферы, а, следовательно, и его упругость равна одной атмосфере, то оказывается, что этот об'ем может уменьшиться в 700 и более раз; с другой стороны, об'ем газа может быть неограниченно увеличен, при чем его давление соответственно уменьшается. Современные воздушные насосы, которые следовали бы назвать газовыми насосами, дают возможность уменьшить упругость газа до одной тысячемиллионной доли одной атмосферы и даже еще больше (см. § 4). Но и при такой степени разрежения газ не перестает стремиться к дальнейшему расширению и производит то слабое давление, которое только-что было указано.

Если, не меняя температуры данного количества какого-либо газа, менять давление, под которым газ находится, а, следовательно, и его упругость, то об'ем газа будет меняться по очень простому закону, который сперва был открыт (1661) английским ученым Бойлем, а затем подробно изучен (1676) французом Мариотт. Этот закон гласит. При неизменной температуре об'ем данного количества газа обратно пропорционален давлению, под которым он находится, или, несколько иначе, упругость такого газа обратно пропорциональна его об'ему Первое означает, что если внешнее давление увеличится, например, от одной до пяти атмосфер, то об'ем уменьшится в пять раз; второе показывает, что если уменьшить об'ем газа, например, в 10 раз, то упругость газа, то-есть производимое им давление увеличится в 10 раз. Легко сообразить, что оба выражения закона в сущности тождественны, так как упругость газа и давление на газ, при условии его покоя, равны между собой. Принято этот закон называть законом Бойль-Мариотта.

В дальнейшем нам придется часто пользоваться счетом температур, несколько отличающимся от обычного; он заключается в следующем. Мы берем шкалу Цельсия, которая имеет 0^0 у температуры таяния льда и 100^0 у температуры кипения воды, и берем температуру -273^0 (ниже нуля) за начало шкалы, у которого мы ставим 0^0. Таким образом, все температуры по новой шкале окажутся

увеличенными на число 273 сравнительно со шкалой обычной. В честь великого английского физика Вилльяма Томсона, лорда Кельвина (William Thomson, Lord Kelvin, 1824—1907), который много занимался этим вопросом, принято градусы по этой шкале обозначать буквой К. Таким образом, мы имеем 0^0 К $= -273^0$ С; лед тает при 273^0 К $= 0^0$ С; вода кипит при 100^0 С $= 373^0$ К. Температура 0^0 К называется абсолютным нулем температуры; она находится при 273 градусах холода. Температуры по шкале Кельвина еще называются абсолютными температурами и нередко вместо буквы К обозначаются буквами абс. (или abs), так что 0^0 абс. $= 273^0$ С и т. д. Итак, абсолютная температура равна температуре по шкале Цельсия, сложенной с числом 273. Если температуру по шкале Цельсия обозначить через t^0, а абсолютную температуру через T^0, то мы имеем простое соотношение $T^0 = t^0 + 273$. Так например, свинец плавится при $t = 325^0$ С, то-есть при абсолютной температуре $T = 325 + 273 = 598^0$ абс. (или 598^0 К); ртуть затвердевает при $t = -39^0$ С, то-есть при абсолютной температуре $T = -39 + 273 = 234^0$ абс. (или 234^0 К); жидкий кислород кипит при $t = -183^0$ С, то-есть при $T = -183 + 273 = 90^0$ абс.; водород затвердевает при $t = -259^0$ С, то-есть при $T = -259 + 273 = 14^0$ абс.; жидкий гелий кипит при $t = -268{,}8^0$ С, то-есть при $T = -268{,}8 + 273 = 4{,}2^0$ абс. $= -4{,}2^0$ К.

Теперь мы можем познакомиться еще с одним из главных свойств газов, а именно, с законом, открытым в 1802 году французским ученым Гей-Люссаком (Gay Lussac, 1778—1850). Закон относится к влиянию изменения температуры на газы. Это изменение может происходить при двух различных условиях. Во-первых, мы можем менять температуру газа, заключенного в закрытый со всех сторон сосуд, так что об'ем газа меняться не может. Оказывается, что упругость газа увеличивается при повышении температуры, если его нагревание происходит при постоянном об'еме. Во-вторых, мы можем нагревать газ при постоянном внешнем давлении, а, следовательно, и постоянной упругости самого газа. Этого можно достигнуть, помещая газ в вертикально поставленный цилиндр, внутри которого находится подвижной поршень. На этот поршень давит атмосфера и, кроме того, на него можно наложить гири, определяющие, вместе с атмосферой, то давление, под которым находится газ. При нагревании газа, его об'ем увеличивается, поршень поднимается вверх; понятно, что в этом случае давление, под которым находится газ, а, следовательно, и упругость самого газа не меняются. Итак, об'ем газа увеличивается при повышении температуры, если нагревание происходит при постоянном внешнем давлении. Гей-Люссак нашел тот простой закон, который в первом случае определяет зависимость давления, а во втором — зависимость об'ема газа от температуры. Оказывается что закон, выражающий эту

зависимость, в обоих случаях один и тот же. Закон Гей-Люссака гласит: об'ем газа, находящегося при постоянном давлении, пропорционален абсолютной температуре, давление газа, находящегося при постоянном об'еме, пропорционально абсолютной температуре.

Итак, чтобы увеличить в первом случае об'ем газа, а во втором случае давление газа в 2, 3, 4 и т. д раза, необходимо увеличить абсолютную температуру в 2, 3, 4 и т. д. раза. Поясним это численным примером Положим, что газ находится при 40^0 С; спрашивается: при какой температуре его об'ем (первый случай) или его давление (второй случай) увеличатся вдвое? По закону Гей-Люссака это случится, когда абсолютная температура удвоится Но при $t = 40^0$ С мы имеем $T = 40 + 273 = 313^0$ абс. Об'ем или давление газа удвоится при $T = 313 \times 2 = 626^0$ абс., а это равно $t = 626 - 273 = 353^0$ С. Итак, об'ем или давление газа удвоятся при нагревании от 40^0 С до 353^0 С.

§ 4. Основы кинетической теории газов. Кинетическая теория газов должна нам дать ясную картину внутреннего строения газов и об'яснить все свойства, которыми газы обладают. Те мысли, которые лежат в основе этой теории, были впервые строго научно разработаны только в 1857 году. Однако, намеки на эти мысли можно найти уже у Д Бернулльи (Daniel Bernoulli, 1700—1782) в его гидродинамике (учение о движении жидкостей), вышедшей в 1738 году, и у английского ученого Герапата (John Herapath, 1796—1867) в 1821 году. Далее, упомянутый уже нами Джуль развил те же мысли в 1851 году, а еще ближе подошел к ним Кренig (Krönig, 1822—1879), в 1856 г. Эта работа Кренига и заставила Клаузиуса (Clausius, 1822—1888) напечатать в 1857 году свою классическую статью, озаглавленную «О характере движения, которое мы называем теплотой»; основные положения этой работы он разработал, начиная с 1850 года.

Легко понять, почему прежде всего могла возникнуть кинетическая теория, то-есть учение о движении частиц вещества, именно для газов, а не для твердых и жидких тел Дело в том, что в газах частицы находятся на сравнительно гораздо более далеких друг от друга расстояниях, чем в телах твердых и жидких, где взаимная близость частиц должна сильно усложнять их движение. В твердых телах частицы могут совершать почти только колебания около некоторых средних положений Переход частиц с одного места на другое, то-есть перегруппировка частиц, происходит, во всяком случае, чрезвычайно медленно. В жидкостях такая перегруппировка, несомненно, происходит более быстро, что̀ доказывается постепенным смешением двух жидкостей, из которых одна осторожно налита сверх другой, например, спирт сверх воды. Но и здесь перемещение частиц происходит очень медленно, в виду сгущенности самих частиц, мешающей их свободному движению, которое и в жидкостях должно сводиться, главным образом, к движениям колебательным.

Нечто совершенно другое мы должны иметь в газах, частицы которых расположены далеко друг от друга Если отдельная частица, в данный момент, движется в каком-либо направлении, то она должна продолжать это движение в том же направлении и с не меняющейся скоростью, так как не видно, какие причины могли бы ее заставить совершать колебания, то-есть двигаться взад и вперед около некоторой точки пространства. Единственною причиной, которая может заставить газовую частицу изменить направление своего движения, представляется удар частицы о стенку сосуда, в которой газ находится, или вообще о поверхность какого-либо твердого или жидкого тела, а также удар в другую частицу, попавшуюся ей на пути. Сказанное дает нам первое понятие о характере движения газовых частиц Частицы газов движутся прямолинейно с постоянною скоростью, пока они не ударятся о какую-либо преграду или о другую частицу. Такое движение мы, в отличие от движений колебательных, а также и вращательных, будем называть движением поступательным, и мы можем сказать, что движение газовых частиц есть движение поступательное, чем оно существенно отличается от движения колебательного или дрожащего частиц тел твердых и жидких. Частицы газа движутся по всевозможным направлениям и, таким образом, первые контуры искомой картины внутреннего строения газов показывают нам вполне неупорядоченное движение молекул газа, которые, находясь даже в весьма малой части пространства в огромном количестве, хаотически движутся по всевозможным направлениям. Прежде, чем перейти к деталям этой картины, мы покажем, что даже этого немногого уже достаточно, чтобы об'яснить, то-есть сделать вполне понятными, некоторые из основных свойств газообразного состояния вещества. Первое из этих свойств, заключающееся в том, что газ всегда занимает все предоставленное ему пространство, очевидно, уже не требует особого об'яснения. Газ не может граничить с пустотой, он не может занимать, например, только нижней половины сосуда, ибо летящие по всем направлениям частицы, очевидно, начнут перелетать в соседнюю пустоту, пока все части пространства, предоставленного газу, не окажутся одинаково густо заполненными молекулами газа.

Второе из основных свойств газа заключается в его упругости, то-есть в его давлении на все тела, с которыми он соприкасается. И это давление легко об'ясняется, как результат совокупности бесчисленных ударов, которым подвергаются твердые и жидкие тела со стороны газовых частиц, налетающих со всех сторон на их поверхности, и отскакивающих от них по тому же закону, по которому при ударе о твердое тело отскакивает резиновый шар или шар из слоновой кости (на биллиарде). Тела подвергаются со стороны газа тому, что можно назвать молекуляр-

ной бомбардировкой, результатом которого и является давление, претерпеваемое телами. Итак, упругость газа, то-есть давление, производимое газом на все тела, об'ясняется молекулярной бомбардировкой, которой подвергаются поверхности этих тел со стороны газовых молекул, налетающих на них со всех сторон.

Остается об'яснить закон Бойля-Мариотта, по которому давление газов обратно пропорционально об'ему, занимаемому данным количеством газа при неизменной температуре. Клаузиус дал строгий, математический вывод этого закона Но и без математического вывода легко сообразить необходимость такого закона. Действительно, если мы увеличим вдвое об'ем данного количества газа, то частицы будут распределены в два раза менее густо, чем прежде, так что в данном пространстве, например, в об'еме одного кубического сантиметра, или внутри данного сосуда останется половина прежнего числа частиц. Ясно, что в этом случае число частиц, налетающих, хотя бы в течение одной секунды, на определенную часть поверхности тела, соприкасающегося с газом, окажется также уменьшенным вдвое, иначе говоря, молекулярная бомбардировка будет ослаблена вдвое, а, следовательно, окажется уменьшенным вдвое и то давление, которое газ производит на тело, с которым он соприкасается. Если об'ем данного количества газа увеличить в 3, 4 и т. д. раза, то во столько же раз будет ослаблена молекулярная бомбардировка, а, следовательно, также и давление газа. Итак, закон Бойля-Мариотта об'ясняется тем, что при увеличении об'ема данного количества газа в несколько раз, во столько же раз ослабляется молекулярная бомбардировка со стороны молекул газа, а, следовательно, и давление газа на поверхность тела, с которым газ соприкасается.

Мы видим, что простая, лишенная всяких деталей, картина поступательного движения газовых частиц оказалась достаточной, чтобы об'яснить основные свойства газов, а именно, во-первых, их беспредельную расширяемость, во-вторых, то давление, которое они производят и которое не прекращается ни при какой степени их разрежения, и, в третьих, тот закон, который выражает зависимость величины давления газа от степени его разрежения, то-есть от об'ема, занимаемого данным количеством газа. Важно напомнить, что этот закон справедлив только в том случае, когда при изменении об'ема газа не меняется его температура.

Заметим, кстати, что всякое явление, происходящее при неизменной температуре, называется изотермическим. Таким образом, закон Бойля-Мариотта может быть назван законом изотермического изменения об'ема газа.

Все, что здесь было изложено, можно найти, в более или менее отчетливой форме, в упомянутых выше работах Д. Бернулли,

Герапата, Джуля и Кренига Но гораздо дальше пошел Клаузиус в статье (1857 года), название которой было приведено выше. Он первый дал строго математическое исследование молекулярной бомбардировки и не только вывел ряд важных, новых законов, относящихся к газам, но и показал, каким образом можно вычислить различные величины, определяющие детали той картины, которую нам рисует кинетическая теория газов. Мы должны ограничиться простым перечнем тех результатов, которые нашел Клаузиус путем математических выводов, основанных на законах механики, дающих возможность вычислить давление, вызванное молекулярной бомбардировкой. Важнейшую роль играет в этих выводах кинетическая энергия движения газовых молекул. Здесь следует иметь в виду три различных движения: поступательное движение молекулы, ее вращательное движение и интрамолекулярные движения, то-есть колебания атомов, входящих в состав молекулы. Для одноатомных газов возможно только первое из этих движений. Напомним, что кинетическая энергия движения тела пропорциональна его массе и пропорциональна квадрату его скорости (стран. 62). Это относится к каждой молекуле газа; соответственно трем возможным движениям и кинетическая энергия распадается на три части, из которых мы обратим наше внимание только на первую часть, то-есть на энергию поступательного движения, пропорциональную массе молекул и квадрату скорости этого движения. Полагая, что все молекулы движутся с одинаковою скоростью, мы можем сказать, что весь запас энергии поступательного движения молекул, содержащийся в данном количестве газа, пропорционален массе этого газа и квадрату скорости поступательного движении газовых молекул.

Обращаемся к удивительным результатам, к которым пришел Клаузиус (1857) на основании своих вычислений. Из этих результатов укажем сперва следующие два:

I) Давление газа, заключенного в неизменный об'ем, меняется пропорционально кинетической энергии поступательного движения молекул.

II) Если два газа занимают одинаковые об'емы и производят одинаковые давления, то содержащиеся в них запасы энергии поступательного движения молекул одинаковы.

Посмотрим, какие следствия вытекают из этих двух законов. Сопоставим первый из них с законом Гей-Люссака (стран. 87), по которому давление газа, заключенного в неизменный об'ем, меняется пропорционально абсолютной температуре, и мы получаем фундаментальный закон кинетической теории газов:

III) Кинетическая энергия поступательного дви-

жения молекул газа растет пропорционально абсолютной температуре. Этот закон раскрывает перед нами истинное значение той величины, которая называется температурой, он может служить определением термина «абсолютная температура», как величины, которая пропорциональна энергии поступательного движения газовых частиц. Мы знаем, что для данного газа эта энергия зависит от скорости движения молекул (она пропорциональна квадрату этой скорости). Таким образом, оказывается, что температура данного газа определяется скоростью движений его молекул; можно сказать и наоборот: скорость движения молекул газа зависит от его температуры. Так как абсолютная температура пропорциональна энергии движения, а последняя пропорциональна квадрату скорости, то получается второй из основных законов.

IV) Квадрат скорости молекул данного газа растет пропорционально абсолютной температуре. Это значит, что абсолютная температура должна, например, повыситься в четыре раза, чтобы скорость молекул увеличилась в два раза. Впрочем, логичнее будет сказать наоборот: если скорость газовых частиц увеличится вдвое, то это будет означать, что абсолютная температура увеличилась в четыре раза. Поясним это, решая такую задачу найти температуру, при которой газовые частицы движутся вдвое быстрее, чем при 0^0 С. Мы знаем, что 0^0 С $= 273^0$ абс.; эту температуру надо увеличить в 4 раза, так что искомая абсолютная температура $T = 273 \times 4 = 1092^0$ абс, а это дает $t = 1092 - 273 = 819^0$ С. Итак, при 819^0 С газовые молекулы движутся вдвое быстрее, чем при 0^0 С. Для читателей, несколько более знакомых с математикой, мы можем закон IV еще формулировать так: скорость молекул данного газа пропорциональна корню квадратному из абсолютной температуры. Важно отметить, что скорость частиц данного газа зависит исключительно только от температуры, но не зависит от степени сгущения или разрежения данного газа. Это понятно: если мы сожмем газ, то частицы будут расположены гуще, ближе друг к другу. Это должно повлиять на свободу их движений, на то, как часто они сталкиваются между собой, но отнюдь не может повлиять на скорость их движений

Постараемся теперь сравнить скорости молекул различных газов при одинаковой температуре. Для этого представим себе еще раз два газа, занимающие одинаковые об'емы, производящие одинаковые давления и, кроме того, находящиеся при одинаковой температуре На основании закона II, в них находятся одинаковые запасы энергии поступательного движения молекул. Но на основании закона Авогадро (стран. 50, 51) число молекул в обоих газах одинаковое. Итак, при одинаковой температуре приходится на одинаковое число молекул различных газов одинаковое количество энергии поступательного движения Отсюда следует, что на одну молекулу того и другого

газа приходится одинаковая энергия поступательного движения, если температура газов одинаковая. Это дает нам один из важнейших законов всей физики, который относится не только к газам, но и вообще ко всем телам, и не только к молекулам, но и к отдельно движущимся атомам, а также, что особенно важно, к отдельно движущимся кучкам соединенных между собой молекул, хотя бы число молекул, составляющих одно целое, равнялось многим миллионам, так что их совокупность представляется в виде крупинки, легко видной в микроскоп или в лупу Такая крупинка может состоять и из разнородных молекул, что относится, например, к обыкновенным пылинкам, плавающим в воздухе или внутри жидкости. Расширенный таким образом наш закон гласит.

V) Все отдельно движущиеся атомы, молекулы и группы молекул, до видимых крупинок вещества включительно, обладают, при данной температуре, одинаковой средней энергией поступательного движения. Эта энергия пропорциональна абсолютной температуре газа. Мы дали более точную формулировку этого закона, добавив слово средней; об'ясняя смысл этого слова, мы дадим читателям возможность несколько глубже вникнуть в истинный смысл этого важного закона. Дело в том, что мы до сих пор предполагали, что все однородные молекулы движутся при данной температуре с одинаковой скоростью. Но это неверно; вследствие столкновений между частицами, их скорости, а, следовательно, также их энергии движения подвергаются изменениям. При огромном числе частиц, мы в данный момент найдем между ними частицы, которые обладают весьма неодинаковой энергией; но средняя энергия, то-есть сумма энергий всех частиц, деленная на число частиц, оказывается вполне определенной величиной, которая, при постоянной температуре, остается величиной постоянной Ту же среднюю энергию мы получим, если будем следить за меняющейся при столкновениях энергией какой-нибудь одной частицы и возьмем среднее из всех значений ее энергии за значительный промежуток времени. Вот об этой-то средней энергии и говорит наш закон Вообразим себе сосуд, заполненный смесью различных веществ, так что в нем находятся отдельные атомы (например, одноатомного газа гелия и паров ртути), молекулы многоатомных газов и паров, группы молекул, связанных между собой, а также пылинки. Тогда средняя энергия поступательного движения для каждой однородной группы атомов, молекул, групп молекул и пылинок будет одна и та же; она меняется пропорционально абсолютной температуре.

Теперь перед нами возникает новый вопрос: каковы будут скорости этих столь различных частиц, обладающих одинаковой энергией движения? Для решения этого вопроса мы вновь обратимся к молекулам водорода и кислорода; масса последних в 16 раз больше массы первых. При данной температуре энергия движения

(нет надобности каждый раз прибавлять слово «средняя») тех и других молекул одна и та же. Однако, мы знаем, что при одинаковой скорости энергия пропорциональна массе. Поэтому, энергия кислородных молекул была бы в 16 раз *больше* энергии водородных, если бы скорости тех и других были одинаковы. Так как энергия пропорциональна квадрату скорости, то ясно, что квадрат скорости молекул кислорода должен быть в 16 раз *меньше* квадрата скорости молекул водорода, а, следовательно, сама скорость в четыре раза меньше. Тогда, действительно, энергии двух родов молекул оказываются равными, ибо увеличение массы в 16 раз *увеличивает* энергию в 16 раз, а уменьшение скорости в четыре раза, *уменьшает* энергию в 16 раз. Легко обобщить этот результат: во сколько раз увеличивается масса молекул, во столько же раз должен уменьшиться квадрат их скорости, если, конечно, не меняется температура. Это дает нам закон

VI) *При данной температуре квадрат скорости поступательного движения атомов, молекул, групп молекул и пылинок обратно пропорционален их массе.* Для атомов и молекул можно еще сказать, что *квадрат скорости обратно пропорционален атомным или молекулярным весам.* Если при данной температуре масса одной молекулы в 100 раз больше массы другой, то скорость первой в десять раз меньше скорости другой. Если масса пылинки в сто миллионов раз больше массы какой-нибудь молекулы, то скорость пылинки в десять тысяч раз меньше скорости молекулы.

§ 5. *Движение газовых молекул. Явление Брауна.* В предыдущем параграфе мы познакомились с общим характером того движения газовых молекул, энергия которого и есть не что иное, как теплота, содержащаяся в газе. Соответственно трем различным движениям, именно: поступательному, вращательному молекул и колебательному атомов (интрамолекулярному), и тепловая энергия распадается на три части. Мы рассмотрели первое из этих движений и указали три фундаментальных закона (IV, V и VI), которые учат нас, что квадрат скорости частиц прямо пропорционален абсолютной температуре (закон IV); что при данной температуре все отдельно движущиеся атомы, молекулы и группы молекул обладают одинаковой энергией (средней) поступательного движения (V), откуда следует, что квадрат скорости частиц обратно пропорционален их массе (VI). Вращательного движения молекул и колебаний содержащихся в них атомов мы рассматривать не будем.

Все изложенное дает еще весьма неясную картину теплового движения в газах. Мы пока знаем только, что молекула газа движется прямолинейно, пока она не ударится о поверхность какого-либо тела, например, о стенку сосуда, в котором газ находится, или столкнется с другою молекулой; кроме того мы знаем, как зависит скорость этого движения от температуры, а при данной температуре

от рода вещества. Перейдем теперь к более детальному рассмотрению теплового движения частиц газа.

Закон I, доказанный Клаузиусом (стр. 91), дает возможность вычислить энергию движения молекул при данной температуре, а отсюда и самую скорость этого движения. При этом, весьма неожиданно, оказалось, что скорость газовых молекул громадная. Достаточно знать скорость для одной температуры и для одного какого-либо газа, чтобы на основании закона VI определить скорости, при той же температуре, молекул какого угодно газа или пара и скорости групп молекул до пылинок включительно, а затем, на основании закона IV, их скорости при каких угодно температурах. Мы и примем за основное число скорость молекул кислорода при 0° С, вычисленную Клаузиусом Она оказалась равной

461 метру в секунду.

Итак, молекула кислорода пролетает при 0° в одну секунду путь в 461 метр, то-есть в 216 сажен. Более легкая молекула водорода или более легкий отдельный атом гелия движутся еще быстрее, а более тяжелые молекулы или их группы движутся медленнее. Наибольшей скоростью обладают молекулы водорода (если не считать еще большей скорости отдельных атомов водорода), мы видели, что оно в четыре раза больше скорости молекул кислорода. Это дает при 0° С скорость молекул водорода

1843 метра в секунду,

то-есть 864 сажени или 1,7 версты в секунду. Та картина хаоса, каковым представляется нам внутренний строй газа (стр. 89), пополнилась теперь важной деталью: триллионы частиц движутся по всевозможным направлениям с громадной скоростью, которая даже при 0° измеряется сотнями метров в секунду.

В нижеследующей весьма поучительной табличке указаны скорости движений различных атомов, молекул и групп молекул при различных температурах, начиная от — 270° С, то-есть 3° абс. и до 1000° С.

В первой строке даны температуры t по обыкновенной шкале Цельсия, во второй строке показаны соответствующие температуры T по абсолютной шкале. В первом столбце сказано, о каких веществах идет речь, а именно, прежде всего, водород, кислород, углекислый газ и пары ртути. В скобках поставлены молекулярные веса, при чем, как всегда, за единицу принят вес одного атома водорода. Предпоследняя строка относится к группе молекул, вес которой в 20.000 раз больше веса атома водорода; наконец, последняя строка дает скорости теплового движения крупинки, вес которой в два миллиона раза превышает вес атома водорода. Все числа дают скорости движения, выраженные в метрах, пролетаемых в течение одной секунды.

T = t + 273	— 270° 3°	240° — 33°	— 150° 123°	0° 273°	100° 373°	500° 773°	1000° 1273°
Водород (2)	193,2	614	1237	1843	1843	3101	3980
Кислород (32) . .	48,3	154	309	461	539	775	995
Углекисл газ (44) . .	41,1	131	263,1	392	458	660	846,5
Пары ртути (200,6) .	19,8	61,4	123,7	184,3	215,3	310,1	398
Группа (20000) . .	1,93	6,14	12,4	18,43	21,5	31,0	39,8
Крупинка (2000000)	0,19	0,61	1,24	1,84	2,15	3,1	4,0

Эту табличку следует рассмотреть весьма внимательно Каждая горизонтальная строка показывает, как скорость поступательного движения атома (ртутных паров), молекул и групп возростает с повышением температуры. При 1000° С скорости приблизительно в 20 раз больше, чем при — 270° С; последняя температура уже только на 3 градуса превышает температуру абсолютного нуля Мы видим, что молекула водорода пролетает при 1000° С в одну секунду 3980 метров, то-есть 1866 саж. или почти 3¾ версты, даже при — 270° скорость все еще равна 193,2 метрам, то-есть около 90 сажен в секунду. Вертикальные столбцы показывают, как при данной температуре скорость уменьшается, по мере увеличения массы движущейся частицы. Так, скорость молекулы кислорода в четыре раза, скорость атома крупинки в 1000 раз меньше скорости молекулы водорода. Атомы паров ртути обладают скоростями от 19,3 метра в секунду при — 270° до 398 метров при 1000°. Крупинка, которая в миллион раз тяжелее молекулы водорода, обладает при — 270° скоростью в 0,19 метра, то-есть 19 сантиметров или 4,3 вершка в секунду, и даже при 1000° С ее скорость достигает только 4 метров, то-есть менее двух саженей в секунду. Крупинка, которая была бы еще в 100 раз тяжелее, двигалась бы в десять раз медленнее и при — 270° С проходила бы только 0,43 вершка в секунду.

При температуре в 4000° С скорости приблизительно в два раза больше, чем при 1000° С, так что молекула водорода пролетала бы около 7½ версты в секунду. На солнце, где температура еще выше (стран. 73), скорости должны быть еще больше, они примерно в четыре раза превышают скорости, указанные в предпоследнем столбце и относящиеся к 500° С.

Мы здесь рассмотрели ту скорость, квадрат которой определяет среднюю энергию движения От нее отличается простая средняя скорость частиц, которая на 8% меньше и, например, для кислорода при 0° равна 425 метрам в секунду.

Обращаемся к любопытному вопросу о столкновениях между частицами газа, летящими с указанными вообще весьма большими скоростями по всевозможным направлениям. История этого вопроса следующая

Когда в 1857 году появилась работа Клаузиуса, в которой

он впервые дал численные значения скоростей частиц газов, ему было указано на одно обстоятельство, которое, казалось, противоречило его выводам. Оно заключается в следующем: если бы скорости частиц газа были так велики, как утверждает Клаузиус, то всякий газ должен был бы в малую долю секунду распространиться по всему об'ему даже весьма обширной комнаты. Между тем, оказывается, что газы, присутствие которых заметно по их запаху, как например, аммиак, хлор, сероводород, сернистый газ (образуется при горении серы), распространяются очень медленно и требуется не доля секунды, но много секунд и даже минут, прежде чем запах газа, выпущенного из сосуда в одном конце большого зала, распространится до противоположного конца. Чтобы доказать неправильность этого возражения, Клаузиус напечатал уже в 1858 году вторую классическую статью под заглавием «О средней длине пути, проходимого газовыми молекулами». Понятие о средней длине пути сразу делается вполне ясным, если добавить слова «между столкновениями». Если мысленно следить за движением какой-либо одной молекулы и принять во внимание, что при каждом столкновении с другою молекулой меняется направление ее движения, то становится понятным, что это движение происходит по ломанной, то-есть зигзагообразной линии. Прямые части этой линии, то-есть пути, пробегаемые от одного столкновения до следующего, очевидно, окажутся весьма неодинаковой длины, так как случайность должна здесь играть весьма большую роль. Иногда, после столкновения, молекула случайно очень быстро опять столкнется, так что пройденный прямолинейный путь окажется очень малым; но иногда, опять-таки случайно, новое столкновение произойдет не скоро и путь будет иметь сравнительно значительную длину. Если, однако, взять огромное число таких путей, проходимых триллионами частиц и вычислить их среднее значение, которое и определит собою «среднюю длину пути», то эта величина будет вполне определенная, зависящая исключительно только от степени сжатия газа и от размеров молекул, то-есть от рода газа. Легко понять, что средняя длина пути должна быть тем меньше, чем больше размеры частиц, ибо с увеличением этих размеров увеличивается вероятность их столкновения. Ясно, также, что средняя длина пути должна быть тем меньше, чем более газ сжат, то-есть чем гуще распределены его частицы. И действительно, вычисление показывает, что средняя длина пути обратно пропорциональна давлению, под которым находится рассматриваемый газ, или, что то же самое, его упругости. Можно тот же закон иначе выразить: Средняя длина пути прямо пропорциональна об'ему, занимаемому данным количеством газа. Если увеличить об'ем, то-есть разредить газ в десять раз, то средняя длина пути увеличится в десять раз. От температуры, то-есть от скорости движения частиц, средняя длина пути не должна зависеть. Зато среднее число столкно-

вений, претерпеваемых частицей в течение определенного времени, например, в течение одной секунды, должно расти с увеличением скорости частицы, то-есть с повышением температуры. Это ясно из того, что число столкновений должно равняться числу, показывающему сколько раз средняя длина пути укладывается в том пути, который частица проходит в одну секунду, и который определяется скоростью частицы. Для наглядности представим себе газ, в котором средняя длина пути равнялась бы одному метру, а скорость частиц при некоторой температуре составляла бы 500 метров в секунду. Так как в среднем столкновения происходят через каждый метр пути, а в секунду частица проходит 500 метров, то ясно, что она будет иметь 500 столкновений в секунду. Если, при более высокой температуре скорость будет равна 600 метрам в секунду, то число столкновений возрастет до 600 в секунду. Если мы теперь сожмем газ в десять раз, то средняя длина пути уменьшится в десять раз и сделается равной 0,1 метра, а число столкновений увеличится в десять раз и дойдет до 6000 в секунду. Если, наоборот, мы разредим газ в десять раз, то-есть во столько же раз увеличим его об'ем (уменьшим его давление), то средняя длина пути дойдет до 10 метров, а число столкновений понизится до 60 в секунду.

Можно вычислить, сколько частиц пройдут в действительности определенную часть или определенное кратное среднего пути, который мы для удобства обозначим буквой L. Положим, что мы смогли бы следить за движениями огромного числа движущихся газовых частиц и отличать пути, которые они в действительности проходят от одного столкновения до другого. Тогда оказалось бы, что 1% всех путей меньше 0,01 L; 39% всех путей меньше 0,5 L, и 63% меньше L. Остальные 37% проходимых путей больше длины пути L, 14% больше 2 L и только 1% остается для путей, которые больше 5 L.

Клаузиус вычислил среднюю длину пути, проходимого газовыми молекулами от одного столкновения до следующего и нашел поразительный результат. Положим, что мы имеем газ, вроде кислорода, азота или просто воздуха под обычным атмосферным давлением. Оказывается, что средняя длина пути L в таком газе приблизительно равна

$$L = 0{,}0001 \text{ миллиметра},$$

то-есть одной десятитысячной доли миллиметра.

Итак, в среднем, частица пройдет лишь этот поразительно малый путь от одного столкновения до следующего; этот путь меньше самой малой величины, которую можно разглядеть в наилучший микроскоп. Легко определить число столкновений, претерпеваемых частицей в течение одной секунды, если известна скорость движения частицы, то-есть весь путь, который она пролетает в одну секунду и который, как мы видели, зависит от рода газа и от температуры, которую мы примем равной 0°. Табличка на

стр. 96 показывает, что частицы кислорода пролетают в одну секунду путь в 461 метр; но по понятным причинам надо уменьшить это число до 425 метров, то-есть взять ту среднюю скорость, которая упомянута на стр. 96. Ясно, что частица на этом пути столкнется столько раз, сколько раз одна десятитысячная доля миллиметра содержится в 425 метрах. Это дает при 0°

1250 миллионов столкновений в одну секунду.

Этот результат дополняет ранее полученную картину внутреннего строя газов весьма существенною деталью. Теперь эта картина представляется в следующем виде. Вообразим себе крошечный кубический сантиметр воздуха при обыкновенном барометрическом давлении и при комнатной температуре. В кубическом сантиметре заключаются двадцать семь триллионов частиц (стран. 52), которые движутся по всевозможным направлениям с громадною скоростью почти 500 метров в секунду, при чем каждая из этих частиц претерпевает в каждую секунду почти пять тысяч миллионов столкновений с другими частицами. Никакая фантазия не может себе представить ту крайнюю степень хаотичности, которая соответствует этой картине. Если мы сдавим газ так, что его об'ем сделается в 500 раз меньше, чем при обычном атмосферном давлении, то число столкновений увеличится еще в 500 раз; если, кроме того, довести температуру до 1000°, то это число увеличится еще в два раза и сделается равным 4 биллионам столкновений в одну секунду (биллион равен миллиону миллионов). Для водорода средняя длина пути почти вдвое больше, чем для кислорода, но зато молекулы водорода движутся в четыре раза быстрее молекул кислорода, вследствие чего, при равных условиях число столкновений получается еще в два раза больше, чем для кислорода; оно равно (0° и давление атмосферное) 9480 миллионам в секунду. Эти чудовищные числа изменяются, а именно средняя длина пути увеличивается и число столкновений уменьшается, если мы перейдем, во-первых, к высокой степени разрежения и во-вторых, к низким температурам. Начнем с первого для кислорода при 0°. При давлении в одну тысячную атмосферу средняя длина пути увеличится в 1000 раз и будет равна 0,1 миллиметра, а при давлении в одну миллионную атмосферу, легко достигаемом современными методами, средняя длина пути доходит до 100 миллиметров, а число столкновений падает до 4250 в одну секунду. При температуре — 270° С число столкновений, круглым числом, равно 400 в секунду, если удержать последнюю степень разрежения кислорода. Впрочем, современные воздушные насосы дают возможность разредить газ до одной тысячемиллионой доли атмосферы, а при умелом обращении с насосом даже до еще почти в 100 раз меньшего давления. При первом из этих давлений мы имеем при 0° около четырех столкновений в секунду, а при — 270°

одно столкновение в $2^1/_2$ секунды. При последнем, крайнем разрежении столкновение частиц делается редким явлением и при — 270° частица сталкивается примерно один раз в четыре минуты, а средняя длина пути измеряется километрами. Частицы летят почти только от стенки к стенке того сосуда, в котором находится столь сильно разреженный газ. Числа, которые мы привели, относятся почти одинаково к кислороду и азоту. Для газов, молекулярный вес которых больше, как мы видели, скорость меньше, но зато и средняя длина пути меньше, так как столкновения должны происходить тем чаще, чем больше размер молекулы.

Познакомившись с содержанием второй работы (1858 г.) Клаузиуса, мы видим, что ее выводы вполне опровергают то возражение, которое ему было сделано по поводу его первой работы и которое мы указали на стр 96, 97. Теперь понятно, почему распространение одного газа в другом, например, пахучего газа в воздухе, происходит чрезвычайно медленно. Каждая частица газа меняет в течение одной секунды тысячи миллионов раз направление своего движения; она отбрасывается то в одну, то в другую сторону и, более или менее, как говорят, топчется на одном месте. Но все же частицы постепенно расходятся во все стороны и проникают, хотя и медленно, все дальше и дальше через другой газ, например, через воздух. Такое постепенное проникновение одного газа в другой называется диффузией и совершенно понятно, что оно может происходить лишь весьма медленно.

Поместим сосуд, содержащий легкий газ, например, водород, над другим сосудом, в котором находится более тяжелый газ, например, кислород, и соединим эти сосуды трубкой. Тогда окажется, что легкий газ начнет постепенно проникать вниз в тяжелый, а тяжелый подниматься вверх. Газы смешиваются или, как говорят, диффундируют друг в друга, так что в конце концов получается однородная смесь. Странное явление опускания легкого вещества и поднятия тяжелого вполне об'ясняется кинетической теорией, то-есть свободным поступательным движением газовых частиц.

На стран. 27 было сказано, что от теории, построенной на определенной гипотезе, мы вправе ожидать не только об'яснения уже известных нам явлений из соответствующей области, но и предсказания новых явлений, которые еще не были открыты. Кинетическая теория газов вполне оправдала это ожидание. Мы ограничимся одним примером, чтобы показать в какой мере удачная гипотеза и построенная на ней теория могут раскрыть и всесторонне осветить совершенно новые и, как в данном случае, неожиданные явления, ибо предсказанное резко противоречило тому, что предполагалось и казалось необходимым и единственно возможным. Всем известно, что различные вещества неодинаково хорошо передают теплоту, или, выражаясь условно, что теплота в них течет с неодинаковой быстротой. Говорят, в этом случае, что различные ве-

щества обладают неодинаковою теплопроводностью. Лучше всего металлы проводят теплоту; стекло, дерево, жидкости (кроме ртути) суть плохие проводники теплоты. Газы весьма плохо проводят теплоту, но все же их теплопроводность далеко не нуль. Представим себе какой-либо газ, хотя бы воздух, сперва в сильно сгущенном (сдавленном) состоянии, а потом в состоянии сильного разрежения. Спрашивается: в каком из этих двух состояний газ лучше проводит теплоту? Вероятно, всякому покажется, что сгущенный газ должен лучше проводить теплоту, чем разреженный. Английский ученый Максвелль вывел в 1860 году теоретически, что теплопроводность газа не зависит от его упругости, то-есть от степени его сгущения или разрежения, если только то или другое не чрезмерно велики, то-есть если газ не приближается к жидкому состоянию и разрежение не очень велико; в последнем случае теплопроводность должна уменьшаться. Результат, полученный путем вычислений, казался мало вероятным, но опытные исследования доказали справедливость предсказания кинетической теории; они обнаружили, что теплопроводность газов, действительно, в очень широких пределах не зависит от упругости.

В главе II было сказано, что даже самые блестящие предсказания теории еще не могут служить доказательством справедливости гипотезы, лежащей в основе этой теории. Теория тогда только может быть признана незыблемой, если удается непосредственно убедиться в справедливости основной гипотезы, в каковом случае гипотеза уже перестает быть гипотезой, а построенная на ней теория является выражением одной из тех истин, до которых дошла наука и которые она преподнесла человечеству как зрелый плод своей творческой работы. В таком положении находится ныне та молекулярно-кинетическая гипотеза, которая полагает, что вещество состоит из молекул и атомов, находящихся в непрерывном движении, и которой посвящены главы III и эта глава V. Тщательное исследование одного давно известного явления, которое, однако, в течение долгого времени не обращало на себя внимания ученых, дало возможность буквально воочию убедиться в существовании движущихся молекул.

Английский ботаник Браун (Robert Broun, 1773—1858) открыл под микроскопом в 1827 году, что маленькие крупинки, находящиеся в жидких составных частях растений и, как говорят, взвешенные в них, непрерывно движутся, как бы дрожат. Это дрожание, получившее впоследствии название брауновского движения, никогда не прекращается. Оно заметно на всех достачно малых тельцах, находящихся в какой бы то ни было жидкости, а также в газе, например, в воздухе. Самое тельце может быть не только твердое, но и жидкой капелькой, например, жирного вещества в воде, а также пузырьком какого-либо газа. В течение 19-го века это явление было исследо-

вано немногими учеными, из которых, впрочем, некоторые уже высказывали мысль, что дрожание вызывается ударами молекул окружающей жидкой или газообразной среды, совершающих свои неупорядоченные тепловые движения. Огромное теоретическое значение брауновского движения было выяснено только в текущем столетии после теоретических и экспериментальных работ многих ученых, из которых следует назвать Эйнштейна (теперь в Берлине) и Смолуховского (в Кракове, род. 1872), давших математическую теорию и предсказавших какими законами должна выражаться зависимость брауновского движения от температуры, от величины крупинок и от некоторых специальных свойств той жидкости, в которой эти крупинки взвешены. Опытным исследованием и проверкой выводов теории занимались особенно Перрен, Сведберг и друг. Опыты доказали, что дрожания ни в каком случае не вызываются внешними причинами и что единственною их причиной может быть только тепловое движение частиц окружающей жидкости или газа Легко понять, что дрожание может быть заметно только на весьма малых крупинках, не видимых простым глазом, если вспомнить как вообще малы молекулы и как велики их скорости. Не очень маленькое тело, находящееся внутри жидкости или газа, подвергается одновременно миллионам ударов со всех сторон, и все эти удары, взаимно уравновешиваясь, не могут вызвать заметного движения тела. Но если тело весьма мало, то небольшой перевес ударов с одной стороны может вызвать его движение; так как удары сыплются со всех сторон, а случайный перевес ударов непрерывно меняет свое направление, то в результате и должно получиться то странное, никогда не прекращающееся как бы судорожное дрожание, которым и характеризуется брауновское движение. Если размер крупинки весьма мал, то удары заставляют ее не только дрожать, но и перемещаться с одного места на другое по весьма сложной, ломанной линии. Перрен (Perrin, 1909), которому принадлежит одно из интереснейших исследований брауновского движения дал рисунок, который мы здесь воспроизводим (рис. I). На нем изображены пути трех крупинок; их диаметр около одной тысячной доли миллиметра. Отмечены точками положения крупинок через каждые 30 секунд и эти положения соединены прямыми линиями. Но не следует думать, что крупинка, действительно, двигалась в течение 30-ти секунд по прямой линии. Истинное движение было несравненно сложнее изображенного; каждый прямой отрезок следует мысленно заменить сложною, ломанною линией, части которой, с своей стороны, состоят из мелких зигзагов, соответствующих дрожаниям крупинки. Весь путь, изображенный на нижнем рисунке, был пройден в течение 25 минут; длина всего пути определится по масштабу рисунка, в котором 320 делений сетки соответствуют одному миллиметру, а вся ширина рисунка, содержащая 20 делений сетки, изображает $^1/_{16}$ миллиметра.

Мы не можем войти в дальнейшие подробности. Эйнштейн и Смолуховский, исходя из гипотезы молекулярных ударов, предсказали законы брауновского движения, а опыты подтвердили, что движение, действительно, совершается по этим законам. Другого об'яснения брауновского движения быть не может. Это движение буквально воочию обнаруживает перед нами тепловое движение частиц вещества, доказывает справедливость той молекулярно-кинетической гипотезы, которая лежит в основе современной физики

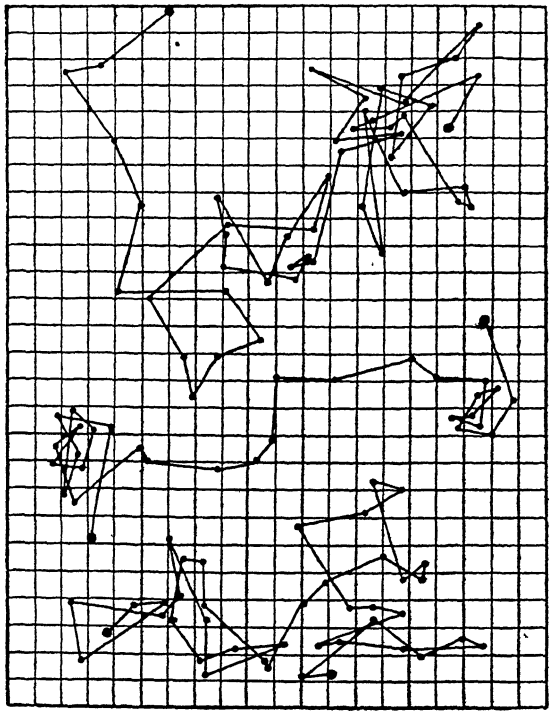

Рис. 1.

и дает нам право считать ее уже не гипотезой, но несомненной, реальной действительностью.

Заметим, что эта гипотеза об'ясняет не только те явления, которые были рассмотрены в этой главе, но и весьма большое число других, относящихся к различным отделам физики. Ограничимся одним примером. Все жидкости всегда и при всех температурах испаряются. Это явление об'ясняется очень просто. Частицы жидкости находятся в непрерывном движении, при чем их скорость, в данный момент, весьма неодинакова (стран. 102). Легко понять, что из поверхностного слоя жидкости должны непрерывно вылетать

частицы, скорость которых особенно велика и движение которых случайно имеет направление из жидкости в наружное пространство, а это и есть испарение, которое должно продолжаться пока вся жидкость не испарится, если только она не находится в замкнутом сосуде. Положим, что жидкость не заполняет всего сосуда; тогда вылетающие из нее частицы образуют над нею пар. Но частицы пара, двигаясь по всем направлениям, ударяются, между прочим, о поверхность жидкости, при чем многие из них проникают вглубь жидкости и в ней застревают. Чем больше жидкости испарилось, тем гуще делается пар и тем больше частиц влетают обратно в жидкость. Наконец, достигается такая густота пара, при которой в течение любого времени столько же частиц вылетают из жидкости, сколько в нее обратно попадают из пара. В этом случае мы говорим, что замкнутое пространство над жидкостью насыщено парами, густота пара перестает увеличиваться и нам кажется, что испарение кончилось. Однако, это не так; испарение безостановочно продолжается, но оно компенсируется непрерывным и одинаково быстрым обратным переходом вещества из парообразного состояния в жидкое. Мы видим, как ясно и просто молекулярно-кинетическая теория не только об'ясняет все детали данного явления, но и освещает нам такие его стороны, которые ускользая от непосредственного наблюдения, могли навсегда остаться нам неизвестными.

§ 6. Заключение. Кинетически-молекулярная теория, основные черты которой рассмотрены в этой главе, представляет один из самых замечательных результатов творческой научной работы ученых, занимавшихся физикой. Эта теория дала нам столь глубокие познания невидимого мира атомов и молекул, что мы можем мысленно построить вполне ясную и до мелких деталей разработанную картину внутреннего строя вещества, в особенности находящегося в газообразном состоянии. Мы знаем число частиц, находящихся при данных условиях давления и температуры в заданном об'еме; нам известны скорости движений этих частиц, пути пробегаемые ими, в среднем, от одного столкновения до следующего и число столкновений в течение данного времени. Теория дала нам окончательный ответ на вопрос о сущности теплоты и, что особенно важно, она бросила яркий свет на такую основную величину, как температура; она просто и наглядно об'яснила множество различных явлений, предсказала новые явления и, в конце концов, оказалась построенной на основе, которая перестала быть гипотезой. Эта теория дала человечеству поразительные, по глубине, познания того закулисного мира, в котором скрыты источники наблюдаемых нами физических явлений.

ГЛАВА VI.

ЛУЧИСТАЯ ЭНЕРГИЯ.

§ 1. Введение. Лучистая энергия уже упоминалась в главе IV, где мы ей посвятили несколько строк (стран. 63) в обзоре различных видов кинетической энергии; этим было выражено, что в лучистой энергии мы, во всяком случае, имеем дело с каким-то движением. Большую роль играла у нас лучистая энергия, когда мы, в той же главе, рассматривали различные случаи превращения энергии из одного вида в другой, которые происходят на земной поверхности и в которых лучистая энергия оказывается почти единственным первоисточником и в то же время последним звеном в цепи тех последовательных превращений энергии, в которых заключается сущность окружающих нас физических явлений.

В этой главе мы всесторонне познакомимся с лучистой энергией. Она дает нам пример того, в какой грандиозной степени наука могла расширить те, как оказалось, весьма скудные сведения, которое нам преподносит орган зрения, то-есть глаз. Этот орган говорит нам о свете, о той причине, благодаря которой мы видим окружающие нас предметы. И свет представляется нам чем-то чудным и беспредельно важным, чем-то единственным в своем роде и эта мысль как будто подтверждается тою ролью, которую играет свет в жизни животных и растений. Лучи света являются для нас символом всего, что делает неизвестное известным, что «освещает» темные вопросы, раскрывает перед нами давно прошедшее или далекое будущее; мы сравниваем знание со светом и мы говорим, что, благодаря лучам, которые наука повсюду рассылает, мы научаемся видеть то, что скрыто от нашего непосредственного наблюдения. Но свет науки сыграл странную роль по отношению к тому свету, о котором нам говорит наш орган зрения. Не касаясь великого значения световых лучей для жизни животных и растений, физика обнаружила, что эти лучи далеко не представляют чего-либо единственного в своем роде; в действительности они оказываются частным случаем несравненно более общего явления, между бесчисленными разновидностями которого они занимают, как мы увидим, весьма скромное положение. Все эти разновидности можно

расположить в один ряд и мы увидим, что лишь одна пятидесятая часть этого ряда занята тем, что мы обычно называем световыми лучами. Остальные сорок девять пятидесятых также представляют разного рода лучи, но эти лучи на наш глаз не действуют, они невидимы. Как-то странно и даже неудобно было бы говорить о свете видимом и свете невидимом. Вот почему то общее явление, все разновидности которого будут рассмотрены в этой главе, получило название лучистой энергии, так что мы можем сказать, что свет есть частный случай лучистой энергии. Перечисляя разновидности лучистой энергии, мы, для большей ясности, будем иногда говорить о «свете видимом», чтобы подчеркнуть важнейшую для нас особенность этой разновидности, а именно, ее действие на наш глаз.

Мы имеем здесь перед собой один из тех случаев, когда следует отличать явление суб'ективно воспринимаемое, от явления об'ективно существующего или, иначе говоря, явление физиологическое, находящееся в полнейшей зависимости от специального устройства наших органов чувств, и явление физическое, реально существующее вне нас и, конечно, независимо от того, воспринимается ли оно кем-либо или нет. Нечто подобное мы видим в явлениях звуковых, где также следует отличать то, что воспринимается нашим органом слуха, от реально существующего, более общего явления, возникающего благодаря колебаниям, например, струны, которые, с своей стороны, вызывают колебания частиц воздуха. Если число колебаний, совершаемых в одну секунду, не меньше 16-ти и не больше примерно 40.000 (у различных людей неодинаково), то мы слышим соответствующие звуки. Однако, число колебаний может быть меньше 16-ти и значительно больше 40.000. Так, например, Альтбергу (в Москве, род. 1877) удалось получить (1907) звуки, для которых число колебаний равнялось 340.000 в секунду, а Дикман (Dieckmann, 1908) дошел до 780.000 колебаний в секунду. Здесь мы имеем дело с явлением, которое, строго говоря, нельзя назвать звуком, ибо звук есть то, что мы слышим. Но для физики восприимчивость нашего уха никакого значения не имеет; наука знает и исследует только реально существующее явление и для нее одинаково важны и интересны все сюда относящиеся случаи, от самого малого до самого огромного числа колебаний в секунду, хотя для нас, суб'ективно, звук, как таковой, не существует, когда число колебаний переходит указанные пределы. Отдел физики, занимающийся этими явлениями, называется акустикой, а потому естественнее всего назвать упомянутые колебания акустическими. Мы можем сказать, что звуковые, то-есть слышимые колебания представляют частный случай колебаний акустических. Нечто вполне аналогичное относится к лучистой энергии со следующей, однако, разницей. Звуковые колебания занимают огромную область (от 16 до 40.000 колебаний), а именно (см. ниже): более 11-ти

октав, в ряду изученных акустических колебаний, весь ряд которых, если даже считать от 8 до 780.000 колебаний, обнимает несколько более 16-ти октав; можно сказать, что *три четверти* акустических колебаний, которые до сих пор удалось получить, суть колебания звуковые, действующие на наш орган слуха. В ряду известных нам видов лучистой энергии, обнимающих, как будет показано, не менее 50-ти октав, видимый свет занимает весьма малую область, *менее одной октавы*, то-есть менее одной пятидесятой доли всего ряда.

Еще раз подчеркнем сказанное в начале этого введения: наш дивный орган зрения воспринимает лишь весьма малую часть существующих разновидностей лучистой энергии; к остальным он нечувствителен, ничего не говорит нам об их существовании. Но богиня-наука приподняла завесу и обнаружила перед нами все разнообразие и величие различных видов лучистой энергии, от электрических лучей, которыми пользуются при телографировании без проводов, до рентгеновых лучей, испускаемых радиоактивными веществами; она указала нам этот длинный ряд, в котором видимый свет занимает столь маленькую часть. Немного найдется примеров, где первая и главная задача науки — расширить наши познания, была бы выполнена в такой степени, как в главе о лучистой энергии, где весьма узкая область непосредственно нами познаваемого света ею была расширена до колоссальных размеров, и мы обогатились познанием длинного ряда крайне разнообразных, по своему характеру, явлений, о которых наши органы чувств не дают нам никаких сведений, хотя *по существу* все они не более отличаются от видимого света вообще, чем, например, свет красный отличается от света зеленого.

§ 2. *Распространяющиеся колебательные движения*. Мы увидим, что лучистая энергия представляет частный случай колебательного движения, распространяющегося через пространство, и потому нам необходимо познакомиться с несколькими физическими величинами, которыми такое движение характеризуется и от которых зависят особенности различных возможных его разновидностей. Часть пространства, наполненную каким-либо веществом, мы можем назвать средою; воздух, вода и т. д. представляют примеры такой среды. Предположим, что среда состоит из частиц, способных двигаться и, между прочим, совершать *колебания* в обе стороны от некоторого среднего положения. Примерами колебательного движения могут служить колебания маятника, колебания струны и друг. Такое движение состоит из ряда последовательных, отдельных колебаний, из которых каждое, естественно, распадается на четыре четверти, а именно, если начать со среднего положения частицы: 1) движение в какую-либо сторону до наибольшего удаления от среднего положения; 2) обратное движение до среднего положения; 3) движение в противоположную сторону до такого же

наибольшего удаления, как в первой четверти; 4) обратное движение до среднего положения, после чего тотчас же начинается движение, представляющее первую четверть второго колебания и т. д. Наибольшее расстояние, на которое частица удаляется от среднего положения, сперва в одну сторону, потом в другую, называется амплитудой колебаний; расстояние между двумя крайними положениями колеблющейся частицы очевидно, равно удвоенной амплитуде. Время, в течение которого частица совершает одно полное колебание, называется периодом или, просто, временем колебания. Весьма важною величиной является частота или просто число колебаний, то-есть то число колебаний, которое совершается в одну секунду. Понятно, что период, помноженный на число колебаний, равен одной секунде. Если, например, период равен $^1/_{50}$ секунды, то частота будет равна 50-ти, ибо в секунду будут совершены 50 колебаний. Если период ($^1/_{50}$ секунды) помножить на частоту (50), то получится одна секунда.

Представим себе теперь большое число частиц, расположенных в рассматриваемой среде вдоль какой-нибудь прямой линии и допустим, что между этими частицами действуют силы, под влиянием которых происходит следующее: как только одна из частиц, расположенных на прямой линии, начинает свое первое колебание, соседняя с нею частица не может оставаться в покое; она также начинает колебаться, повторяя все движения первой частицы, однако, с некоторым, хотя и весьма малым запозданием. Тотчас после второй начинает колебаться третья частица, а затем четвертая, пятая и т. д., при чем каждая следующая частица начинает свое движение немного позже предыдущей. Таким образом, колебательное движение распространяется вдоль нашей прямой и притом, вообще говоря, в обе стороны. Прямая линия, вдоль которой распространяется какое-либо колебательное движение, называется вообще лучем. То расстояние, на которое колебательное движение распространяется в течение одной секунды, определяет собой величину, которую мы назовем скоростью распространения колебательного движения. Положим, что какая-нибудь частица начала колебаться, а ровно через одну секунду уже начинает колебаться частица, находящаяся на расстоянии десяти метров от первой. В этом случае мы говорим, что скорость распространения колебательного движения равна 10 метрам в одну секунду. Через две секунды после того, как первая частица начала колебаться, колебательное движение распространится на 20 метров, а через 5 секунд начнет свое движение частица, находящаяся на расстоянии 50 метров от первой частицы.

Нам остается познакомиться еще с одной важнейшей величиной: то расстояние, на которое распространяется колебательное движение в течение одного периода, называется длиною волны; мы будем ее обозначать греческой буквой λ (ламда).

Для раз'яснения возвратимся мысленно еще раз к той точке, которая первая начинает колебательное движение; назовем ее точкой А. Когда точка А совершит одно полное колебание и, следовательно, от момента начала ее движения пройдет время, равное одному периоду, само колебание распространится до некоторой точки, которую мы назовем точкой В. Тогда расстояние от А до В и есть длина волны. Точка В начинает первое колебание, когда точка А начинает свое второе колебание, так что она постоянно будет отставать от точки А на одно колебание. Когда точка А кончает десятое колебание и начинает одиннадцатое, точка В кончает девятое и начинает десятое колебание. Теперь нам остается выяснить, какие связи существуют между рассмотренными здесь четырьмя величинами. Эти величины суть: период или время колебания, частота или число колебаний, скорость распространения колебательного движения и длина волны λ. Прежде всего ясно, что время колебания (период) обратно пропорционально числу колебаний (частоте). Если время одного колебания, например, уменьшить в пять раз, то число колебаний, совершаемых в течение одной секунды, очевидно, увеличится в пять раз. В дальнейшем мы предположим, что скорость распространения колебаний не зависит от времени одного колебания или, что по существу, одно и то же, не зависит от частоты колебаний. В этом случае легко удостовериться, что длина волны прямо пропорциональна периоду колебаний или, что по существу то же самое, длина волны обратно пропорциональна частоте колебаний. Действительно, мы определили длину волны как то расстояние, на которое распространяется колебательное движение во время одного периода. Если, поэтому, продолжительность периода увеличить в три раза, то путь, вдоль которого распространится колебание во время одного периода, то-есть длина волны, увеличится в три раза; в то же время число колебаний (частота) уменьшится в три раза. Легко убедиться, что должно существовать еще такое соотношение: если длину волны помножить на частоту колебаний, то получается длина пути, определяющего скорость распространения колебаний. Действительно, когда первая частица А окончит одно колебание, движение распространится до частицы В, то-есть на путь, равный длине волны λ. Когда А окончит второе колебание, движение дойдет до точки, находящейся на расстоянии 2λ от частицы А; когда А окончит 3, 4, 5 и т. д. колебаний, движение пройдет пути 3λ, 4λ, 5λ и т. д., то-есть пути, которые в 3, 4, 5 и т. д. раз больше длины волны λ. Число колебаний, совершаемых частицей А в течение одной секунды, равно частоте колебаний; в это же время само движение распространяется на путь, длиною которого определяется скорость этого распространения. Ясно, что на этом пути должно укладываться столько волн, сколько колебаний совершила частица А в одну

секунду, то-есть это число волн должно равняться частоте колебаний.

Поясним все это численным примером. Положим, что в некоторой среде распространяется колебательное движение со скоростью 500 метров в секунду, и что каждая частица совершает 25 колебаний в секунду, так что частота равна 25-ти. Тогда период, то-есть время одного колебания равен $^1/_{25}$ секунды. В это время колебание распространится на 500: 25 = 20 метр.; это и есть длина волны λ, которая содержится 25 раз (частота) в длине 500 метров, определяющей скорость распространения колебаний. Если мы *увеличим* частоту колебаний в четыре раза, так что каждая частица будет совершать 100 колебаний в секунду, то период *уменьшится* в четыре раза, то-есть время одного колебания сделается равным $^1/_{100}$ секунды. Длина волны λ *уменьшится* в четыре раза и сделается равной 5 метрам; она теперь уложится сто раз на пути 500 метров. При частоте равной 5000, длина волны равна 0,1 метра, а период равен одной пятитысячной доле секунды.

Скорость распространения колебаний в какой-либо среде зависит от свойств частиц этой среды и от тех сил, которые действуют между частицами. Мы предположили, что она не зависит от частоты колебаний или от длины волны; мы увидим, что бывают случаи, когда такая зависимость все же существует. В данной среде возможно бесконечное число различных распространяющихся колебаний или, как мы для краткости будем выражаться, *различных лучей*, отличающихся друг от друга частотой колебаний или длиною волны λ. Беспредельно большое число разнообразных явлений, получающихся таким образом, мы можем *мысленно* расположить в один непрерывный ряд, например, слева на право, при чем по направлению на право растет частота колебаний, а, следовательно, уменьшается длина волны. Всем известно, что звук есть распространяющееся, прежде всего, в воздухе колебательное движение, и что от частоты колебаний зависит то, что называется *высотой* звука; она не поддается определению. Тот ряд, о котором мы только-что говорили, есть ряд звуков, расположенных в порядке возростающей высоты звуков; символом такого ряда может служить ряд струн или, еще нагляднее, ряд *клавишей* рояля, хотя струны и клавиши, конечно, не соответствуют беспредельно-большому числу возможных звуков, но лишь тем немногим, которыми пользуются в музыке.

Одно колебание называется октавой другого, если частота первого вдвое больше, а длина волны вдвое меньше, чем те же величины для другого. В § 1 уже было сказано, что для звуков, воспринимаемых нашим ухом, число колебаний идет от 16-ти до 40.000 в секунду, и что этот ряд обнимает несколько более 11-ти октав. Скорость распространения звука в воздухе можно принять равной 330 метрам в секунду. Это дает нам *длины волн* соответствующих крайних звуков. Для ча-

стоты 16-ти колебаний в секунду мы имеем длину волны $\lambda = 330$ м.: $16 = 20{,}6$ метра; для звука в 40 000 колебаний получается длина волны $\lambda = 330$ м.: $40.000 = 8{,}25$ миллиметра. В музыке обычно употребляются звуки от 30 до 40.000 колебаний, то-есть от длины волны $\lambda =$ 11 метрам до $\lambda = 8{,}25$ миллиметра. Звуки человеческого голоса бывают от 80-ти до 1000 колебаний, что соответствует длинам волн от $\lambda = 4{,}1$ метра до $\lambda = 33$ сантиметрам. Для акустических колебаний, которые удалось получить Альтбергу (см. § 1, частота 340.000), длина волны около 1 миллиметра, а для тех, до которых дошел Дикман (см. § 1, частота 780.000), длина волны $\lambda = 0{,}42$ миллиметра; она в 50.000 раз меньше длины волны, соответствующей 16 колебаниям в секунду.

§ 3. Основные световые явления и история вопроса о сущности света. Мы называем светом ту причину, которая дает нам возможность видеть окружающие нас предметы. Отдел физики, который прежде занимался явлениями света, а ныне посвящен более общим явлениям лучистой энергии, называется оптикой.

Тела бывают светящиеся и темные; первые, как говорят, испускают свет и потому всегда видны. К ним принадлежат солнце, неподвижные звезды, пламя, сильно нагретые тела и некоторые тела, которые при определенных условиях светятся, хотя они находятся при обыкновенной или даже при весьма низкой температуре. К ним относятся, например, фосфоресцирующие тела (см. § 5), которые светятся в темноте, когда они предварительно были ярко освещены; далее газы, через которые проходят электрические токи, органические вещества, как например, гниющее дерево, некоторые морские глубоководные животные и те организмы, которые вызывают свечение моря. Тела несветящиеся или темные сами по себе для нас невидны; они делаются видимыми, если они освещаются, то-есть в присутствии тел светящихся. К ним относится луна, планеты и почти все тела на земной поверхности. Свет, испускаемый светящимися, а также освещенными телами, распространяется по прямым линиям, которые называются световыми лучами.

Световые лучи могут отличаться друг от друга количественно и качественно. Первое отличие выражается тем, что лучи могут обладать различною степенью яркости или, как говорят, различной интенсивностью или еще различною силою света. Этими же терминами характеризуют также и источники света; особый отдел учения о свете, называемый фотометрией, занимается сравнением силы света различных источников света, а также сравнением степени освещения различных предметов. Качественное отличие лучей друг от друга называется цветом; лучи бывают разноцветные; понятие о цвете, подобно понятию о высоте звука, определению не поддается. Свет, испускаемый солнцем, а также всеми телами нагретыми до высокой температуры (до белого

каления), называется светом белым; соответствующие лучи также называются белыми.

Все вещества разделяются по отношению к каждому из разноцветных лучей, на прозрачные и непрозрачные. Существуют тела прозрачные для всех световых лучей; сюда относятся воздух, вода, спирт, обыкновенное стекло, слюда, кварц, селитра, каменная соль и еще разные жидкости и кристаллы. Большинство веществ непрозрачно для всех лучей, например, не очень тонкие слои металлов, дерево, кирпич, почти все минералы и т. д. Но существуют и такие вещества, которые прозрачны для одних лучей и непрозрачны для других; они обладают внутренней окраской. Так, например, красное (рубиновое) стекло прозрачно для красных лучей, но непрозрачно для зеленых; крепкий раствор медного купороса прозрачен для синих лучей, но непрозрачен для красных. Мы видим, что прозрачность является выразителем некоторого соотношения, существующего между данным веществом и данным лучем. Когда световые лучи встречают поверхность какого-либо тела, то часть их отражается, то-есть как бы отбрасывается, а часть лучей проникает во внутрь тела. В непрозрачных телах эта вторая часть «поглощается», то-есть перестает существовать, как свет; в прозрачных поглощение также существует, но оно очень слабое, и почти весь свет, проникший во внутрь тела, проходит через него насквозь. Когда свет поглощается, то на его место всегда появляется одна из форм энергии (глава III-ья), в большинстве случаев энергия тепловая, но иногда и другая, например, энергия химическая. Так как энергия может возникнуть только на счет запаса какой-либо энергии, то из сказанного явствует, что свет есть одна из форм энергии. Световые лучи суть потоки особого рода энергии и притом, несомненно, кинетической, так как об энергии положения (потенциальной) здесь, очевидно, не может быть речи.

Свет распространяется с некоторой определенною скоростью, которая зависит от той среды, в которой это распространение происходит. В пустоте, то-есть в пространстве, не содержащем материи, например, в междузвездном пространстве, скорость света для лучей всех цветов равна

300.000 километрам $= 3.10^{10}$ сантиметрам в секунду.

Весьма немногим меньше оказывается скорость света в воздухе и вообще в газах. Но в жидких и твердых веществах скорость света значительно меньше, чем в пустоте. Так, например, скорость света в воде составляет три четверти, в стекле две трети, в алмазе две пятых скорости в пустоте. При этом оказывается, что скорость лучей зависит от цвета. Для большинства веществ скорость красных лучей наибольшая; затем, в порядке уменьшения скорости, следуют лучи оранжевые, желтые, зеленые,

голубые, синие и, наконец, фиолетовые, которые распространяются с наименьшей скоростью. Но этот порядок не относится ко всем веществам; существуют вещества, где порядок совершенно другой, но и для них скорость зависит от цвета лучей.

Мы перечислили некоторые из основных свойств световых лучей. Прежде чем перейти к краткому рассмотрению некоторых дальнейших их свойств, мы поставим важнейший вопрос: что такое свет? Не вполне с ним совпадает другой вопрос: как об'яснить, что мы видим окружающие нас предметы? Попыткой ответить на этот последний вопрос является странное учение о глазных лучах, господствовавшее в древние времена. Оно заключается в предположении, что лучи распространяются не от предметов к глазу, но в обратном направлении. Лучи выходят из глаза, представляя из себя как бы щупальцы, при помощи которых глаз ощупывает предметы и, таким образом, получает точные о них сведения Идея о глазных лучах находится у весьма многих ученых древнего периода, хотя и с некоторыми, впрочем, мало существенными вариациями. Мы ее встречаем, например, у Пифагора (Pythagoras, 580—500 до Р. Хр.), Эмпедокла (Empedokles, 492—432), Платона (429—348), Эпикура Гиппарха (Hipparch, 2-ое столетие до Р. Хр.), Эвклида (Euklides, около 300 до Р. Хр.), Лукреция, Герона (Heron, около 200 до Р. Хр.), Сенеки (Seneca, 12—66 после Р. Хр.), Птоломея (70—147) и друг.

Все названные мыслители говорят о лучах-щупальцах, исходящих из глаз, но, например, Эмпедокл допускает также существование лучей, испускаемых телами и смешивающихся с глазными лучами, вследствие чего и возникает изображение предмета. Возможно также, что Эмпедокл допускал, что предметы испускают свои изображения, которые встречаются с глазными лучами, вследствие чего мы предметы видим, подобных же взглядов держались астроном Гиппарх и Платон. Против существования глазных лучей высказался весьма определенно Аристотель; он пишет: «Если мы потому видим, что свет исходит из глаз, как из фонаря, то непонятно, почему мы в темноте не видим. Предположить, что свет тухнет, если он выйдя из глаза, попадет в темноту, совершенно безрассудно». Несмотря на это, очевидно, правильное возражение, мысль о глазных лучах повторяется даже такими из позднейших ученых, как великий астроном Птоломей, а следы ее встречаются даже в средние века.

Алгазен (Alhazen), арабский ученый, живший в 11-ом столетии в Испании, повидимому, первый указал, что вместо одного луча, исходящего из глаза, следует принять, что от каждой точки предмета исходят бесчисленные лучи, образующие конус, вершиной которого служит эта точка, а основанием зрачек глаза.

Переходим к вопросу: что такое свет? Для об'яснения сущности света были предложены три главные гипотезы, и на них

построены теории оптических явлений. Эти три теории суть 1) теория эманации (испускания) наиболее развитая Ньютоном (1669, 1676, 1703), 2) теория колебания эфира, основателем которой является Гюйгенс (1678, 1690), 3) электромагнитная теория, созданная Максвеллем (1873). Мы сейчас рассмотрим только две первые из этих теорий.

Теория истечения предполагает, что светящиеся тела испускают особого рода световое вещество, которое летит по прямой линии с вышеуказанной громадной скоростью и, попадая в глаз, вызывает зрительные ощущения. Эту мысль мы находим уже у Демокрита, который определенно высказался против глазных лучей, полагая, что зрение вызывается маленькими атомами, которые исходят от светящихся тел и попадают в глаз. Далее, Гассенди, защитник атомной теории (стр. 45) полагал, что и свет состоит из атомов, которые выбрасываются светящимися телами. Отчасти подобного же взгляда держался и Декарт, хотя его сюда относящиеся мысли выражены в чрезвычайно неясной форме и их понять очень трудно.

Творцом теории испускания следует признать Ньютона, который стремился об'яснить все известные в то время световые явления, из которых многие были им же открыты или исследованы, на основании гипотезы испускания. Для этого ему приходилось, однако, ввести разного рода добавочные гипотезы, относившиеся к свойствам световых частиц. Так, для об'яснения разноцветности лучей, Ньютон должен был предположить, что световые частицы обладают неодинаковой величиной и что наибольшие частицы образуют красные лучи, а наименьшие — лучи фиолетовые. Повидимому, он около 1675 года сам колебался и отчасти склонялся в пользу теории волнообразного движения, но затем он дает явное предпочтение теории испускания, хотя некоторые следы прежних колебаний можно найти даже в его «Оптике», вышедшей в 1704 году. Однако, его ученики и последователи придали всему, что содержится в Оптике, значение догмы. Более ста лет теория истечения господствовала в науке, а окончательное доказательство ее несостоятельности было дано, как мы увидим, только в 1850 году. Отметим одно весьма важное обстоятельство: теория истечения приводит к результату, что внутри прозрачных веществ свет распространяется быстрее, чем в пустоте.

В течение 18-го века только знаменитый математик Эйлер (Leonhard Euler, 1707—1783, жил с 1727 до 1741 г. и затем с 1766 года в Петрограде, родился в Швейцарии) и наш великий ученый М. В. Ломоносов (1711—1765) резко высказывались против теории истечения.

Обращаемся к теории колебательного движения, построенной на гипотезе о существовании упругого эфира. Предполагается, что все междузвездное пространство, а также все промежутки

между частицами материи заполнены особым веществом, обладающим малою плотностью при весьма большой упругости; это вещество называется эфиром. Оно состоит из мельчайших частиц, на которые можно смотреть, как на атомы эфира. В этом эфире может распространяться колебательное движение, описанное в § 2. Прямые линии, вдоль которых происходит распространение колебаний и суть лучи света, а скорость распространения и есть та скорость света, величина которой была приведена на стран. 112. В светящихся телах происходит сотрясение частиц эфира, которое, благодаря упругости эфира и передается столь быстро по всем направлениям от места к месту Таким образом, эфир является передатчиком световой энергии, подобно тому, как воздух есть передатчик энергии звуковой.

Любопытно, что Аристотель высказал мысль, что между предметом и глазом должна находиться особая среда, делающая возможным видеть предметы, подобно тому, как благодаря воздуху мы слышим звуки Много времени спустя Гримальди (Grimaldi, 1618—1663), хотя и в весьма туманной форме, говорит о свете, как о легком веществе, которое находится в волнообразном движении. Затем Гук (Hooke, 1635—1722) вполне определенно высказал мысль, что свет есть распространяющееся в особой среде волнообразное движение; в 1672 году он даже утверждал, что колебания происходят перпендикулярно к лучу, что было окончательно установлено только в начале 19-го столетия

Творцом обширной и до деталей разработанной теории световых явлений, основанной на гипотезе колебаний, распространяющихся в особой среде, в эфире, был великий голландский ученый Гюйгенс (Huyghens, 1629—1695). Его важнейшее по этому вопросу сочинение появилось в 1678 году, на девять лет позже сочинения Ньютона, который придерживался теории истечений. Благодаря авторитету Ньютона, теория Гюйгенса, к несчастью, не произвела должного впечатления на его современников, и в течение всего 18-го столетия почти только Эйлер и Ломоносов являются, как было сказано, ее защитниками. Поворот в пользу теории колебаний обозначился только в начале 19-го столетия, когда появились работы Юнга (1801—1803) и, в особенности, французского ученого Френеля (Fresnel, 1788—1827), который в целом ряде гениальных работ (начиная с 1815 года) показал, каким образом все, даже наиболее сложные световые явления, об'ясняются теорией колебаний. Однако, приверженцы теории истечения еще долго не сдавались, стараясь об'яснить открытые в те времена новые световые явления, вводя многочисленные добавочные гипотезы, относящиеся к свойствам световых частиц. Число защитников старой теории стало уменьшаться, но еще в тридцатых годах некоторые выдающиеся ученые защищали теорию истечения. Окончательное решение спора последовало только в 1850 году. Выше было сказано, что по теории истечения

скорость света внутри прозрачных тел должна быть больше, чем в пустоте; теория же колебаний приводила к обратному результату. скорость света должна быть наибольшею в пустоте. Французский ученый Фуко (Foucault, 1819—1868) произвел в 1850 году знаменитый опыт, давший ему возможность сравнить скорости света в воздухе и в воде. При этом оказалось, что скорость света в воде меньше, чем в воздухе, и только этим была окончательно устранена Ньютоновская теория истечения света.

Мы не входим в дальнейшие детали постепенного развития теории колебаний эфира. Отметим только одно обстоятельство. Гюйгенс полагал, что колебания частиц эфира происходят по направлению самого луча, такие колебания, называемые продольными, мы имеем в явлениях звуковых Но в 1819 году Френель и Араго (Arago, 1786—1853) неопровержимо доказали, что световые колебания суть колебания поперечные, то-есть, что частицы эфира колеблются вдоль прямых линий, перпендикулярных к лучу Отсюда вытекает важный результат: для продольных колебаний существует только одно возможное направление колебаний, а именно направление самого луча, вдоль которого расположенные на нем частицы совершают свои колебания и с которого они при этом не сходят. Для поперечных же колебаний существует в каждой точке луча бесчисленное множество направлений, в которых могут происходить колебания частицы эфира. Все эти направления перпендикулярны к лучу. Положим, что мы имеем горизонтальный луч, который направлен прямо к наблюдателю; тогда поперечные колебания могут происходить, например, сверху вниз, или справа на лево или под каким угодно наклоном, но непременно в вертикальной плоскости, перпендикулярной к лучу. Если бы мы могли видеть эти колебания, то их совокупность представилась бы нам в виде звездообразной фигуры, расходящейся во все стороны от данной точки луча.

Третью из упомянутых на стр. 114 теорий, электромагнитную теорию света мы сейчас рассматривать не будем (см. § 12). В дальнейшем мы будем придерживаться теории колебаний; все, что нам при этом придется высказывать, останется верным, если перейти к электромагнитной теории, которая представляется особого рода теорией колебания, хотя и не частиц эфира. Само собой разумеется, что мы будем об'яснять световое явление так, как это было сделано Юнгом, Френелем и их последователями. Интересно отметить, что Гюйгенс не мог, например, об'яснить существования разноцветных лучей.

§ 4. Свет как распространяющееся колебательное движение. О спектрах. В § 2 мы рассмотрели явление колебательного движения, распространяющегося в какой-либо среде, и познакомились с теми величинами, которые характеризуют это

явление; такими величинами оказались амплитуда, время (период) и частота (число в секунду) колебаний; далее, скорость распространения колебаний и длина волны λ. Между этими величинами существуют связи, из которых мы напомним только следующие: длина волны λ прямо пропорциональна периоду и обратно пропорциональна частоте колебаний, длина волны λ, помноженная на частоту, равна скорости распространения колебаний. Мы получим частоту колебаний, если мы скорость распространения разделим на длину волны

По теории Гюйгенса свет и есть распространяющееся колебательное движение, а потому все сказанное в § 2 мы можем приложить к световым явлениям Скорость распространения колебаний и есть скорость света, то-есть 300 000 километров или 3.10^{10} сантиметров в одну секунду (стран 112). Длина волны светового луча очень мала, и потому она, для избежания малых дробей, выражается в особого рода единицах длины. Для этого употребляется одна тысячная доля миллиметра, которая обозначается греческой буквой μ; изредка употреблялась также единица $\mu\mu$, равная одной миллионной доли миллиметра; в настоящее время длину световой волны измеряют чаще всего единицей длины, которая в честь шведского ученого Ангстрема (Anders Jones Ångstroem, 1814—1874), получила название ангстрем; она равна одной десятимиллионной доле миллиметра и обозначается буквой A (правильнее было бы писать шведское Å, которое выговаривается, как O, и соответственно писать онгстрем). Таким образом,

$$A = 0{,}1\ \mu\mu = {}^1/_{10000}\,\mu = {}^1/_{10}{}^7 \text{ миллим.}$$

Длины волны μ световых лучей находятся между 0,76 μ и 0,4 μ или между 7600 A и 4000 A.

Разноцветные лучи отличаются друг от друга периодом или, что сводится к тому же, частотой колебаний или, наконец, длиной волны. Итак, цвет луча определяется его длиной волны, или, еще нагляднее, быстротой колебаний. Таким образом, цвет играет в оптике как раз ту же роль, какую в акустике играет высота звука (тона). Подобно тому, как мы звуки располагаем в один непрерывный ряд по возрастающей частоте колебаний, то-есть по возрастающей высоте или, что то же самое, по убывающей длине волны, мы и все световые лучи можем себе представить расположенными в один ряд по возрастающей частоте колебаний, то-есть по убывающей длине волны Этот ряд тот же самый, который приведен на стран 112, и который получается, если расположить световые лучи в один ряд по уменьшающейся скорости их распространения в большинстве прозрачных сред. Мы его написали в таком порядке: лучи красные, оранжевые, желтые, зеленые, голубые, синие и фиолетовые; но это только главные цвета, между которыми находятся бесчисленные лучи с промежуточными цветами, которые получаются при посте-

пенном переходе одного из указанных семи цветов к соседнему Крайний, то-есть последний луч этого ряда на красном конце имеет наибольшую длину волны $\lambda = 0{,}76\ \mu = 7600$ А, между тем, как для крайнего фиолетового луча $\lambda = 0{,}4\ \mu = 4000$ А. Отсюда видно, что совокупность всевозможных световых лучей не составляет даже одной целой октавы. Одна октава получилась бы, если бы фиолетовый конец доходил бы до 3800 А (половина от 7600 А), или если бы красный конец находился у 8000 А (удвоенное 4000 А) На длине одного миллиметра укладываются примерно 1300 длин волн крайнего красного и 2500 длин волн крайнего фиолетового луча. Для упрощения, полезно себе заметить, что длина волны светового луча в среднем примерно равна $^1/_{2000}$ миллиметра.

Зная длину волны, мы легко получим частоту, то-есть число колебаний, совершаемых в течение одной секунды. Для этого следует скорость света разделить на длину волны, то-есть узнать сколько раз крошечная длина волны, например, $^1/_{2000}$ миллиметра, содержится в огромной длине пути, проходимого светом в одну секунду, то-есть в 300 000 километрах. Получаются невообразимо громадные числа, а именно:

Для крайнего красного луча . . 4.10^{14} колебаний в сек.
Для крайнего фиолетового луча $7{,}5.10^{14}$ колебаний в сек

Итак, число колебаний в секунду представляет число с 14-ью нулями, оно равно от четырех до семи с половиной сотен биллионов в секунду. Отсюда ясно, что в области световых явлений мы имеем дело с несравненно более быстрыми колебаниями, чем в области явлений звуковых. Частота наиболее медленных световых колебаний воспринимаемых глазом, превышает в десять тысяч миллионов раз частоту наиболее быстрых звуковых колебаний, воспринимаемых ухом, и в пятьсот миллионов раз частоту наиболее быстрых акустических колебаний, которые до сих пор удалось воспроизвести (стран. 106).

В § 3 мы перечислили немногие из основных свойств световых лучей; теперь мы можем перейти к рассмотрению еще некоторых особенно важных световых явлений. Мы не останавливаемся на отражении световых лучей от гладких поверхностей; этим явлением об'ясняются, как всем известно, свойства зеркал. Рассмотрим несколько внимательнее явление преломления световых лучей. Оно заключается в том, что световой луч меняет направление своего распространения, когда он переходит из одного вещества в другое. Положим, что луч переходит из воздуха в какую-либо для него прозрачную среду, например, в воду, в стекло и т. д. На рис. 2 PQ обозначает верхнюю, гладкую и плоскую поверхность куска прозрачного вещества, например, стекла, так что ниже PQ мы имеем стекло, между тем, как выше находится воздух. Через MN обозначена прямая, перпендикулярная к поверх-

ности PQ; такая прямая называется нормалью. Положим, далее, что в воздухе распространяется световой луч по направлению AB; в точке B он встречает поверхность стекла, в которое он и входит, распространяясь далее в стекле по направлению BC, которое, как видно на рисунке, не есть прямое продолжение направления AB. Луч оказывается в точке B как бы преломленным, он приблизился к нормали. Мы можем вообще сказать, что при переходе из воздуха в жидкую или твердую среду луч света, преломляясь, приближается к нормали. Преломления не будет, если луч имеет направление MB самой нормали; он в этом случае пойдет в стекле по направлению BN. Если мы устроим так, чтобы по одному и тому же направлению AB (рис. 3) последовательно распространялись разноцветные лучи, например, сперва красный, потом оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий и, наконец, фиолетовый, то окажется, что их преломление неодинаковое;

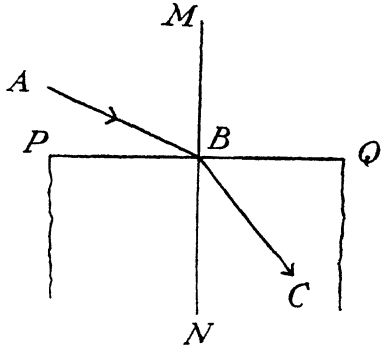

Рис. 2.

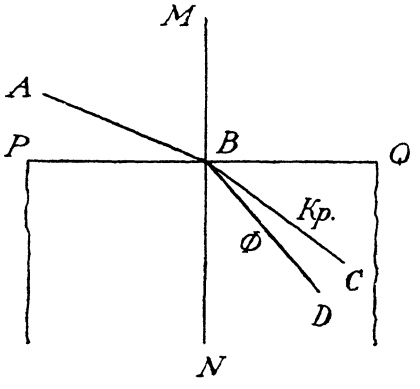

Рис. 3.

они пойдут в стекле по различным направлениям, а именно: преломление непрерывно увеличивается, когда идти от луча красного через указанные промежуточные лучи к фиолетовому. Наименее преломляется луч красный, наиболее — луч фиолетовый; на рис. 3 обозначены только эти крайние лучи: красный (Кр.) BC и фиолетовый (Ф) BD; остальные лучи пойдут по направлениям, лежащим между BC и BD. Уже Гюйгенс доказал, что луч должен тем сильнее преломляться, чем медленнее он распространяется во второй среде, например, в стекле. Поэтому, порядок цветов один и тот же здесь, как и на стр. 112, 113. Однако, тот же порядок мы нашли и на стр. 117, где лучи были распределены по возрастающей частоте колебаний, то-есть по убывающей длине волны. Это дает нам важнейший результат: световой луч тем сильнее преломляется, чем быстрее в нем происходят колебания, то-есть чем короче его длина волны. В некоторых особенных слу-

чаях этот закон не оправдывается, но нам нет надобности их рассматривать.

Когда луч выходит из жидкой или твердой среды в воздух, то он от нормали удаляется; если на рис. 2 луч в стекле имеет направление от C к B, то он в воздухе пойдет от B к A. Мы получим более сильное отклонение луча от его первоначального направления, если мы его пропустим через трехгранную призму, хотя бы из стекла Такая призма изображена на рис. 4. На рис. 5 треугольник ABC представляет поперечный разрез такой призмы. Пусть DE луч, падающий на грань AB призмы; входя в стекло, луч приближается к нормали и идет внутри стекла по направлению от E к F. При выходе из призмы луч удаляется от нормали и в воздухе имеет направление FG; таким образом, два преломления как бы складываются; полное изменение направления луча зависит от вещества призмы и от рода, то-есть цвета луча; наименее отклоняется красный луч, наиболее — фиолетовый.

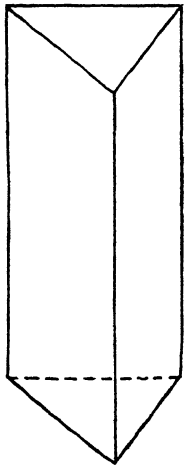

Рис. 4

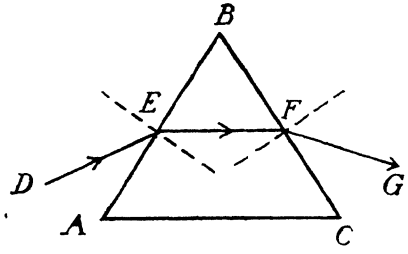

Рис. 5.

Мы до сих пор предполагали, что имеем дело с цветным лучем. Предположим, теперь, что на призму, поперечное сечение которой представляет треугольник ABC (рис. 6), падает белый луч, например, от пламени свечи, от электрической лампочки, или вообще от раскаленного тела. Тогда оказывается, что этот луч, войдя в призму, распадается на беспредельно большое число разноцветных лучей (на рисунке изображены только пять лучей), которые после выхода из призмы еще более расходятся. Если на пути этих лучей установить белый экран (стенку) MM, то мы на нем увидим полосу FG, окрашенную в те семь цветов, с бесчисленными между ними переходами, которые уже неоднократно нами перечислялись. В F будет находиться красный конец, в G — фиолетовый; из промежуточных лучей на рис. 6 обозначены только три. Вся полоса изображена на рис. 7, разделенной на семь частей, границы которых обозначены более или менее произвольно, так как цвета постепенно

переходят один в другой. Описанное здесь явление, впервые подробно исследованное Ньютоном около 1668 года, было им же об'яснено тем, что белый луч представляет смесь всех тех разноцветных лучей, на которые он призмой разлагается Полоса, о которой мы только что говорили, называется спектром белого света, она является как бы реальным осуществлением ряда разноцветных лучей, расположенных по убывающим скоростям распространения в непустом пространстве, или, что то же самое, по убывающим длинам волн и по возрастающим частотам колебаний (стран 117). Весь спектр занимает менее одной октавы (стран. 118). Цвета лучей, образующих спектр, называются спектральными; это цвета чистые или простые, то-есть уже не разлагающиеся на дальнейшие составные части. Соответствующий им свет также называется простым или монохроматическим (одноцветным). Лучи, получаемые при смешении различных спектральных лучей, взятых в каких угодно пропорциях, называются

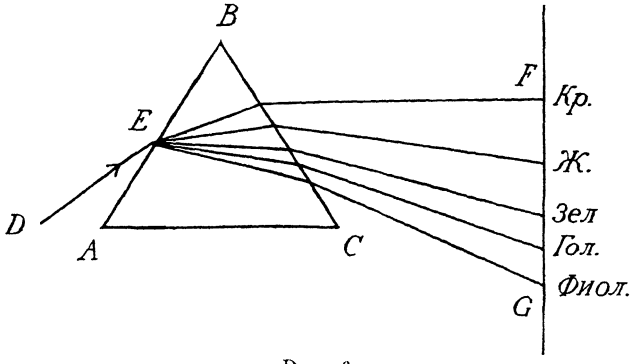

Рис. 6.

лучами сложными. Бесчисленные по разнообразию цвета тел и суть почти всегда цвета сложные, получающиеся тем или другим сочетанием определенных лучей простых, то-есть спектральных.

Анализ сложного луча производится пропусканием его через призму, при чем получается его спектр, одного взгляда на который достаточно, чтобы сразу обозреть все составные части данного луча. Отдел оптики, занимающийся изучением состава сложного света, называется спектральным анализом; приборы, которыми пользуются для этой цели, называются спектроскопами, спектрометрами и, если они служат для фотографирования спектров, — спектрографами. Слово «спектр» относят, впрочем, не только к свету, но также и к самому источнику света. Так, говорят о спектрах солнца, звезд, комет, о спектрах накаленных или, вообще, светящихся тел; далее говорят о спектрах различных газов, полагая, что они доведены до свечения, хотя бы при прохождении через них

электрических токов, наконец, говорят о спектрах металлов и друг. веществ, например, о спектрах железа, ртути и т. д., подразумевая спектр светящихся паров этих веществ

Белые лучи дают спектр сплошной, в котором находятся все цвета от красного до фиолетового. Но другие лучи могут давать спектры, в которых те или другие части отсутствуют, то-есть заменены темными полосами, или даже спектры, состоящие из отдельных ярких, параллельных друг другу, разноцветных линий, показывающих, что рассматриваемый источник света испускает только некоторые лучи определенной преломляемости или, что то же самое, определенных длин волн. Все эти спектры называются спектрами испускания, они дают нам анализ, то-есть определяют состав лучей, испускаемых различными источниками света. Не менее важны спектры поглощения, ясно показывающие, какие лучи поглощаются тем или иным веществом. Эти спектры получаются, если белые лучи, дающие сплошной спектр, пропустить через испытуемое вещество и затем через призму. Тогда сразу обнаружится, какие

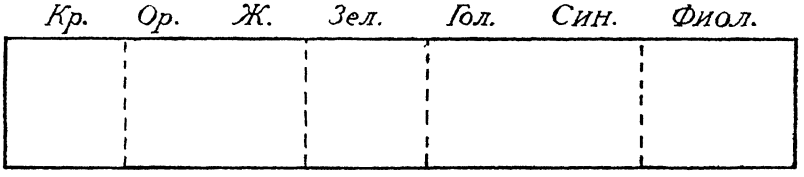

Рис. 7.

лучи поглощаются этим веществом, ибо мы увидим, на фоне сплошного спектра, что некоторые части спектра отсутствуют, другие более или менее ослаблены. Итак, спектральный анализ дает нам возможность с величайшей подробностью и точностью определить, во-первых, какие световые колебания испускает данное светящееся тело и, во-вторых, какие световые колебания поглощаются данным веществом.

§ 5. Некоторые свойства световых лучей. Разложение света на его спекральные составные части дает нам возможность ближе познакомиться с четырьмя действиями света, которые окажутся для нас весьма важными, когда мы приступим к ознакомлению с различными видами лучистой энергии Эти четыре действия света мы теперь и рассмотрим.

I) Действие тепловое. На стран. 63 уже было сказано, что свет есть вид энергии. Когда световые лучи поглощаются каким-либо телом, то возникает другой вид энергии, а именно, в большинстве случаев энергия тепловая; тела, поглощающие световые лучи, при этом нагреваются. Заметим, что сажа почти совершенно

поглощает все падающие на нее лучи, превращая их энергию в теплоту. Теперь возникает весьма важный вопрос. Положим, что мы имеем дело с лучами белыми; мы знаем, что они несут с собой поток энергии Спрашивается: как эта энергия распределяется между составными частями белого света, то-есть между различными спектральными лучами? Иначе говоря, возникает вопрос о распределении энергии в спектре. Можно предположить, например, что все разноцветные лучи обладают одинаковой энергией, или что энергия распределена не равномерно, более сосредоточиваясь на лучах определенных длин волн (определенного цвета). Во всяком случае несомненно, что все лучи спектра обладают энергией, так как при поглощении сажей каждого из спектральных лучей возникает теплота Вопрос, который мы поставили, может быть решен с большой точностью. Для этого разлагают белые лучи, так, что получается спектр, хотя бы на экране. Затем берут весьма чувствительный термометр, поверхность которого покрыта сажей, и помещают его последовательно в различные части спектра так, чтобы на него всегда падал только узенький отрезок спектра. Повышение температуры, которое обнаружит термометр, и покажет нам, как велика световая энергия различных лучей, входящих в состав белого света. При этом, прежде всего, подтверждается, что все, без исключения, лучи нагревают термометр, то-есть содержат световую энергию, которая при поглощении превращается в энергию тепловую. Далее, оказывается, что для всех земных источников света энергия непрерывно убывает, если идти вдоль спектра от красного конца к фиолетовому; наибольший запас энергии заключается в лучах красных, наименьший — в лучах фиолетовых. Однако, если мы этот опыт проделаем с лучами солнца, то мы получим другой результат. наибольшая энергия принадлежит здесь лучам желтовато-зеленым и энергия уменьшается в обе стороны, то-есть не только если идти к фиолетовому концу спектра, но также по направлению к концу красному. Вообще, оказывается, что распределение энергии вдоль спектра зависит от температуры источника света К этому вопросу мы еще возвратимся впоследствии.

II) Действие химическое. В некоторых веществах поглощенная световая энергия расходуется на работу разложения молекул на составные части, так что в этом случае кинетическая световая энергия переходит в потенциальную химическую энергию. Так, например, соединения серебра с хлором, с иодом и с бромом разлагаются светом на те два элемента, из которых они состоят. На этом, как известно, основана фотография. Теперь мы ставим вопрос о химическом действии различных спектральных лучей. Для решения этого вопроса мы вновь разлагаем белый

свет и помещаем «светочувствительную», то-есть фотографическую пластинку так, чтобы спектр образовался на ее поверхности. При этом различные лучи, очевидно, будут действовать на рядом расположенные места пластинки, так что легко будет сравнить их химические действия. Оказывается, что наиболее сильное химическое действие производят лучи фиолетовые; слабее действуют лучи синие, еще слабее лучи голубые. Остальные лучи почти никакого химического действия не производят. Впрочем, не так давно удалось приготовить такие пластинки, на которые, хотя и слабо, действуют и остальные лучи до красных включительно.

III) Флюоресценция Существуют вещества, которые обладают следующим странным свойством: Если они освещаются, хотя бы белыми лучами, то они начинают испускать, и притом во все стороны, световые лучи совершенно определенного и для них характерного цвета. Примером может служить кусок уранового стекла, например, кубик, который сам по себе имеет слабо желтоватую окраску, ясно выступающую, если смотреть через него на белый предмет; прошедшие через него белые лучи дают на белой поверхности (на экране) желтое пятно. Но если его осветить с одной стороны, то он сбоку представляется ярко зеленым. Этот зеленый свет испускается с особенною яркостью, если осветить кубик фиолетовыми лучами; меньшая яркость получается при освещении синими и еще меньшая при освещении голубыми лучами. Зеленые лучи вызывают мало заметное испускание, а желтые, оранжевые и красные лучи свободно проходят через кубик, не вызывая ни малейших следов испускания зеленых лучей. Такое явление называется флюоресценцией, а вещества, обнаруживающие это явление — флюоресцирующими. Мы здесь, очевидно, имеем дело с превращением световой энергии лучей одного цвета в световую же энергию лучей другого цвета Урановое стекло поглощает фиолетовые лучи и как бы перерабатывает их в лучи зеленые, которые и испускаются во все стороны; мы говорим, что флюоренсценция вызывается особенно сильно фиолетовыми лучами, слабее — синими и еще слабее — голубыми. Ясно, что флюоресценция вызывается лучами, преломляемость которых больше преломляемости возбуждаемых лучей, а длина волны меньше длины волны последних. При внутренней переработке получается увеличение длины волны, превращение лучей в другие, расположенные ближе к красному концу спектра. Различные вещества флюоресцируют различными цветами. Так, например, раствор сернокислого хинина флюоресцирует голубыми лучами, раствор хлорофилла — красными, плавиковый шпат — синевато-фиолетовыми, розовая краска магдала — оранжево-желтыми, настой лакмуса — коричневыми и т. д. Особенно сильно флюоресцирует двойная синеродистая соль платины и бария ярко желтыми

лучами, этой солью покрывают листы, вставленные в рамку, так что получается очень удобный для опытов «флюоресцирующий экран». Флюоресценция исчезает, как только прекращается освещение лучами, которые ее вызывают.

IV) Фосфоресценция. Существуют вещества, которые светятся в темноте после того, как они подвергались более или менее продолжительному освещению. Это явление называется фосфоресценцией, а вещества — фосфоресцирующими. К ним принадлежат соединения серы с металлами цинк, кальций, барий и стронций, при чем краска, яркость и продолжительность фосфоресценции зависят от различных примесей к указанным соединениям. Фосфоресцируют также алмаз, известковый шпат, некоторые сорта плавикового шпата и другие вещества. И здесь преломляемость лучей, испускаемых после освещения, меньше преломляемости лучей, возбуждающих фосфоресценцию Можно приготовить также вещества, свечение которых в темноте продолжается в течение нескольких часов. Ими иногда покрывают спичечницы и подсвечники, так что их в темноте, например, ночью легко найти Для нас весьма важно отметить следующее странное явление красные лучи тушат фосфоресценцию. Это можно обнаружить следующим опытом. Возьмем экран, покрытый фосфоресцирующим веществом, и осветим его сильным источником света, например, электрической вольтовой другой. Затем, покроем его листом папки, посреди которой вырезано круглое отверстие. Положим на это отверстие кусок красного стекла и вновь осветим его яркими лучами; если через некоторое время прекратить это освещение и в темноте снять папку и стекло с экрана, то окажется, что посреди светящейся поверхности экрана находится темное пятно, как раз под тем местом, где находилось красное стекло; прошедшие через стекло красные лучи потушили ту фосфоресценцию, которая раньше была вызвана более преломляемыми лучами, входившими в состав света, который служил для возбуждения фосфоресценции.

Мы рассмотрели четыре действия световых лучей. Отметим еще раз, что на красном конце спектра происходит тушение фосфоресценции и лучи всех источников света на земле обладают наибольшей энергией, а, следовательно, и наибольшей нагревательной способностью; на фиолетовом конце спектра находятся те лучи, которые вызывают наиболее яркую флюоресценцию и наиболее сильные химические действия.

§ 6 Лучистая энергия Лучи инфракрасные и ультрафиолетовые. При разложении белого света мы получили спектр, который тянется от красного конца до фиолетового, при чем в этом направлении увеличивается преломляемость лучей, уменьшается длина волны от $\lambda = 0{,}76\ \mu = 7600$ A до $\lambda = 0{,}4 = 4000$ A, и увеличивается число колебаний, совершаемых в одну секунду.

Вся совокупность этих лучей не обнимает даже одной октавы. Невозможно определить с точностью концы спектра белых лучей, резких концов нет, красные и фиолетовые части спектра постепенно ослабевают, то-есть темнеют и, наконец, исчезают, переходя в черный фон, на котором никакой окраски не заметно. Положение двух концов спектра зависит от чувствительности глаза и для различных лиц представляется неодинаковым, так что на вышеуказанные длины волн предельных лучей 0,76 μ и 0,4 μ следует смотреть, как на приблизительные средние значения.

Оказывается, что описанный спектр продолжается в обе стороны на громадное расстояние, с одной стороны, а именно, за красной частью, расположен спектр лучей, длины волн которых больше 0,76 μ, то-есть больше 7600 А, между тем, как за фиолетовой частью мы имеем спектр лучей, длины волн которых меньше 0,4 μ, то-есть меньше 4000 А. Лучи того и другого рода не действуют на наш глаз; это *лучи невидимые*. Неудобно говорить о невидимом свете, который, в действительности, для нас является темнотой; поэтому, *был введен один общий термин для лучей всевозможных длин волн*; вся их совокупность получила общее название *лучистая энергия*. Спектр лучистой энергии имеет, как мы увидим, огромную длину и лишь весьма малую его часть составляет уже описанный нами видимый спектр. Оказывается, что та часть, которая лежит за красным концом видимого спектра, никакого определенного конца не имеет, так как легко получить лучи, длина волны которых сколь угодно велика. Но такие лучи никакого интереса не представляют и потому мы обрываем спектр со стороны длинных волн такими лучами, которые имеют, как мы увидим, практическое значение и уже по этой причине представляются важными и интересными.

Вся невидимая часть спектра лучистой энергии распадается на четыре части, из которых две, непосредственно примыкающие к концам видимого спектра, давно известны, а остальные две, расположенные далеко от видимого спектра, за первыми двумя, открыты сравнительно недавно. Прежде всего, мы, однако, ответим на вопрос: откуда же ученые узнали о существовании невидимых лучей, то-есть о продолжении спектра за его красным и фиолетовым концами? Ответ будет понятен, если вспомнить о тех четырех действиях видимых лучей, которые мы рассмотрели в предыдущем параграфе.

А. *Лучи инфракрасные*. В § 5 было сказано, что распределение энергии по разноцветным лучам спектра, а, следовательно, и нагревательное действие этих лучей могут быть определены, перемещая вдоль спектра чувствительный термометр. При этом оказалось, что для всех земных источников света энергия растет по направлению от фиолетового конца спектра к красному. Если перемещать термометр еще дальше, то-есть за красный конец спектра, то он показывает дальнейшее усиление нагревания, это усиление

продолжается до значительного расстояния от красного конца, затем начинается уменьшение нагревания и постепенное его исчезновение. Вообще, нагревание можно проследить до такого расстояния от красного конца спектра, которое во много раз превосходит всю длину видимого спектра Отсюда ясно, что спектр источника, испускающего белые лучи, не ограничен видимою частью, но тянется еще далеко за красным концом этой части. Здесь находится обширная область лучей, не действующих на наш глаз, то-есть лучей невидимых. В этих лучах сосредоточена бо́льшая часть всей энергии и между ними находятся те лучи, которые обладают наибольшей энергией. Мы увидим ниже, что для большинства источников света, энергия видимых лучей составляет весьма малую часть всего запаса лучистой энергии, которой обладают белые лучи. Невидимые лучи, о которых мы говорим, называются инфракрасными; они образуют инфракрасную часть спектра. Ее существование доказывается еще следующим опытом Мы образуем спектр источника белых лучей на поверхности экрана, покрытой фосфоресцирующим веществом, которое предварительно было подвергнуто сильному освещению так, что оно светится в темноте, и заставим этот спектр в течение некоторого времени действовать на экран. Если затем прекратить доступ лучей к экрану, то мы увидим потемнение не только в том месте, где находилась красная часть видимого спектра, но еще темную полосу за этим местом, то-есть там, где находились лучи инфракрасные. Этот опыт не только подтверждает существование инфракрасных лучей, но еще обнаруживает способность этих лучей тушить фосфоресценцию. Впрочем, не все инфракрасные лучи тушат фосфоресценцию, но лишь те, которые образуют часть инфракрасного спектра, ближайшую к спектру видимому.

Немецкий ученый Рубенс (Rubens, в Берлине, род. 1865) много и весьма успешно занимался изучением инфракрасных лучей, наличность которых он обнаруживал по их тепловому действию. Проникая постепенно все дальше и дальше, ему удалось добраться до области лучей со сравнительно весьма большою длиною волны Длина инфракрасного спектра, которая была им исследована до 1911 года, равняется $8^1/_2$ октавы, то-есть она примерно в девять раз больше длины всего видимого спектра. Длины волн инфракрасных лучей начинаются, конечно, с $\lambda = 0{,}76\,\mu =$ 0,0076 миллиметра и доходят до $\lambda = 313$ $\mu = 0{,}313$ миллиметра, то-есть почти до одной трети миллиметра. Частота колебаний для первого из этих лучей равна 4.10^{14} колебаний в секунду, а для последнего 10^{12} колебаний в секунду. Длина волны наиболее далекого инфракрасного луча в 400 раз больше, а частота в 400 раз меньше, чем те же величины для инфракрасного луча, ближайшего к видимой части спектра.

Некоторые вещества, прозрачные для лучей видимых, сильно

поглощают лучи инфракрасные; сюда относятся стекло, квасцы, раствор квасцов, раствор медного купороса, лед и др. Но, например, каменная соль, минерал сильвин (соединение хлора с металлом калием), минерал флуорит и хлористое серебро хорошо пропускают значительную часть инфракрасного спектра С другой стороны, черный раствор иода в жидком сероуглероде, совершенно непрозрачный для лучей видимых, хорошо пропускает инфракрасные лучи, и то же самое относится к тонкому слою эбонита.

Обращаемся к весьма интересному вопросу о распределении энергии в спектре различных тел, испускающих видимые и инфракрасные лучи Уже было сказано, что для всех земных источников максимум энергии находится в инфракрасной части спектра. Оказывается, что распределение энергии зависит от температуры источника лучей. С повышением его температуры увеличивается, как и можно было ожидать, энергия всех лучей, но в то же время место наибольшей энергии перемещается к лучам меньшей длины волны, то-есть приближается к видимой части спектра. В следующей табличке показано, в каком месте спектра, то-есть при какой длине волны λ, выраженной в единицах длины $\mu = 0{,}001$ мм, находится наибольшая энергия, когда источник лучей имеет температуру t° С.

t° С	λ	t° С	λ	t° С	λ
—240°	100 μ	300°	5 μ	2000°	1,3 μ
—100°	17 μ	500°	3,5 μ	3550°	0,76 μ
0°	10,6 μ	1000°	2,3 μ	5000°	0,55 μ
100°	7,7 μ				

Эта табличка ясно показывает, как уменьшается длина волны лучей, обладающих наибольшей энергией, по мере повышения температуры источника лучей. При —240° С (жидкий водород имеет температуру —253°) максимум энергии принадлежит лучам, длина волны которых = 100 μ, эти лучи находятся на расстоянии более семи октав от красного конца видимого спектра. Спектр лучей, испускаемых столь холодным телом, обладает очень малой энергией и весь он расположен в далекой инфракрасной части с двух сторон от места, определяемого длиною волны $\lambda = 100\,\mu$. При 0° С имеем $\lambda = 10{,}6\,\mu$, а при комнатной температуре приблизительно $\lambda = 10\,\mu$. Колебания температуры на земной поверхности тут не имеют большого влияния, при t = —40° С получается $\lambda = 12\,\mu$; а при t = +40° С длина волны $\lambda = 9{,}3\,\mu$. Мы видим отсюда, что тела, находящиеся на земной поверхности, испускают инфракрасные лучи, спектр которых расположен с двух сторон от лучей $\lambda = 10\,\mu$, обладающих наибольшей энергией и находящихся на расстоянии более чем $3^1/_2$ октавы от красного конца видимого спектра. Вот этими-то невидимыми

лучами наполнено всякое пространство, в котором для нас царит темнота и нет горячих (в обыденном смысле этого слова) тел.

При 1000° С тела уже ярко светятся, но максимум энергии все еще лежит в инфракрасной части на расстоянии $1^1/_2$ октавы от лучей красных. Заметим, что золото плавится при 1063°, медь при 1083°, платина при 1764°, тантал и вольфрам (металлы, которыми пользуются в электрических лампочках накаливания) плавятся при 2900° и 3100°. Наша табличка показывает, что даже при этих, с трудом достигаемых температурах, при которых почти все тела плавятся, максимум энергии, всетаки находится в инфракрасной части спектра. Только при 3550° С этот максимум доходит до того места, где находятся слабо видимые темно-красные лучи, и только при еще более высоких температурах, как например, при температуре солнца, максимум энергии перемещается в видимую часть спектра.

Огромный интерес представляет еще следующая табличка, показывающая какая часть лучистой энергии, испускаемой различными источниками, приходится на лучи видимые и какая на лучи невидимые, инфракрасные (в процентах).

	Энергия видимых лучей	Энергия инфракрасн. лучей
Платина при красном калении . .	0% (незаметно)	100%
Пламя масла	3	97
Пламя газовое	4	96
Платина при белом калении . . .	4,6	95,4
Угольная лампочка накаливания . .	6	94
Вольтова дуга	10,4	89,6
Ацетиленовое пламя	10,5	89,5

Мы видим, что тела, находящиеся при белом калении, испускают лучистую энергию, лишь $^1/_{20}$-ая часть которой приходится на лучи видимые, и даже в ослепительно ярких вольтовой дуге и ацетиленовом пламени немного более одной десятой части всей энергии принадлежит видимым лучам.

Б) Лучи ультрафиолетовые. Мы рассмотрели спектр лучистой энергии, представляющий продолжение видимого спектра со стороны его красного конца, то-есть по направлению возрастающих длин волн и убывающих частот колебаний. Обратимся теперь к другому, к фиолетовому концу видимого спектра; и за ним тянется невидимая часть спектра лучистой энергии по направлению убывающих длин волн и возрастающих частот колебаний. Лучи, длина волны λ которых меньше 0,4 μ, то-есть меньше 4000 А, называются ультрафиолетовыми. Изученный до сих пор ультрафиолетовый спектр тянется от $\lambda = 4000$ А приблизительно до $\lambda = 500$ А. Его длина равна 3 октавам; она много короче инфракрасного спектра,

но все же в три раза длиннее спектра лучей видимых. Частота колебаний для начала ультрафиолетового спектра, то-есть для $\lambda =$ 400 А равна 7,5 10^{14} колебаний в секунду, а для крайних ультрафиолетовых лучей, то-есть для $\lambda = 500$ А, она в восемь раз больше и равна 6 10^{15} колебаний в секунду. Существуют два способа обнаружить и исследовать ультрафиолетовые лучи.

Если образовать на поверхности фотографической пластинки спектр источника, находящегося при высокой температуре, то после действий, обычных при фотографировании, оказывается, что пластинка подверглась воздействию не только голубых, синих и фиолетовых лучей, но что за фиолетовым концом находится еще длинная полоса, вдоль которой невидимая часть спектра оставила на пластинке след; этот след представляет фотографию ультрафиолетовой части спектра. Если подобным же образом вызвать спектр на поверхности флюоресцирующего экрана, например, покрытого двойной синеродистой солью платины и бария (стр. 124), то мы увидим на экране длинную светлую полосу за фиолетовым концом видимого спектра. Эта светлая полоса, конечно, не есть спектр самих ультрафиолетовых лучей, которые на наш глаз не действуют и потому при всех обстоятельствах остаются невидимыми; но эта полоса ясно обнаруживает существование ультрафиолетовых лучей, указывая те места флюоресцирующей пластинки, в которых эти лучи вызвали флюоресценцию, то-есть были поглощены и «переработаны» в лучи видимые, например, желтые. Эти лучи, испускаясь упомянутой солью во все стороны, доходят до нашего глаза, так что мы видим ту полосу, вдоль которой простирался спектр ультрафиолетовых лучей. Кроме указанных двух главных способов, можно исследовать ультрафиолетовый спектр также и по способу измерения нагревательного действия лучей, которое, хотя оно и не велико, все же может быть обнаружено современными, весьма чувствительными приборами. Сюда относящиеся работы были произведены различными учеными, начиная с 1902 года.

Ультрафиолетовые лучи поглощаются многими веществами, которые вполне прозрачны для лучей световых; сюда относятся стекло, слюда и воздух. Столб воздуха, длиной в 10 метров, вполне поглощает все ультрафиолетовые лучи, длина волны которых меньше 2118 А; один метр воздуха не пропускает лучей до $\lambda = 1842$ А и даже слой воздуха в 0,1 метра толщины поглощает все лучи, длина волны которых меньше 1566 А. Немецкий ученый Шуман (Schumann, 1841—1913) построил прибор (1893 и 1901), в котором оптические части сделаны не из стекла, а из бесцветного плавикового шпата, вполне прозрачного для ультрафиолетовых лучей. Фотографическая пластинка была покрыта слоем чистого бромистого серебра, без желатины, которая поглощает наиболее коротковолные лучи. Кроме того, воздух был по возможности выкачан из всего прибора, в котором происходило лучеиспускание водорода под влиянием

электрических разрядов. До этой работы ультрафиолетовый спектр был получен только до $\lambda = 1850$ А. Шуману удалось дойти до 1000 А и потому эти далекие ультрафиолетовые лучи называются шумановскими лучами. Еще дальше подвинулся в самое последнее время американский ученый Лейман (Lyman), который открыл (1914—1916) еще целую октаву ультрафиолетовых лучей от $\lambda = 1000$ А до $\lambda = 500$ А. Весьма интересно, что тонкий слой серебра, совершенно непрозрачный для лучей видимых, весьма хорошо пропускает определенную группу ультрафиолетовых лучей, длина волны которых находится около $\lambda = 3200$ А. Это дало возможность произвести следующий курьезный опыт. В совершенно темной комнате был установлен непрозрачный ящик, одна из боковых стенок которого состояла из тонкого листа серебра; внутри ящика была помещена электрическая вольтова дуга, свет которой богат ультрафиолетовыми лучами. Тогда оказалось возможным получить в совершенно темной комнате фотографию находящихся в ней предметов. Об'ясняется это тем, что означенные предметы как бы «освещались» невидимыми ультрафиолетовыми лучами, прошедшими через слой серебра, и это делало их «видимыми», не для глаза, но для светочувствительной фотографической пластинки.

Мы рассмотрели спектр лучистой энергии на протяжении $12^1/_2$ октавы, из которых менее одной октавы приходится на спектр видимых лучей, $8^1/_2$ октавы на инфракрасные и 3 октавы на ультрафиолетовые лучи, и мы, таким образом, почти в 13 раз удлинили тот спектр лучистой энергии, о которых нам дает знать наш глаз. Знакомый нам теперь спектр лучистой энергии тянется от крайних исследованных инфракрасных до крайних исследованных ультрафиолетовых лучей, то-есть от луча, длина волны которого $\lambda = 313$ $\mu = 0{,}313$ миллиметра, до луча, длина волны которого $\lambda = 0{,}05$ $\mu = 500$ ангстремам. Длина волны первого в 6250 раз больше, а частота колебаний в 6250 раз меньше, чем те же величины для луча второго. Огромная разница в частоте колебаний влечет за собой весьма большую разницу в свойствах крайних лучей, например, по отношению к отражению, поглощению различными веществами и преломлению этих лучей; последнее находится, как мы видели, в связи со скоростью распространения в веществе, при переходе в которое происходит преломление лучей. Следует, однако, твердо помнить, что все рассмотренные лучи представляют, по существу, одно и то же явление распространяющихся колебаний, то-есть явление лучистой энергии; разница между ними, прежде всего, чисто количественная, и заключается исключительно только в неодинаковости частоты, то-есть числа колебаний, совершаемых в одну секунду и, в связи с этим, в неодинаковости длины волны. Разница та же, как и между тонами различной высоты.

§ 7. Электрические колебания. Прежде чем перейти к

дальнейшим частям спектра лучистой энергии, мы должны ознакомиться с двумя интересными явлениями, а именно: с электрическими колебаниями и с явлением резонанса. Начнем с первого.

С колебательными движениями мы встречаемся во всех отделах физики, при чем все случаи таких движений обладают некоторыми общими характерными признаками, хотя причина возникновения колебаний в разных случаях может быть весьма различной. Общие признаки заключаются в следующем. мы имеем всегда перед собой тело, в такой мере свободное, то-есть не вполне закрепленное, что оно способно совершать колебательные движения. Для этого тела существует некоторое положение покоя или «равновесия», при котором или никакие силы на него не действуют, или действующие силы никакого движения тела вызвать не могут. Допустим, что какие-то внешние действующие силы отодвигают тело из положения покоя и затем удерживают его в новом положении, не давая ему возвратиться в прежнее положение покоя Если эти силы исчезают, то тело начинает возвращаться к положению равновесия и притом с возрастающей скоростью. Дойдя до положения покоя, оно, однако, не останавливается, но продолжает двигаться, удаляясь от положения покоя в сторону, противоположную той стороне, в которую оно было первоначально уклонено Теперь движение тела происходит с уменьшающеюся скоростью, пока оно не остановится на таком же удалении от положения покоя, на какое оно раньше было уклонено в первом направлении. Остановившись, тело тотчас же вновь приближается ускоренно к положению равновесия, переходит через него, движется дальше замедленно и останавливается в том самом положении, в которое внешние причины его выдвинули из положения покоя. В этот момент закончено одно полное колебание «туда и назад», начинается второе ускоренным приближением к положению равновесия, при чем повторяются все те движения, которые только-что были описаны.

Важнейшею, характерной для данного колебательного движения величиной является, как мы уже видим, период, то-есть то время, в течение которого совершается одно полное колебание, или связанная с периодом частота, то-есть число колебаний, происходящих в течение одной секунды. Весьма важно отметить, что период колебаний вполне определяется теми условиями, которые всесторонне характеризуют колеблющееся тело. К таким условиям могут относиться: 1) форма тела, 2) вещество, из которого оно состоит и которым определяются его физические свойства, как например, его плотность, его упругость и т. д., 3) его температура, 4) силы, действующие на тело. Если эти условия даны, то тело, как целое, может совершать колебания только с одним вполне определенным периодом. Этому не противоречат те случаи, когда части тела, например, каждая его половина, треть, четверть и т. д. совершают колебания с различными периодами; об

одном таком случае будет сказано ниже (колебания струны). Мы видели (стр. 108), что полуразмах колебания называется амплитудой. Описанное здесь колебание предполагает, что амплитуда остается одинаковой во всех последовательных колебаниях. В действительности мы постоянно наблюдаем, что амплитуда колебаний постепенно уменьшается и тело, в конце концов, останавливается. Такое колебание называется затухающим. Затухание может быть слабое, то-есть медленное, когда после многих колебаний амплитуда лишь немного уменьшается, а полная остановка происходит после весьма большого числа колебаний; затухание может быть сильное, то-

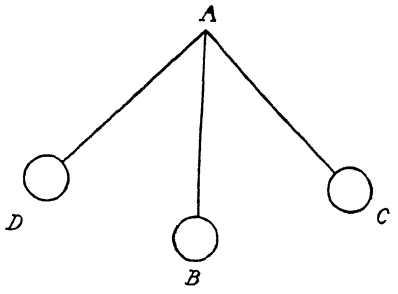

Рис. 8.

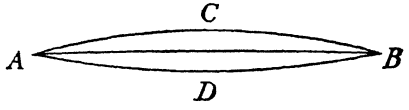

Рис. 9.

есть быстрое, когда тело останавливается после небольшого числа колебаний, при чем размах каждого колебания значительно меньше размаха колебания предыдущего

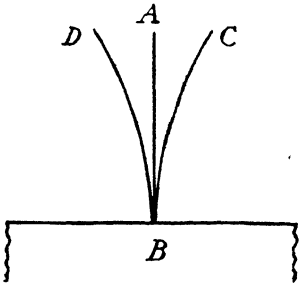

Рис. 10.

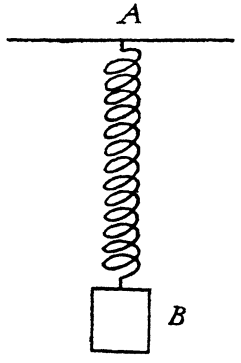

Рис. 11.

Приведем ряд примеров колебательных движений, относящихся к различным отделам физики.

1) Маятник. Колебания обыкновенного маятника вполне подходят под ту общую схему, которая нами описана. Положением покоя является положение вертикальное AB на рис. 8. Если, хотя бы рукой, отклонить маятник до положения AC и затем отпустить его, то он будет колебаться между двумя крайними положениями AC и AD; дуга BC или угол BAC определяют амплитуду колебаний. Сила, вызывающая колебания, есть сила тяжести, заставляющая отклоненный маятник возвращаться к положению покоя Период колебаний зави-

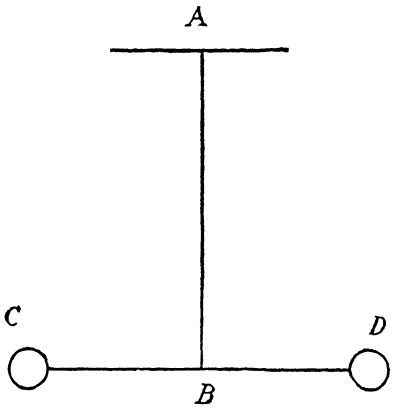

Рис. 12.

сит от длины и, вообще, от формы маятника и от величины силы тяжести, которая увеличивается, если на земле переходить от экватора к полюсам, и уменьшается при под'еме вверх, например, на гору. Период уменьшается в первом, увеличивается во втором случае. Если маятник построен не из одного вещества, то период зависит от рода и распределения веществ, из которых он составлен. Сопротивление воздуха и трение в оси вращения A делают колебания затухающими. Если маятник колеблется в воде, или если ось A сильно трется, то затухание может быть быстрое, так что маятник остановится после небольшого числа колебаний.

2) Струна (рис. 9). Если прямую струну отклонить от положения покоя AB в положение ACB и затем ее отпустить, то она станет колебаться между положениями ACB и ADB. Период зависит от длины, толщины, материала и от степени натяжения струны. В то время, как струна вся колеблется, каждая ее половина, то-есть AC и CB, может совершать особые колебания, в которых точки A, C и B не принимают участия. В то же время каждая треть, каждая четверть и т. д. может совершать свои колебания, при чем периоды этих колебаний будут в 2, 3, 4 и т. д. раз меньше периода колебаний всей струны. Этим об'ясняется примешивание обертонов к основному тону, издаваемому струной. Причина колебаний струны заключается в ее натяжении.

3) Пружина. Прямая, упругая полоска AB (рис. 10) закреплена в B; если конец A отвести в C и затем отпустить его, то полоска будет колебаться между положениями BC и BD. Источником колебаний являются внутренние силы упругости, стремящиеся восстановить первоначальную прямую форму полоски.

К винтообразной пружине AB (рис. 11), закрепленной в A, привешен груз B. Если этот груз потянуть вниз или поднять вверх и затем отпустить, то он будет совершать колебания вверх и вниз.

4) Крутильные колебания. К нижнему концу вертикальной проволоки AB (рис. 12), конец A которой закреплен, приделан горизонтальный стерженек, на два конца которого насажены шары C и D. Если стерженек несколько повернуть около вертикальной оси, так что, например, шар C двинется к читателю, а шар D удалится от него, то произойдет закручивание проволоки; если отпустить стерженек, то стремление проволоки раскрутиться окажется причиной колебаний стерженька с шарами, происходящих в

горизонтальной плоскости. На рис. 13 изображена эта горизонтальная плоскость и в ней положение покоя CD и два крайних положения EF и KH стерженька с шарами. Проволоку надо себе представить проходящей через точку B, перпендикулярно к плоскости рисунка Такие колебания называются крутильными. Их период зависит от длины, толщины и материала проволоки, от длины стерженька и от размеров и материала двух шаров.

5) Жидкость в сообщающихся сосудах. В трубке изогнутой, как показано на рис. 14, уровень жидкости находится в обеих вертикальных половинах на одинаковой высоте AB; это и есть положение покоя или равновесия жидкости. Если всю трубку нагнуть на лево, закрыть левую половину пробкой и опять поставить трубку вертикально, то уровни жидкости будут находиться в C и в D, то-есть в левой половине выше, чем в правой. Если затем вынуть пробку, то жидкость в левой половине начнет опускаться, а в правой — подниматься. Однако, дойдя до положения покоя AB, жидкость не остановится, но будет продолжать свое движение, пока уровни не окажутся в E и F; после этого начнется обратное движение, то-есть поднятие уровня в левой половине и опускание в правой и т. д. Жидкость будет колебаться и при этом в нижней, соединительной трубке попеременно течь направо и налево. Эти колебания довольно быстро затухают.

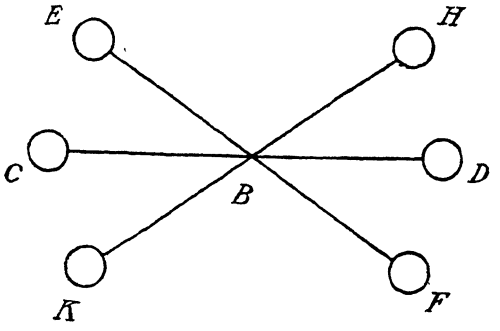

Рис. 13.

6) Колебания магнита. Мы можем магнит сделать удобоподвижным, подвесив его в горизонтальном положении к тонкой нитке (рис. 16), или установив его на острие, как показано на рис. 17. Как известно, такой магнит сам устанавливается так, что его ось, то-есть прямая линия, соединяющая его магнитные полюсы, располагается в плоскости магнитного меридиана, составляющего с географическим меридианом некоторый угол, который называется магнитным склонением, и который имеет в различных местах земной поверхности весьма различную величину. В Европейской России этот угол, вообще, невелик, так что магнит показывает одним концом приблизительно на север, а другим — на юг. Если отклонить магнит от этого положения покоя, повернув его вокруг вертикальной оси, и затем отпустить, то он будет колебаться в горизонтальной плоскости, аналогично тому, как колеблется стерженек с шарами (рис. 12) при крутильных колебаниях. Причиной колебаний является здесь сила земного магнетизма; период зависит от величины этой силы, неодинаковой в различных местах земной

поверхности, а также от величины и формы магнита и от степени его намагничения.

Мы рассмотрели различные случаи колебательных движений. Легко убедиться, что во всех этих случаях существуют те общие

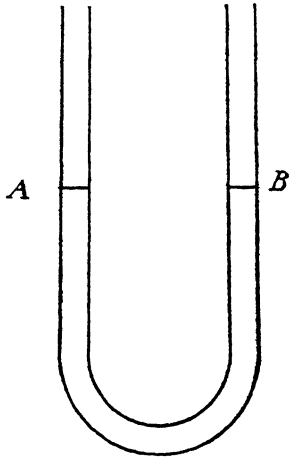

Рис. 14.

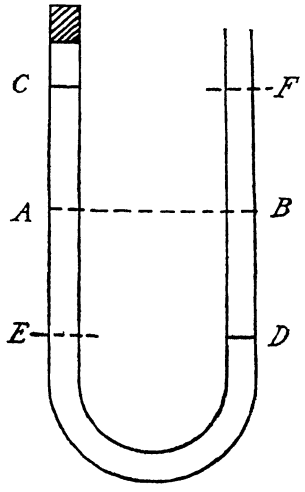

Рис. 15.

признаки, на которые было указано в начале этого параграфа; смысл и значение этих признаков вполне выясняются приведенными примерами. Обращаемся к колебаниям электрическим.

Положим, что мы имеем два металлических тела A и B (рис. 18), наэлектризованных одинаково сильно, но разноименно, так что,

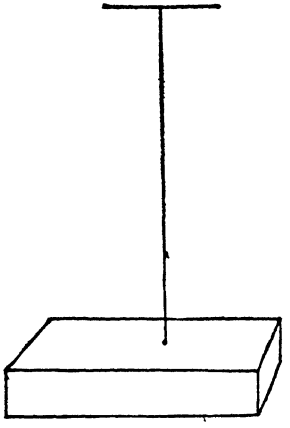

Рис. 16.

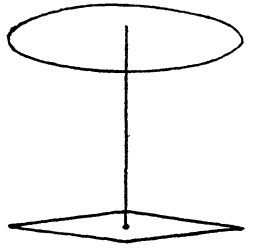

Рис. 17.

например, тело A содержит заряд положительного, а тело B — заряд отрицательного электричества Две проволоки соединяют тела A и B с металлическими шариками a и b. Если сблизить эти шарики, то между ними появится электрическая искра, произойдет «разряд»,

то-есть по старой теории, соединение двух разноименных электричеств, которые при этом «взаимно уничтожаются» или образуют нейтральную, недействующую смесь По современной теории мы должны сказать, что в теле В находится большее количество отрицательных электронов, чем это тело должно содержать в ненаэлектризованном, нейтральном состоянии; в теле А мы имеем недочет электронов Спорный вопрос о том, содержит ли ненаэлектризованный металл свободные электроны, и как надо понимать положительную электризацию, как убыль этих свободных электронов или как результат отделения электронов от молекул металла, сейчас для нас значения не имеет. Разряд заключается в том, что избыток электронов переходит от В к А, покрывая существующий в А недочет, после чего оба тела А и В оказываются в нейтральном состоянии.

Теория и опыты показывают, однако, что электрический разряд нельзя рассматривать как простой переход излишка электронов от В к А. Разряд имеет почти всегда колебательный характер, то-есть он расчленяется на некоторое число последо-

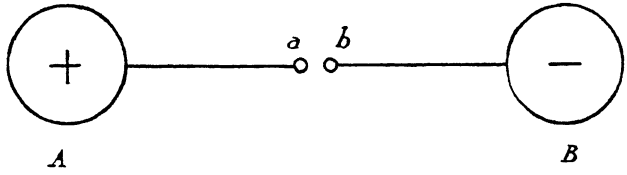

Рис. 18.

вательных разрядов, происходящих попеременно в противоположных направлениях. Это надо понимать так: сперва электроны перетекают от В к А; но это течение не прекращается, когда достигнуто то, что мы называли «положением покоя», то-есть когда А и В приходят в ненаэлектризованное, нейтральное состояние. Течение останавливается, когда на тело А перешел некоторый избыток электронов, так что теперь А оказывается наэлектризованным отрицательно, а В — положительно. Затем начинается обратное течение электронов от А к В; когда оно оканчивается мы имеем, как в начале, отрицательную электризацию в В и положительную в А, и в этот момент первое полное колебание окончено и начинается второе, затем третье и т. д. Соответственно и разрядная искра состоит из ряда последовательных искр, которые можно обнаружить особым приемом. Первоисточником этих колебаний являются те силы взаимного отталкивания, которые действуют между электронами. Период электрических колебаний зависит, прежде всего, от формы и от размеров тел, между которыми происходит разряд, и лишь в малой степени от материала, то-есть от рода того проводника, из которого они состоят. Электрические колебания почти всегда при-

надлежат к быстро затухающим; их число порядка одного или двух десятков. Они напоминают колебания жидкости в сообщающихся сосудах (рис. 14 и 15). Электрические колебания могут быть вызваны и в одном теле, не содержащем никакого заряда, например, в металлическом стержне. При этом электроны смещаются к одному концу стержня, который в этом случае оказывается наэлектризованным отрицательно, а другой конец — положительно. Эти электроны движутся вдоль стержня взад и вперед, вызывая перемену электризаций его двух половин; и в этом случае колебания быстро затухают. Период колебаний зависит, главным образом, от формы и размеров тела, внутри которого происходят электрические колебания. Чем меньше размеры тела, тем меньше период колебаний и, следовательно, тем больше частота, которую здесь следует понимать как число электрических колебаний, которые произошли бы в одну секунду, если бы разряд продолжался целую секунду; в действительности, небольшое, как мы видели, число колебаний, происходит в течение чрезвычайно малой доли секунды. Чтобы дать понятие о величине периода электрических колебаний можно указать следующее: если тело имеет весьма большие размеры, например, если оно представляет стержень длиной в десятки метров, то период может дойти до одной стотысячной доли секунды; для маленьких тел, размеры которых определяются небольшим числом сантиметров, период колебаний в миллион раз меньше, то-есть частота доходит до ста тысяч миллионов, если рассчитать на целую секунду. Приведем одно более точное указание, соответствующее случаю, изображенному на рис. 18. Положим, что диаметр равновеликих шаров A и B равен 30 см. и что длина соединительной проволоки равна 1 метру, а ее толщина — 5 мм.; тогда период электрических колебаний равняется приблизительно одной тридцатимиллионной доле одной секунды. Если шары заменить пластинками формы квадрата, сторона которого 40 см., то период колебаний несколько уменьшится и частота окажется равной тридцатипяти миллионам.

§ 8. Принцип резонанса. Обращаемся ко второму из вопросов, упомянутых в начале предыдущего параграфа, к принципу резонанса. Положим, что мы имеем тело, способное совершать колебания, период которых, как мы видели, вполне определяется теми величинами, которые характеризуют само тело (форма, размер, материал) и теми силами, которые на него действуют. Такое тело может начать колебаться, если на него действовать толчками, хотя бы и весьма слабыми, но следующими один за другим через промежутки времени, равные между собой и равные одному периоду колебания тела. То, что при этом происходит, вполне соответствует слову «раскачать». Положим, что перед нами тяжелые качели с людьми, и что время (период) их качания туда и обратно равно 10 секундам. Всякому понятно, что качели не раскачаются, если их

толкать через промежутки времени, не равные между собою или, вообще, не равные 10 секундам, например, через каждые 7 или 16 секунд. Действуя с одной стороны на качели, надо соразмерять толчки так, чтобы один толчек приходился на одно цельное качание, то-есть чтобы через каждые 10 секунд произошел один толчек и притом в надлежащий момент и в надлежащем направлении. Впрочем, можно пропускать одно, два и т. д. качаний и производить толчки через каждые 20, 30 и т. д. секунд. И в этом случае качели раскачаются, но для этого потребуется больше времени, чем в случае одного толчка на каждое полное колебание.

Положим теперь, что мы имеем два тела A и B, у которых одинаковые периоды колебаний; такие колебания можно назвать синхроничными. Эти тела находятся на некотором друг от друга расстоянии и между ними помещено нечто такое,

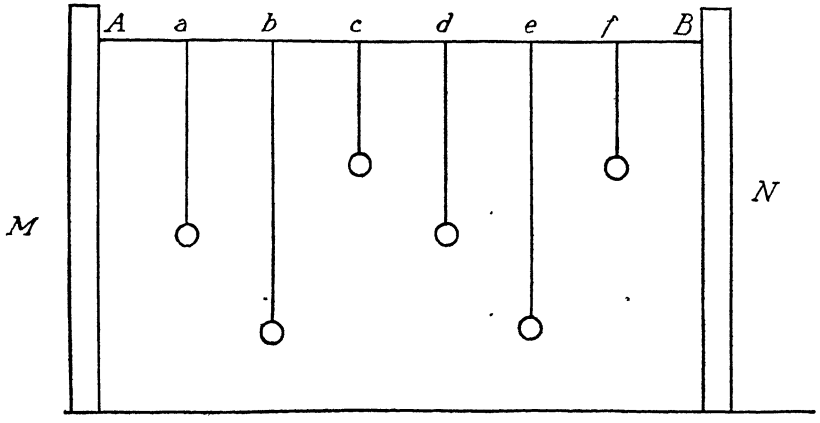

Рис. 19.

что способно «передавать колебания»; последние слова сделаются вполне понятными, когда мы приведем примеры. Оба тела сперва находятся в покое. Приведем тело A в колебательное состояние; эти колебания будут «передаваться», дойдут до тела B и будут действовать на него в виде толчков, следующих друг за другом так, что каждое колебание тела A вызовет один толчек. Так как периоды колебаний тел A и B одинаковы, то приходится на тело B по одному толчку на каждый период его возможных колебаний. Ясно, что тело B «раскачается», то-есть также начнет колебаться. Таким образом, колебания тела A вызвали синхроничные колебания тела B. Описанное здесь явление называется резонансом и мы говорим, что тело B резонирует. Если «растроить» синхронизм, изменив каким-нибудь способом период колебания одного из тел A или B, то резонанс исчезает, то-есть колебания тела A, передаваемые телу B, уже не могут его раскачать, так как это тело подвергается толчкам, следую-

щим друг за другом через времена, не равные периоду его возможных колебаний. Все изложенное выяснится на следующих двух примерах.

1) Резонанс маятников. Между двумя столбами M и N (рис. 19) натянута обыкновенная веревка, к которой привешены маятники различной длины, состоящие из нити и шарика из металла или кости. Маятники *a* и *d*, *b* и *e*, *c* и *f* имеют одинаковую длину, а, следовательно, и одинаковый период колебаний. Заставим один из маятников, например, маятник *b* колебаться и притом в плоскости, перпендикулярной к плоскости чертежа, то-есть не направо и налево, но вперед и назад, считая от читателя Передатчиком колебаний является здесь веревка, так как колеблющийся маятник придает точке *b* привеса слабые толчки вперед и назад, которые распространяются вдоль веревки и доходят до точек привеса всех других маятников, получающих, таким образом, толчки вперед и назад, синхроничные с колебаниями маятника *b*. Эти толчки раскачивают только один маятник *e*, который и начинает все сильнее и сильнее качаться. Все же остальные маятники, получающие толчки не своевременные, то-есть не синхроничные с их возможными колебаниями, движутся весьма неправильно; они то немного раскачиваются, то опять останавливаются. Один только маятник *e* резонирует на колебания маятника *b*. Иногда наблюдается такое любопытное явление. Качания маятника *e* увеличиваются, а маятника *b* — уменьшаются; наконец, *e* качается с такими размахами, какие имел *b*, а маятник *b* останавливается — вся его энергия передалась маятнику *e*. Но потом начинается обратный ее переход; раскачивается *b*, и постепенно останавливается *e*, после чего энергия опять начинает переходить от *b* к *e*. Если бы мы заставили качаться не *b*, но *a* или *c*, то резонировали бы, соответственно, маятники *d* или *f*.

Интересное явление наблюдается в том случае, когда синхронизм не полный, то-есть когда времена качаний двух маятников не вполне одинаковы. В этом случае более быстро качающийся ускоряет движения другого, а этот замедляет движения первого, так что оба маятника принимают в результате некоторое общее среднее время качаний. Английский часовых дел мастер Элликот (Ellicot) заметил еще в 1739 году, что стенные часы с маятниками, которые, находясь далеко друг от друга, мало по малу неизбежно расходятся, идут с одинаковой скоростью, если их прикрепить к одной доске, которая здесь и является передатчиком колебаний.

II) Резонанс акустический (звуковой). На рис. 20 изображен всем известный камертон, прикрепленный к ящику, открытому с одной стороны. Поместим на некотором расстоянии друг от друга два одинаковых камертона, при чем отверстия ящиков обращены друг к другу; камертоны настроены на один и тот же тон, то-есть они совершают одинаковое число колебаний в секунду. Если обычным способом заставить один из них звучать, например, ударив его мягким молоточком, и если через некоторое время рукой остано-

вить его колебания, то мы ясно услышим звучание второго камертона Здесь передатчиком колебаний является воздух Колебания первого камертона вызывают продольные (стр 116) колебания частиц воздуха, которые, распространяясь во все стороны, доходят до второго камертона. Частицы воздуха, непосредственно прилегающие к поверхности этого камертона, совершают колебания, из которых каждое сопровождается ударом в камертон, хотя и весьма слабым. Но число ударов в каждую секунду равно частоте колебаний первого камертона, то-есть вообще достигает нескольких сотен. Все эти удары синхроничны с колебаниями второго камертона, который под их действием раскачивается, то-есть начинает звучать. Второй камертон резонирует первому. Удивительно, что ничтожно слабые удары звуковых колебаний могут раскачать массивные стальные ветви камертона. Резонанс прекращается, если один из камертонов расстроить, прикрепив к его ветвям небольшие куски воска. Резонанс происходит и между различными по форме и составу телами, если они способны звучать и настроены на один и тот же тон. Всем известно, что столб воздуха может звучать и что на этом основано устройство органных труб и иных духовых инструментов. Размеры ящика, к которому прикреплен камертон (рис. 20) подобраны так, чтобы находящийся в нем столб воздуха, колеблясь, издавал тот же самый тон, как и камертон; резонируя, он чрезвычайно увеличивает силу звука последнего Струна начинает звучать, если до нее доходит сложный звук, в состав которого входит ее собственный тон. Если нажать педаль рояля и около струн произвести какой-либо сложный звук, но сильный и протяжный, например, громко крикнуть, то струны изумительно точно повторяют этот звук, например, определенную гласную букву. Все тоны, входящие в состав сложного звука, вызывают колебания соответствующих им струн, и притом энергия каждого из этих колебаний будет пропорциональна силе соответствующего тона. Таким образом, тоны всех струн, звучащих по резонансу, складываясь, воспроизводят первоначальный сложный звук, и мы имеем здесь дело с одновременными анализом (расчленением) и синтезом сложного звука. Этот опыт показывает, что тела способны как бы вылавливать соответствующее им колебание из большого числа одновременно доходящих до них тонов, даже если эти последние для слуха сливаются в один шум.

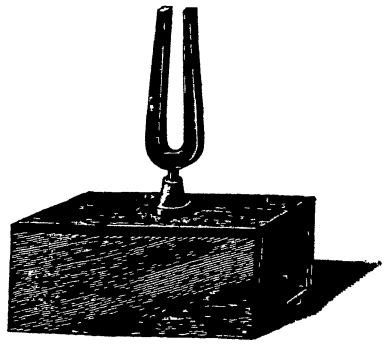

Рис. 20.

§ 9. Лучи Герца. В 1887—1889 годах появился ряд бессмертных работ гениального немецкого ученого Гейнриха Герца,

умершего уже в 1894 году (родился 1857). С 1888 года можно считать начало новейшего периода истории физики. Много интересных открытий содержатся в статьях Герца; так, он открыл, например, что ультрафиолетовые лучи, падая на поверхность наэлектризованных тел, способствуют их разряду. Если шарики *a* и *b* на рис. 18 находятся так далеко друг от друга, что разряда произойти не может, то освещение отрицательно наэлектризованного шарика ультрафиолетовыми лучами может вызвать разряд, то-есть появление между шариками электрической искры Этим явлением занимались впоследствии многие ученые и между ними особенно проф. А. Г. Столетов (1839—1896) в Москве, прибавивший много нового и интересного к тому, что было установлено Герцом.

Но, конечно, между всеми открытиями Герца занимают первое место электрические лучи, представляющие новую разновидность той лучистой энергии, которой посвящена эта глава. Мы не можем здесь войти в рассмотрение того пути, который привел Герца к его великому открытию. Заметим только, что он руководствовался теми мыслями, на которых основана неоднократно упоминавшаяся нами электромагнитная теория света Максвелля (см. § 12).

Открытие Герца было далеко не случайное (стран. 32); он был уверен в существовании лучей, спектр которых расположен далеко за инфракрасной частью спектра лучистой энергии, и он искал способа вызвать эти лучи и исследовать их свойства. Теория навела его на мысль, что от того места, где происходят электрические колебания, должны распространяться во все стороны лучи, отличающиеся от лучей видимых и инфракрасных большей длиною волны, но в остальном обладающими всеми свойствами других видов лучистой энергии. Их скорость должна равняться скорости света (300.000 километров в секунду); они должны отражаться и преломляться, как другие, уже рассмотренные нами лучи, а также обнаруживать все дальнейшие свойства лучей света, которые мы здесь описывать не будем, как например, интерференцию, диффракцию, поляризацию, двойное лучепреломление и т. д. Ожидания оправдались, и Герцу удалось доказать существование таких лучей, определить их скорость распространения и обнаружить их важнейшее свойство. Источником лучей служил у него колебательный электрический разряд, в системе, изображенной на рис. 18 (стр. 137); такой источник электрических лучей называется вибратором. От него, действительно, распространяются во все стороны лучи, для которых период колебаний равен периоду электрического колебания, вызывающего лучи. С точки зрения старой, механической теории лучистой энергии, мы сказали бы, что вибрации, то-есть колебания электронов, вызывают «сотрясение» в эфире, которое и распространяется в нем во все стороны. Вибратор играет роль звучащего тела, а эфир — роль воздуха, в котором распространяются

акустические колебания. Мы неоднократно указывали, что механическая теория лучистой энергии ныне безусловно отвергнута и заменена электромагнитной теорией Максвелля. Но для ознакомления со всеми видами лучистой энергии, то-есть для предмета этой главы, мы можем пока теоретический вопрос оставить в стороне; мы к нему возвратимся в § 12.

Прежде всего, необходимо выяснить, каким образом доказывается самое существование этих лучей, обнаруживается их наличность в данном месте или, иначе говоря, каким образом происходит их выслеживание. Видимые лучи выслеживаются глазом, а для невидимых были указаны четыре способа: тепловое действие, химическое действие, флюоресценция и тушение фосфоресценции. Ни один из этих способов не пригоден для выслеживания лучей Герца. Здесь пришлось применить другой метод, основанный на том резонансе, которому был посвящен § 8. Мы познакомились с резонансом маятников и с резонансом акустическим. Теперь мы встречаемся с резонансом электрическим. Поместим на некотором расстоянии от вибратора (рис. 18) металлическое тело, в котором могут возбуждаться электрические колебания (см. § 7) и притом с периодом, одинаковым с периодом электрических колебаний в вибраторе. Это тело мы назовем резонатором, ибо в нем возникают электрические колебания по принципу резонанса. Те колебания, которые были вызваны вибратором и которые, распространяясь во все стороны, представляют сущность лучей Герца, дойдя до резонатора, раскачивают находящиеся в нем электроны, и вызывают в нем электрические колебания. Размеры вибратора, которым пользовался Герц (рис. 18) были приведены на стр. 138. Вычисление показывает, что проволока согнутая в виде круга, радиус которого равен 35 сантиметрам, может здесь служить резонатором, так как период возможных в ней электрических колебаний равен периоду колебаний, происходящих в вибраторе, изображенном на рис. 18; он равен одной шестидесятимиллионной доле секунды. Чтобы обнаружить электрические колебания в таком резонаторе, Герц оставил в проволоке небольшой разрыв *ab* (рис. 21), в котором появляется искра, если колебания доходящие до резонатора, имеют направление, указанное на рис. 21 стрелками, то-есть лежат в плоскости, в которой расположен резонатор, и притом перпендикулярны к диаметру кольца, проходящему через искровой промежуток *ab*; на рис. 21 этот диаметр обозначен пунктиром. Итак, наличность искры в резонаторе указывает, что до него дошли лучи, вызванные вибратором. Если изменить размеры резонатора, например, уменьшив или увеличив радиус круга, то резонанс прекращается, то-есть искра не появляется и прибор уже не может служить для выслеживания луча с вышеуказанным периодом. Но зато он теперь может обнаружить лучи с другим периодом, равным периоду возможных в нем электрических колебаний.

Кроме способа выслеживания лучей Герца при помощи резонатора с искровым промежутком, существует в настоящее время еще целый ряд (не менее шести) других способов обнаружить электрические колебания в резонаторе, приборы, которыми при этом пользуются, называются индикаторами или детекторами. Между ними играют важную роль когереры, устройство которых основано на том, что электрическое сопротивление металлических опилок меняется под влиянием проходящих через них электрических колебаний Не вдаваясь ни в какие дальнейшие подробности, заметим, что при помощи различных детекторов удалось всесторонне изучить свойства лучей Герца. Оказалось, что предсказания теории (стр. 27, 29) во всех отношениях правильны. Скорость распространения этих лучей, действительно, равна скорости света; они отражаются и преломляются как другие виды лучистой энергии и обнаруживают все дальнейшие, нами не рассмотренные свойства хотя бы световых лучей, каковы интерференция, дифференция, диффракция, двойное лучепреломление и т. д. Не может быть сомнения в том, что лучи Герца представляют один из видов лучистой энергии.

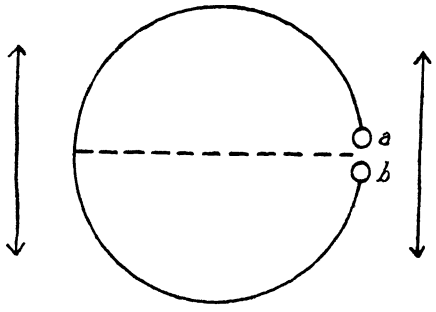

Рис. 21.

Лучи Герца часто называют еще электрическими лучами, так как они, несомненно, вызываются явлением явно электрического характера, а именно: электрическими колебаниями вибратора. Было бы, однако, величайшей ошибкой связывать с этим названием мысль о том, что эти лучи представляют по существу нечто совершенно другое, чем те виды лучистой энергии, которые рассмотрены в предыдущих параграфах. Мы должны рассуждать так: лучи Герца, несомненно, представляют один из видов лучистой энергии, и столь же несомненно, что они возбуждаются электрическими колебаниями. Отсюда мы должны заключить, что и все другие виды лучистой энергии, в том числе и видимый свет, возникают там, где происходят определенного рода движения электронов. Если лучи Герца назвать лучами электрическими, то и все другие виды лучистой энергии должны получить то же самое название и на них следует, смотреть, как на явления электромагнитные. Мы говорим «электромагнитные», а не просто электрические, так как движущиеся электроны вызывают в окружающем пространстве не только электрические, но и магнитные силы. Последнее явствует из того, что обыкновенный электрический ток, то-есть движущиеся в проволоке электроны, действуют на магнитную стрелку (стран. 56), намагничивают

железо и т. д, то-есть производят магнитные действия. Таким косвенным путем мы пришли к мысли, что свет есть явление электромагнитное, вызванное определенными движениями электронов. Название «электрических лучей», даваемое лучам Герца, отнюдь не должно характеризовать их сущности или способа их возникновения, но должно лишь напомнить нам, что они совершенно очевидно возникают там, где происходят электрические колебания, то-есть особого рода движения электронов. Все другие виды лучистой энергии суть также электрические лучи, так как и они несомненно вызываются движениями электронов, хотя характер этих движений может быть и неодинаков для различных видов лучистой энергии.

Перейдем к вопросу о частоте колебаний по длине волн лучей Герца, то-есть о том месте, которое они занимают в общем спектре лучистой энергии. Напомним, что длина волны равна тому расстоянию, на которое распространяется колебательное движение в течение одного периода, так что мы получаем длину волны (в пустоте), если разделим скорость распространения лучистой энергии (300.000 километров в секунду) на частоту колебаний, то-есть на число колебаний, совершаемых в одну секунду. На стр. 143 было сказано, что частота колебаний в луче Герца равняется частоте тех электрических колебаний, которые этот луч вызывает. Но колебания электронов могут происходить произвольно медленно; отсюда следует, что частота колебаний в луче Герца может быть произвольно малою, а длина волны этого луча произвольно громадной. Представим себе, что мы, хотя бы рукой, медленно двигаем вверх и вниз наэлектризованный шарик. Здесь происходит колебательное движение электронов, а потому должны распространяться лучи Герца во все стороны от того места, где мы двигаем наэлектризованный шарик. Если мы будем производить одно колебание шарика (вверх и вниз) в одну секунду, то мы получим луч, длина волны которого равна 300.000 километрам, а если мы станем двигать шарик еще медленнее, то длина волны получится еще больше. Ясно, что спектр лучей Герца не имеет предела со стороны больших длин волн. Но лучи со столь громадными длинами волн никакого интереса не представляют, да и выслеживать их невозможно. Если наэлектризованный шарик совершает 100 или 1000 или 10.000 колебаний в секунду, то получаются лучи, длины волны которых соответственно равны 3000, 300 и 30 километрам. Мы и эти лучи исключаем из спектра лучистой энергии. Начало этого спектра зависит, таким образом, от нашего произвола и мы установим его у длины волны

$$\lambda = 4 \text{ километрам},$$

которой соответствует

частота 75.000 колебаний в секунду.

Мы выбираем эти числа, останавливаясь на таком луче, который имеет уже практическое значение для телеграфии без проводов. Следует, однако, помнить, что мы совершенно произвольно обрываем спектр лучистой энергии у этого луча, откидывая, строго говоря, бесконечно длинную, но неинтересную часть спектра, тянущуюся в сторону беспредельно возрастающих длин волн.

Итак, мы начинаем спектр лучей Герца у луча, длина волны которого равна 4 километрам, а частота равна 75.000 колебаниям в секунду. Такой луч получается от электрических колебаний в теле (проволоке), имеющей весьма значительные размеры.

Герц пользовался при своих первых опытах (1887—1888) электрическими колебаниями в системе, изображенной на рис. 18. Время одного колебания (туда и обратно) было близко к одной тридцатимиллионной доле секунды; разделив скорость 300 000 километров в секунду на тридцать миллионов, мы находим длину волны равною 10 метрам. Более точное вычисление, а также непосредственные измерения, показали, что прибор Герца (рис. 18) дает лучи, длина волн которых равна девяти метрам Мы видели (стр. 138), что период электрических колебаний тем меньше, чем меньше размеры тех тел, в которых эти колебания совершаются. Мы можем сказать, что с уменьшением размеров вибратора уменьшается длина волны испускаемого им луча. Таким образом, явилась задача получения лучей Герца возможно малой длины. Сам Герц устроил вибратор, состоявший из двух металлических цилиндров в 3 сантиметра толщины и длиной, каждый, в 13 сантиметров; оси цилиндров были расположены на одной прямой, а обращенные друг к другу основания оканчивались шаровыми поверхностями, диаметры которых равнялись 4 сантиметрам и расстояние которых друг от друга доводилось до 3 миллиметров. Период электрических колебаний, вызываемых в таком вибраторе приблизительно равен одной четырехсот шестидесяти-миллионной доле секунды, откуда для длины волны получается 66 сантиметров, то-есть примерно в 14 раз меньше, чем в лучах, которые Герц получил раньше. П. Н. Лебедев (1895) первый получил лучи Герца, длина волны которых была еще в 110 раз меньше, равняясь всего только 6 миллиметрам. Его вибратор состоял из двух платиновых цилиндриков 0,5 миллиметра в диаметре и 1,3 миллиметра длины. Наименьшая длина волны, которую до сих пор удалось достигнуть, но не точно измерить, во всяком случае, была не короче четырех или в крайнем случае трех миллиметров; им соответствует уже частота в 10^{11} (сто тысяч миллионов) колебаний в секунду.

Если, как мы условились, считать начало спектра лучей Герца у длины волн $\lambda = 4$ километрам, то весь спектр от этой до длины волны $\lambda = 3$ миллиметрам обнимает около 20-ти

октав Это число совершенно случайное и могло бы быть произвольно увеличено, если бы мы приняли во внимание лучи с еще большей длиной волны. Но все же мы можем сказать, что область лучей Герца, представляющих обще-научный или специально-технический интерес, обнимает не менее 20 октав.

На стр. 127 было сказано, что инфракрасный спектр прослежен до лучей с длиною волны $\lambda = 0{,}3$ мм.; спектр лучей Герца доведен, как сказано, до $\lambda = 3$ мм. Таким образом, остается между инфракрасным лучем с наибольшею длиной волны и лучем Герца с наименьшею длиною волны неисследованный промежуток, обнимающий около $3^1/_2$ октавы, частота колебаний в этом промежутке меняется от 10^{11} до 10^{12} колебаний в секунду.

Мы уже упомянули, что лучи Герца обладают всеми основными свойствами других видов лучистой энергии, например, видимых лучей света. Отметим только одно любопытное, присущее им свойство: все непроводники электричества для них совершенно прозрачны. Деревянные, каменные, кирпичные стены произвольной толщины для них столь же прозрачны, как бесцветное стекло для лучей света. От проводников электричества, например, от металлов эти лучи вполне отражаются.

Лучами Герца пользуются в телеграфии без проводов. На станции отправления находится вибратор, в виде длинной проволоки (антенны), в которой возбуждаются электрические колебания; на приемной станции помещается резонатор, также в виде антенны. Лучи Герца, возникающие у вибратора, доходят до резонатора и вызывают в нем электрические колебания, наличность которых обнаруживается одним из детекторов (стран. 144). Изобретателем беспроволочного телеграфа считается итальянец Маркони. Мы, в России, бесусловно должны таковым признать А. С. Попова (1859—1905), который одновременно с Маркони осуществил беспроволочный телеграф. Строго говоря, здесь об изобретении говорить не приходится, так как Герц, открывший электрические лучи и пользовавшийся вибратором и резонатором, при своих опытах уже имел дело с беспроволочным передатчиком знаков. Оставалось только приспособить это, по существу готовое изобретение для технических целей, что и было сделано А. С. Поповым в Кронштадте и Марконi в Италии.

§ 10. Лучи Рентгена. Профессор Вюрцбургского (ныне Мюнхенского) университета, Рентген открыл в конце 1895 года нового рода лучи, обладающие некоторыми замечательными свойствами и обратившие на себя всеобщее внимание. Укажем, прежде всего, каким образом эти лучи могут быть получены. Всем известно, что разреженные газы светятся, если через них проходит электрический ток. На рис. 22 изображена стеклянная, закрытая с обоих концов трубка, содержащая разреженный газ, давление которого равно, например, одной тысячной доли атмосферы, так что в трубке

находится тысячная часть газа, который наполнял бы ее при давлении в одну атмосферу. Через концы трубки проходят платиновые проволоки, к которым, внутри трубки, иногда припаиваются металлические пластинки *a* и *k*. Положим, что через трубку проходит электрический ток, при чем отрицательные электроны входят со стороны *k*, тогда пластинка *k* называется катодом, а пластинка *a* — анодом. Под влиянием тока газ в трубке светится. Вместо трубки, можно взять стеклянный сосуд произвольной формы, хотя бы шаровидной; общепринято все такие сосуды называть трубками, хотя бы их форма и не соответствовала этому названию. Трубки, похожие на изображенную на рис. 22, но с весьма суженной средней частью, изготовлял впервые Гейсслер (H. Geissler, 1814—1879) в Бонне, поэтому, до сих пор подобные «трубки» любой формы называются гейсслеровскими, если разрежение в них газа не доведено до такой степени, что в них начинают обнаруживаться новые явления, впервые замеченные Плюккером (Plucker, 1801—1868), описанные Гитторфом (1824—1915) и особенно подробно исследованные (1874) английским ученым Круксом (Crookes, род 1832). Трубки, в которых разрежение доведено до очень

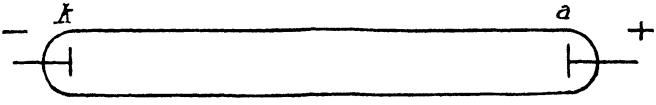

Рис. 22.

высокой степени, называются круксовыми трубками. Важнейшее явление, которое обнаруживается в последних, станет ясным из рис. 23, на котором изображены две трубки, совершенно одинаковой формы, но из них А (левая) есть трубка Гейсслера, В — есть трубка Крукса, в которой осталось гораздо меньше газа, чем в трубке А. В каждой из них вогнутая пластинка *a* служит катодом, так что через нее электроны вступают в разреженный газ. Вместо обычного одного анода, каждая трубка имеет три впаянные проволоки *b*, *c* и *d*, из которых каждая может служить анодом. Левая, гейсслеровская трубка обнаруживает такое явление: если взять *a* катодом и какую-нибудь одну из проволок *b*, *c* или *d* — анодом, то мы внутри трубки (шара) увидим светящуюся полосу, которая тянется от катода *a* к избранному аноду, то-есть к одной из проволок *b* или *c* или *d*. На рис. 23 изображены все три светящиеся полосы; в действительности мы получаем одну из них, а именно ту, один конец которой находится у избранного анода. Нечто совершенно другое обнаруживается в круксовой трубке В От поверхности катодной пластинки исходят какие-то лучи, перпендикулярные к этой поверхности и распространяющиеся прямолинейно до противолежащей стенки сосуда. Вдоль этих лучей замечается внутри

трубки слабое свечение и очень сильное свечение стекла в том месте, где на него попадают эти лучи; стекло ярко флюоресцирует (стран.

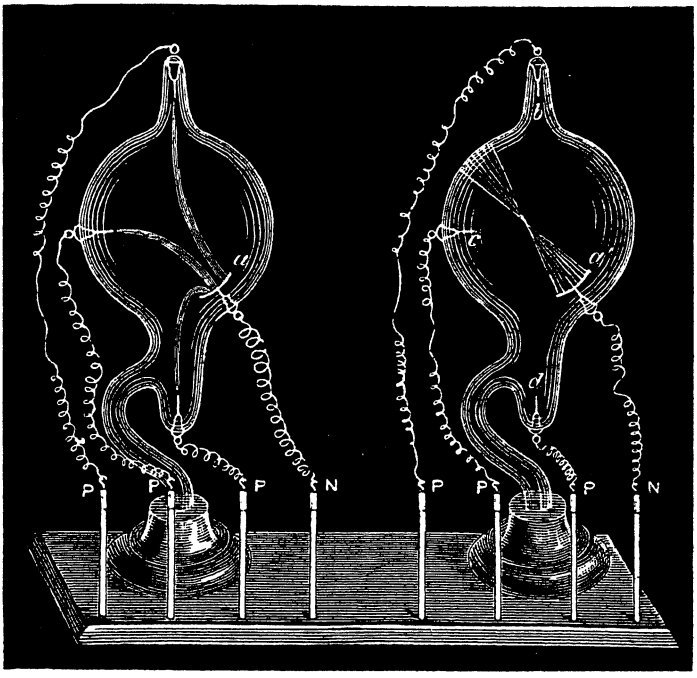

Рис. 23.

124) и притом обычно зеленым цветом. На рис. 23 катодная пластинка сильно вогнута и потому эти лучи сперва сходятся в одной точке

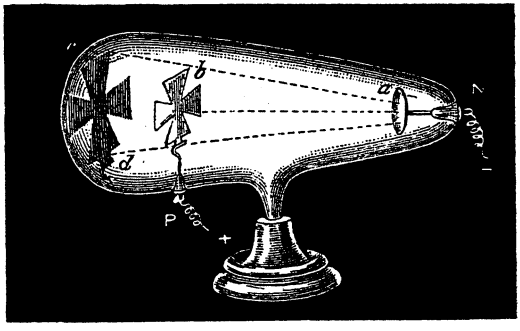

Рис. 24.

и затем опять расходятся. Но обычно берется пластинка плоская или слабо вогнутая и тогда лучи идут параллельным или слабо сходя-

щимся пучком от катода до стенки сосуда Явление совершенно не зависит от положения анода; оно остается неизменным, будем ли мы электрический ток пропускать через проволоку *b* или *c* или *d*. Лучи, исходящие в сильно разреженной круксовой трубке от катода, называются катодными лучами. Их прямолинейное распространение может быть наглядно показано на трубке, изображенной на рис. 24, здесь *a* катодная пластинка, анод помещается где-нибудь сбоку в P. На пути катодных лучей установлен металлический крест *b*, дающий резко очерченную тень *d* на поверхности стекла.

Исследования, на которых мы не останавливаемся, показывают, что катодные лучи суть потоки электронов, которые вылетают из катодной пластинки перпендикулярно к ее поверхности. Эти электроны движутся ускоренно и, ударяя в поверхность стекла, вызывают в нем флюоресценцию. Скорость электронов в катодном луче, вообще говоря, весьма велика; она соизмерима со скоростью света и сравнительно легко может быть доведена, например, до одной трети этой скорости, то-есть до ста тысяч километров в секунду; удавалось получать скорость электронов, доходившую до половины скорости света, то-есть до 150.000 километров в секунду. В главе о радиоактивных явлениях мы встретимся с лучами β (бета), которые также представляют потоки электронов, то-есть вполне аналогичны катодным лучам. Здесь скорость движения электронов достигает колоссальной величины 0,996 скорости света, так что ее можно принять приблизительно равной 300.000 километрам в секунду. Весьма интересно, что мы здесь имеем дело со скоростями фактического движения чего-то реально существующего, а именно, электронов, а не со скоростью передачи определенного состояния (колебания), каковою представляется нам скорость лучистой энергии и, в частности, скорость видимого света.

Рентген (1895) заметил (см. стран. 20), что флюоресцирующий экран (стран. 125) светится, когда недалеко от него возбуждалось свечение круксовой трубки, обвернутой черною бумагой. Это показало ему, что трубка испускает какие-то лучи, свободно проходящие через черную бумагу и через воздух, и вызывающие свечение флюоресцирующего экрана. Эти лучи Рентген назвал X-лучами (икс-лучами); в настоящее время их называют рентгеновыми лучами. Они исходят от того места поверхности стекла, в которое ударяются катодные лучи, то-есть потоки быстро движущихся электронов. Оказалось, что всякое твердое тело может излучать рентгеновы лучи, если на его поверхность падают достаточно быстрые катодные лучи. Особенно интенсивным радиатором, то-есть испускателем рентгеновых лучей, являются платина и другие тяжелые металлы. Современные рентгеновы трубки имеют устройство, схематически показанное на рис. 25. Катодная пластинка

вогнута вследствие чего получается сходящийся пучек катодных лучей, которые концентрируются на весьма малом участке пластинки *p*, называемой антикатодом; анодом служит металлический стерженек *a*, снаружи соединенный с антикатодом. На рис. 25 опущены разного рода дальнейшие приспособления. Так, оказывается, что антикатод весьма сильно нагревается под действием падающих на него катодных лучей, так что необходимо подвергать его искусственному охлаждению. Далее, часто имеются еще приспособления, служащие для изменения количества газа, находящегося в трубке От этого количества зависят свойства рентгеновых лучей, возникающих в том месте поверхности антикатода, в которое ударяют катодные лучи.

Нам здесь нет надобности подробно рассматривать все свойства и разновидности рентгеновых лучей. Укажем лишь на немногое.

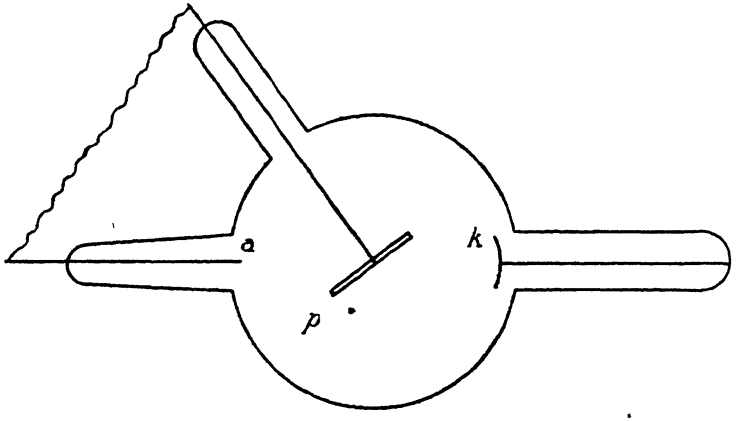

Рис. 25.

Подобно ультрафиолетовым лучам, рентгеновы лучи не только вызывают флюоресценцию, но и действуют на фотографическую пластинку. Они вызывают почернение пластинки, при чем фотографирование можно производить в светлой комнате, помещая пластинку в конверт из плотной, черной бумаги, непрозрачной для света, но пропускающей свободно рентгеновы лучи.

Рентген нашел, что прозрачность тел для открытых им лучей уменьшается с увеличением плотности этих тел, и что она особенно мала у элементов с большим атомным весом. Толстая свинцовая пластинка вовсе не пропускает этих лучей, между тем, как аллюминий для них в высокой степени прозрачен. Они свободно проходят через дерево, бумагу, воск, воду, парафин, уголь, графит, алмаз и т. д. Если на горизонтально расположенный конверт, содержащий фотографическую пластинку, положить разные предметы и сверху направить на них рентгеновы лучи, то на пластинке получаются,

после проявления теневые изображения (силуэты) этих предметов. Если положить на конверт кошелек, содержащий металлические предметы, например, монеты, ключики и т. д., или готовальню с обычными в ней предметами, то получается слабое изображение кошелька или готовальни и на его фоне отчетливые изображения содержащихся в них металлических предметов, мало или вовсе не пропускающих рентгеновых лучей. Густота теневого изображения тем больше, чем слабее они пропускают эти лучи. Так, кости человеческого тела дают более темные тени, чем мягкие ткани, а последние, в свою очередь, смотря по строению и толщине, различно задерживают лучи Рентгена.

Таким образом, можно получить силуэты любой части скелета человека или животных. На этих свойствах рентгеновых лучей основывается широкое их применение в медицине для исследования внутренних органов человеческого тела.

Существуют рентгеновы лучи разного рода, отличающиеся друг от друга способностью проникать через те или другие вещества. Есть лучи, которые сравнительно мало поглощаются, то-есть обладают большою проницающею способностью; такие лучи называются жесткими, в отличие от лучей мягких, которые легко поглощаются и потому неглубоко проникают в разного рода вещества. Само собой разумеется, что жесткость и мягкость суть свойства относительные и что нельзя провести точной границы между лучами жесткими и мягкими. Все лучи можно себе представить расположенными в непрерывный ряд по возрастающей жесткости, так что в начале ряда будут находиться наиболее мягкие, а в конце — наиболее жесткие лучи. Чем разреженнее газ в трубке и чем больше скорость электронов, налетающих на антикатод, тем больше жесткость излучаемых антикатодом рентгеновых лучей.

Рассмотрев условия возникновения рентгеновых лучей, а также некоторые их свойства, переходим к вопросу о природе этих лучей. В течение 17-ти лет (1895—1912) этот вопрос оставался спорным, пока он не был окончательно решен при помощи экспериментального метода, предложенного (1912) немецким ученым Лауэ (Laue). Этого метода мы здесь рассматривать не будем; пользуясь им, можно было доказать, что рентгеновы лучи представляют один из видов лучистой энергии и притом весьма малой длины волны, то-есть огромного числа колебаний в секунду. Их спектр лежит далеко за ультрафиолетовой частью, которая была нами рассмотрена (стр. 129—131) и которая оканчивается около длины волны $\lambda = 500$ А, где А есть знак для ангстрема, равного десятимиллионой доле миллиметра; эта наименьшая длина волны равна, следовательно, одной двадцатитысячной доле миллиметра.

Спектр рентгеновых лучей, который был изучен до 1918 года, тянется от $\lambda = 12$ А до $\lambda = {}^1/_{14}$ А, что составляет более семи октав. Частоты колебаний крайних лучей

суть 2.10^{17} и 4.10^{19} колебаний в секунду. Между крайними ультрафиолетовыми лучами ($\lambda = 500$ А) и первыми рентгеновыми лучами ($\lambda = 12$ А) тянется еще неисследованная область в 5 октав; ее концам соответствуют частоты колебаний $6\,10^{15}$ и 2.10^{17} Наибольшая длина волны рентгенового луча ($\lambda = 12$ А) немногим превышает одну миллионную долю миллиметра, а наименьшая равна одной стосорокмиллионой доле миллиметра. Если принять, что диаметр атома примерно равен одной десятмиллионой доле миллиметра, то оказывается, что длина волны крайнего луча в 14 раз меньше диаметра атома. Средина спектра рентгеновых лучей находится на расстоянии 13 октав от средины спектра лучей видимых; конец спектра рентгеновых лучей ($\lambda = {}^1/_{14}$ А) удален на 16 октав от крайних видимых фиолетовых лучей.

§ 11. Обзор всех видов лучистой энергии. Наш глаз воспринимает явление видимого света, спектр которого от крайних красных до крайних фиолетовых лучей, не обнимает даже одной цельной октавы Мы представляем себе этот спектр в виде полосы, тянущейся слева направо, при чем на левом конце находится красная часть спектра, а на правом конце — фиолетовая Число колебаний растет, а длина волн уменьшается, если идти слева направо; в том же направлении растет число звуковых колебаний и уменьшается длина звуковой волны, если на рояле идти слева направо, вдоль ряда клавиш, являющихся как бы представителями тонов различной высоты. Понятие о световом спектре мы расширили до несравненно более общего понятия о спектре лучистой энергии, в котором видимый спектр представляет весьма малую долю Сперва мы удлинили световой спектр, добавив слева инфракрасную часть, а справа — ультрафиолетовую; из них первая покрывает $8^1/_2$ октавы, а вторая — 3 октавы. Затем, появились (1887) лучи Герца с левой стороны и лучи Рентгена (1895 и 1912) с правой стороны. Остались еще два неисследованных промежутка, которые, вероятно, постепенно будут сокращаться и, наконец, исчезнут.

Весь спектр лучистой энергии распадается на нижеследующие части; число колебаний в секунду мы обозначим буквой N.

1) Лучи Герца, от произвольно больших длин волн до $\lambda = 3$ мм.; число колебаний от произвольно малого N до $N = 10^{11}$. Если начать от $\lambda = 4$ километрам, то начальное $N = 75.000$ и спектр занимает около 20 октав.

2) Неисследованный промежуток от $\lambda = 3$ мм. до $\lambda = 0{,}314$ мм. $= 314\,\mu$ или от $N = 10^{11}$ до $N = 10^{12}$; около $3^1/_2$ октавы.

3) Инфракрасные лучи от $\lambda = 314\,\mu$ до $\lambda = 0{,}76\,\mu = 7600$ А; от $N = 10^{12}$ до $N = 4.10^{14}$; около $8^1/_2$ октавы.

4) Видимые или световые лучи от $\lambda = 0{,}76\,\mu = 7600$ А до $\lambda = 0{,}4\,\mu = 4000$ А; от $N = 4.10^{14}$ до $N = 7{,}5.10^{14}$; менее одной октавы.

5) Ультрафиолетовые лучи от $\lambda = 0{,}4\ \mu = 4000$ A до $\lambda = 500$ A; от $N = 7{,}5.10^{14}$ до $N = 6.10^{15}$; три октавы.

6) Неисследованный промежуток от $\lambda = 500$ A до $\lambda = 12$ A; от $N = 6.10^{15}$ до $N = 25.10^{17}$, около 5-ти октав.

7) Лучи Рентгена от $\lambda = 12$ A до $\lambda = {}^1/_{14}$ A; от $N = 2{,}5.10^{17}$ до $N = 4.10^{19}$, более семи октав.

Более удобно можно обозреть все виды лучистой энергии по следующей таблице:

	Длина волны		Число колебаний в секунду		Число октав
	от	до	от	до	
1. Лучи Герца	(4 км.)	3 мм.	(75000)	10^{11}	20
2. Промежуток . . .	3 мм.	314 μ	10^{11}	10^{12}	$3^1/_2$
3. Инфракрасные лучи	314 μ	0,76 μ = 7600 A	10^{12}	$4\ 10^{14}$	$8^1/_2$
4 Лучи света	7600 A	4000 A	4.10^{14}	$7{,}5\ 10^{14}$	менее одной
5 Ультрафиолетов лучи .	4000 A	500 A	$7{,}5.10^{14}$	$6\ 10^{15}$	3
6. Промежуток	500 A	12 A	6.10^{15}	$2{,}5\ 10^{17}$	5
7 Лучи Рентгена . .	12 A	$^1/_{14}$ A	$2{,}5.10^{17}$	4.10^{19}	7

В первой строке 4 км. и 75 000 поставлены в скобках, чтобы напомнить о произволе при выборе этих чисел. На рис. 26 схематически представлен весь спектр лучистой энергии; для удобства он разделен на две части, при чем левый конец нижней части надо себе представить непосредственно примыкающим к правому концу верхней части. Весь спектр разделен на 49 частей, которые и соответствуют октавам. Длины волн в 4 километра, 1 километр, 1 метр, 1 миллиметр, 1 μ и 10 ангстремов указаны. Мы имеем:

1) Лучи Герца от A до B,
2) Промежуток от B до C,
3) Инфракрасные лучи от C до D,
4) Видимые лучи от D до E,
5) Ультрафиолетовые лучи E до F,
6) Промежуток от F до G,
7) Лучи Рентгена от G до H.

Весь спектр обнимает примерно 49 октав. Особенно интересно сравнить длину видимого, то-есть светового спектра DE с длиной всего спектра; оказывается, что лишь весьма малая часть всех видов лучистой энергии воспринимается нашим глазом. Но в этой малой части заключается для нас источник всего, что связано со словами свет и краски.

Интересно сравнить между собой концы A и H всего спектра лучистой энергии. Длины волн идут от 4 километров до одной сто-сорокмиллионной доли миллиметра; первая в 5.10^{14} раз, то-есть в

пятьсот миллионов миллионов раз больше второй и в том же отношении находятся числа колебаний 75 000 и 4.10^{14}. Из них первое число равно числу легко получаемых акустических колебаний (стр. 106), лежащих всего на одну октаву выше тех, которые еще воспринимаются ухом. Последнее число превышает число молекул в одном кубическом сантиметре при 0° и нормальном барометрическом давлении. На стран. 52 были даны две иллюстрации этого чудовищного числа. Первая из них показывает, что если бы тело совершало один миллион колебаний в секунду, то ему потребовалось бы миллион двестисемьдесят тысяч лет, чтобы сделать столько колебаний, сколько в крайнем рентгеновом луче совершается в одну секунду.

§ 12. Понятие об электромагнитной теории лучистой энергии. В предыдущем мы рассмотрели все виды лучистой энергии, но мы еще не дали ответа на главный вопрос: в чем заключается сущность лучистой энергии вообще и света в частности? В § 3 были вкратце изложены теория истечения (Ньютона) и теория колебания эфира (Гюйгенса), и мы остановились

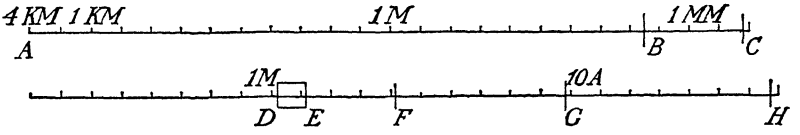

Рис. 26.

на последней, как вполне удовлетворяющей тому, что нам потребовалось в дальнейшем, в особенности для выяснения различия между существующими видами лучистой энергии. Мы исходили из того, что лучистая энергия есть распространяющееся колебательное движение, при чем частные ее виды характеризуются периодом (временем одного колебания), или частотою (числом колебаний, совершаемых в одну секунду) или длиной волны (расстоянием, на которое в пустоте распространяется колебательное движение в течение одного периода), все три величины тесно между собою связаны (см. § 2), так что каждая из них вполне определяет остальные две, если еще принять во внимание, что все виды лучистой энергии распространяются в пустоте с одинаковой скоростью, равной 300.000 километрам в секунду. Оставался открытым вопрос о носителе колебательных движений, о том, что, собственно, совершает эти движения. По теории Гюйгенса мы имеем дело с чисто механическими колебаниями частиц упругого эфира и можно сказать, что эта теория господствовала до 1887 года, когда Герц сделал то великое открытие, которое было рассмотрено в § 9, и которое привело к падению теории Гюйгенса и к торжеству электромагнитной теории Максвелля, о последней мы неоднократно упоминали, отклады-

вая ее изложение, без которого мы могли обойтись пока мы ознакомлялись с различными видами лучистой энергии. Однако, на стр. 144 мы, рассмотрев источник возникновения лучей Герца, неизбежно должны были придти к заключению, что лучистая энергия есть явление электромагнитное, вызванное движущимися электронами.

Электромагнитная теория света была создана Максвеллем в шестидесятых годах истекшего столетия, то-есть задолго до появления учения об электронах (девяностые годы). Она представлялась, с чисто механической стороны, совершенно непонятной, и мы должны сказать, что она таковой осталась до сих пор, ниже этот вопрос будет нами подробно рассмотрен В основе теории Максвелля лежит мысль, что лучистая энергия, в частном случае — свет, есть «распространяющееся электромагнитное колебание или возмущение», и мы должны, прежде всего, выяснить смысл этих последних слов.

Всякому понятно, что существуют электрические и магнитные силы. Если наэлектризовать какое-либо тело, то в окружающем пространстве возникают электрические силы, которые действуют на всякий, помещаемый в этом пространстве электрический заряд, в этом и заключается так называемое «взаимодействие» наэлектризованных тел. В пространстве, окружающем магниты или электрические токи, действуют магнитные силы на другие магниты или токи, находящиеся в этом пространстве, к этому сводятся всем известные взаимодействия между магнитами, между токами, а также между магнитами и токами. Полагая, что внутри магнитов мы имеем движущиеся электроны, мы можем сказать, что покоющиеся электроны вызывают в окружающем пространстве электрические силы, а движущиеся электроны, кроме того, еще силы магнитные.

Прежде всего, мы должны теперь познакомиться с тем явлением, которое называется электромагнитным возмущением Обратимся к рис. 27, который надо рассматривать, как перспективный. На нем имеются длинная прямая АК и две короткие прямые ВС и DF. Эти последние две прямые перпендикулярны друг к другу и обе перпендикулярны к прямой АК; прямая ВС лежит в плоскости чертежа, а прямую DF надо себе представить перпендикулярной к АК и к ВС, то-есть расположенной перпендикулярно к плоскости чертежа и притом AD направленной к читателю, AF — от него за плоскость чертежа.

Представим себе, что в некоторой точке А пространства сперва нет ни электрической, ни магнитной силы В некоторый момент времени возникают в точке А электрическая сила по направлению, хотя бы АВ, и одновременно магнитная сила, перпендикулярная к электрической, по направлению AD. Обе силы (более точное название см. ниже) растут и одновременно достигают некоторых, вполне определенных, наибольших значений, изображенных отрез-

ками AB и AD. Затем, обе силы начинают уменьшаться и, одновременно сделавшись равными нулю, вновь возникают и растут, но теперь в противоположных направлениях AC и AF. Достигнув, опять одновременно, прежних наибольших значений AC = AB и AF = AD, силы вновь уменьшаются до нуля. Мы говорим, что в этот момент окончено одно полное «колебание», за ним тотчас же возникает второе, то-есть появляются электрическая и магнитная силы по направлениям AB и AD, достигают прежних наибольших значений, уменьшаются до нуля, растут в противоположных направлениях AC и AF, достигают наибольших значений и опять уменьшаются до нуля Этим оканчивается второе «колебание», начинается третье и т. д. Если в какой-либо точке пространства происходит описанное явление, то мы говорим, что в этой точке имеет место электромагнитное возмущение (или пертурбация), и притом периодическое, то-есть однообразно повторяющееся в одинаковые промежутки времени Мы здесь говорим о «колебании», хотя мы не имеем дела с чем-либо колеблющимся в обычном смысле слова. Однако, аналогия с тем, что мы называем колебанием, бросается в

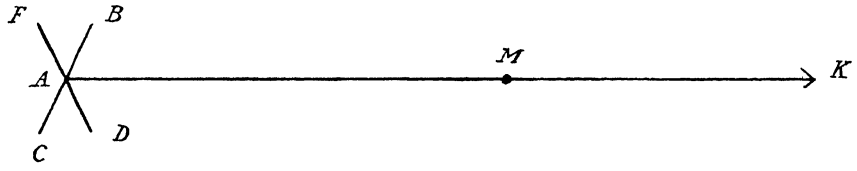

Рис. 27.

глаза. Колеблется не материальная частица, которая находилась бы сперва в A, потом в B, вновь в A, затем в C и опять в A; колеблются величины двух сил от нуля до наибольших значений сперва в одну сторону, потом в сторону противоположную. Если бы мы, описывая колебательное движение какой-либо материальной частицы (или электрона), обращали бы все наше внимание не на те положения, которые частица последовательно занимает при своем движении, но на величину ее расстояния от среднего положения, то аналогия была бы еще более глубокая, ибо это расстояние также растет от нуля до наибольшего значения, равного амплитуде колебаний (стр. 107, 108), уменьшается до нуля, растет в противоположном направлении до величины, равной амплитуде, и опять уменьшается до нуля. Ясно, что расстояние колеблющейся частицы от ее среднего положения подвергается совершенно тем же изменениям, какие происходят с двумя силами при электромагнитном возмущении. Это и дает нам право говорить о двух колеблющихся силах и называть наибольшие их величины амплитудами этих колебаний. Время, в течение которого происходит одно полное колебание, мы вновь назовем периодом, а частотою —

число колебаний, совершаемых в течение одной секунды. То место, где происходит электромагнитное возмущение, несомненно, содержит некоторое количество энергии, и притом кинетической.

Нам весьма хорошо известны многие законы, которыми управляются разнообразные электрические и магнитные явления. Исходя исключительно только из этих твердо установленных законов, Максвелль пришел к целому ряду выводов, столь же несомненных, как и те законы, следствием которых они являются. Главнейший из этих выводов заключается в следующем:

Если в некоторой точке А (рис. 27) пространства, по каким-либо причинам, возникает электромагнитное возмущение только-что описанного вида, то оно немедленно начинает распространяться по направлению АК, перпендикулярному к направлениям ВС и DF колеблющихся (по величине) сил, а также по направлению, противоположному, то-есть на лево от А. Это значит, что вслед за возникновением возмущения в точке А, начинается такое же возмущение в соседней точке, затем в следующей и т. д. Чем больше некоторая произвольная точка М удалена от того места А, где началось электромагнитное возмущение, тем позже такое же возмущение начинается в этой точке М. Скорость распространения электромагнитного возмущения равна скорости света, то-есть 300.000 километрам в секунду. То расстояние, на которое распространяется возмущение в течение времени одного колебания (одного периода), мы и здесь назовем длиною волны, а линию АК — лучем. Вдоль луча передается особая форма энергии, зависящая от величины амплитуд электрической и магнитной сил. Мы можем говорить о потоке энергии, распространяющейся от того места, где происходит и чем-то поддерживается электромагнитное возмущение. Максвелль нашел далее, что такой луч, если бы удалось его осуществить, должен обладать всеми свойствами тех лучей, которые нами были рассмотрены в этой главе, в том числе также и лучей света. Но это еще не все. Основываясь на своей теории, Максвелль мог предсказать существование двух новых закономерных связей между световыми и электрическими явлениями. Мы здесь не имеем возможности и не имеем надобности рассматривать эти довольно сложные связи; для нас достаточно отметить, что связи были предсказаны и, в действительности, путем опытов их существование было вполне подтверждено.

Все изложенное привело Максвелля к электромагнитной теории света, в основе которой лежит гипотеза, что свет (или вообще лучистая энергия) есть распространяющееся в пространстве электромагнитное возмущение того самого вида, который только-что нами был подробно описан. Однако, с одной стороны, вся эта теория казалась все-таки недостаточно обоснованной и, с другой стороны, самая мысль о колеблющихся электрических и магнитных силах представлялась мало понятной; вследствие этого, в течение некото-

рого времени, к этой новой теории примкнуло сравнительно небольшое число ученых, старавшихся дать ей дальнейшее развитие и более твердое обоснование. Положение совершенно изменилось в конце восьмидесятых годов после бессмертных работ Герца (1887), описанных в § 9 этой главы. Мы видели, что Герцу удалось осуществить те электромагнитные лучи, о которых говорится в теории Максвелля. Они возникают там, где происходит колебательное движение электронов. Так как покоющийся электрон вызывает в окружающем пространстве электрические силы, а движущийся электрон, кроме того, еще и магнитные силы, то ясно, что в пространстве, окружающем колеблющиеся электроны, должны возникнуть колеблющиеся по величине электрические и магнитные силы, то-есть электромагнитные лучи Максвелля.

Опыты Герца, а также дальнейшие опытные и теоретические исследования многих ученых, дали теории Максвелля незыблемый фундамент и заставили окончательно и без сомнения на всегда отказаться от чисто механической теории колебательного движения частиц эфира. В настоящее время теория Максвелля, в ее основах, принята всеми, без исключения, учеными, занимающимися физикой. Дальнейшее, за последние тридцать лет, развитие науки еще яснее доказало справедливость основных положений теории Максвелля. Не может быть и тени сомнения в том, что свет есть распространяющееся в пространстве электромагнитное возмущение такого вида, как было нами описано.

Тем не менее, следует сказать, что электромагнитная теория света вызывает ряд вопросов, на которые наука до сих пор, по крайней мере отчасти, не может дать определенного и удобопонятного ответа.

Обратимся сперва к такому вопросу. Мы понимаем электрическую силу, действующую на тело наэлектризованное, то-есть содержащее свободные электроны, а также магнитную силу, действующую на магниты или на электрические токи. В обоих случаях перед нами сила и, в то же время об'ект, на который она действует, и мы затрудняемся представить себе реально существующую силу, ни на что не действующую, то-есть без об'екта, к которому эта сила была бы приложена. Однако, в электромагнитном возмущении, которое распространяется вдоль луча, мы имеем в каждой точке этого луча две силы, электрическую и магнитную, реально существующие, имеющие, в каждый данный момент, определенные направления и определенные величины, и даже непрерывно меняющиеся по величине, и все-таки не имеющие никакого об'екта, на который они бы действовали, так как в рассматриваемой произвольной точке луча, понятно, нет ни электрона, на который действовала бы сила электрическая, ни магнитного полюса или электрического тока, как возможных об'ектов действия силы магнитной. Как же следует пони-

мать появление, возрастание, убывание и т. д. сил в данной точке пространства, без об'ектов, к которым эти силы были бы приложены? На этот вопрос мы можем дать исчерпывающий ответ. Положим, что M (рис. 28) представляет наэлектризованное, хотя бы отрицательно, тело; тогда в пространстве, окружающем это тело, замечается следующее: если в какое-либо место этого пространства поместить тело A, наэлектризованное, например, положительно, то на это тело будет действовать сила, стремящаяся приблизить его к M по хорошо всем известному закону «взаимодействия» наэлектризованных тел. Мы говорим, что неодноименно наэлектризованные тела «взаимно притягиваются». Однако, этими словами мы ровно ничего не об'ясняем и, очевидно, даже не пытаемся что-либо об'яснить. Говоря, что тела M и A взаимно притягиваются, мы, в действительности, только описываем то, что фактически происходит, а именно: что тела A и M приближаются друг к другу. Вопрос о причине этого приближения остается совершенно открытым. Однако, в течение долгого времени почти всем казалось, что в упомянутых словах кроется не только описание, но и об'яснение наблюдаемого явления, что взаимное притяжение тел M и A, как реальный факт, и есть причина их стремления ко взаимному приближению. Заряд в M непосредственно действует в даль (по-латыни: actio in distans) на заряд в A; таковò первичное свойство, присущее электрическим зарядам и этим «об'ясняется» наблюдаемое движение тел M и A друг к другу. Такого рода дальнодействие мы как будто имеем в явлениях всемирного тяготения, а расцвет небесной механики в 18 столетии, как будто говорил в пользу действительного существования непосредственного действия в даль. Но это ошибка: вся небесная механика построена не на том, что небесные светила взаимно притягиваются, а на том, что их движение, до мельчайших деталей, происходит так, как если бы они непосредственно взаимно притягивались по определенному закону, открытому Ньютоном. Современная наука противится мысли о дальнодействии; считает невозможным, чтобы какое-либо тело действовало там, где оно само не находится, и заменила дальнодействие близкодействием, при котором всякое действие может быть произведено только в ближайшем соседстве с источником этого действия. Передаваясь в пространстве от точки к точке, оно может обнаружиться и на любом расстоянии от своего первоисточника. Возвратимся к рис. 28. Наэлектризованное тело M приводит окружающее пространство в какое-то особое состояние вызывает в нем какую-то перемену, которая от тела M распространяется с определенною скоростью во все стороны с того момента, как в M появился электрический заряд; все пространство

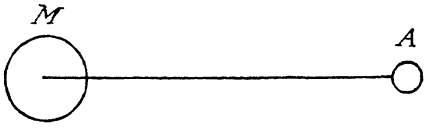

Рис. 28.

остается в этом особом состоянии, пока заряд находится в М И вот эта то перемена, которая произошла в А, благодаря присутствию заряда в М, и есть непосредственная причина движения наэлектризованного тела А по направлению к М Пространство, окружающее тело М, называется электрическим полем, и мы говорим, что в каждой его точке фактически существует определенное «напряжение поля», которое и есть непосредственная причина возникновения движущей силы, действующей на заряд, помещенный в данной точке, эта сила пропорциональна напряжению поля. Если заряд в М будет увеличиваться или уменьшаться, то немедленно соответственно изменится напряжение поля около самого тела М и это изменение, передаваясь от точки к точке, распространяется по всему пространству.

Буквально все, что здесь было сказано, относится и к магнитному полю, которое окружает равномерно движущиеся электроны В каждой его точке существует определенное напряжение, которое здесь оказывается непосредственной причиной появления движущей магнитной силы, действующей на магнитный полюс или на электрический ток, помещенные в данной точке. Если электроны в М совершают колебательные движения, то в А колеблются напряжения двух одновременно существующих полей. Характер этих колебаний и их распространения от М во все стороны будет с точностью соответствовать тем колебаниям, которые были описаны на стр. 153—155, и которые, по теории Максвелля представляют сущность всех видов лучистой энергии, начиная от лучей Герца и кончая лучами Рентгена.

Резюмируя все изложенное, мы можем сказать: в каждой точке электрического и магнитного полей реально существует то, что мы назвали напряжением поля и что является непосредственной причиной возникновения движущих сил, если в эту точку поместить заряд (поле электрическое) или магнитный полюс или электрический ток (поле магнитное). Теперь мы можем ответить на вопрос, поставленный на стр. 159. Прежде всего, мы должны сказать, что, действительно, не может быть силы без об'екта, на который она действует. Говоря о колеблющихся силах, мы выражались не точно. Колеблются по величине и по направлению не две силы; но два напряжения полей, то-есть нечто реально существующее в данной точке пространства. Но тогда является второй вопрос, на который наука пока еще бессильна дать ясный и исчерпывающий ответ: что же представляет из себя напряжение поля, вызванное наличностью электронов (покоющихся или движущихся), имеющее в каждой точке пространства определенную величину и определенное направление, и оказывающееся непосредственной причиной возникновения движущих сил, когда в эту точку поместить соответствующий об'ект, то-есть заряд, магнит или электрический ток? Какие изменения были вызваны в простран-

стве наличностью покоющихся или движущихся электронов? Выражаясь проще в чем заключается механизм возникновения напряжения полей, или, еще проще, что такое напряжение поля? На этот вопрос, пока, ответа нет. Наличность напряжения поля есть факт, который неопровержимо доказывается возникновением движущих сил при только-что упомянутых условиях, если, конечно, мы отказываемся допустить возможность непосредственного дальнодействия. Многие ученые пытались об'яснить сущность напряжения электрического или магнитного полей определенными, чисто механическими изменениями, возникающими в эфире, например, в виде упругих натяжений, кручений и т. д. Однако, все эти попытки результата не дали· механизм возникновения напряжения полей электрического и магнитного не найден; мы не можем наглядно описать, какое механически понятное изменение происходит в данной точке пространства, когда в ней возникает определенное по величине и по направлению напряжение одного из двух возможных полей. Мы должны пока принять, как очевидный факт, существование двух полей и определенных напряжений в каждой из их точек; благодаря этим напряжениям и возникают силы, действующие на помещенные в этих точках соответствующие об'екты, пропорциональные величине напряжения и одинакового с ним направления Следует добавить, что в настоящее время весьма большое число ученых, и притом из наиболее выдающихся, совершенно отрицают существование эфира. И это понятно. эфир оказался для науки ненужным после того, как выяснилось, что лучистая энергия ни в каком случае не может быть распространяющимся в упругом эфире колебательным движением его частиц, и после того, как тщетными оказались все попытки найти механическую картину тех изменений в эфире, которые соответствуют возникновению в пространстве напряжения электрического и магнитного полей. Нет ни одного явления, при об'яснении которого современная физика основывалась бы на существовании эфира, и можно написать подробнейший учебник физики, обнимающий десятки томов, не упоминая в них ни разу об эфире. Эфир науке сейчас не нужен; она гипотезой об эфире нигде не пользуется; ясно, что допустимое только гипотетически и в то же время для науки не нужное для науки не существует.

Итак, утверждая, что лучистая энергия есть электромагнитное колебание, распространяющееся в пространстве, мы можем подробно описать это колебание (стр. 153—155 и рис. 27) и связать его с теми напряжениями электрического и магнитного полей, существование которых не подлежит сомнению, если мы только отказываемся от бесусловно недопустимой мысли о дальнодействии. Однако, до сих пор не удалось дать механического истолкования того, что мы назвали напряжением поля.

Из этого затруднения можно выйти, принимая факт возникно-

вения в пространстве магнитных и электрических напряжений, способных колебаться по величине, за основной и исходный Можно стать на такую точку зрения: мировое пространство так устроено, что в нем может возникать и распространяться особый вид энергии, а именно: энергия электромагнитная, тождественная с энергией лучистой, в виде подробно описанного нами электромагнитного возмущения, характеризованного электрическими и магнитными силами (точнее — напряжениями), перпендикулярными друг к другу и к лучу, вдоль которого возмущение распространяется. Мировое пространство есть пространство электромагнитное и в этом заключается его первичное, основное свойство. Свести это свойство к определенным механическим процессам, происходящим в особой мировой среде, то-есть к процессам, которые были бы аналогичны известным и понятным нам процессам в обыкновенной материи, невозможно и ненужно, если считать это свойство мирового пространства, как нечто существующее, как нечто данное, из которого мы должны исходить и на нем строить наши дальнейшие выводы, вовсе не пытаясь дать ему механического об'яснения Если стать на такую точку зрения, то перед нами раскрываются новые, обширные горизонты и выясняется возможность, а может быть даже необходимость, коренного изменения всего нашего миропонимания. Господствовавшее до недавнего времени миропонимание можно назвать материально-механическим, по сколько оно относилось к неживой части окружающего нас мира. В его основе лежало представление о существовании материи, обладающей определенным строением и определенными свойствами, и способной двигаться; от нее исходят и на нее действуют силы. На этих силах и на тех движениях, которые ими вызываются, должно было основываться всякое об'яснение физических явлений, ибо предполагалось, что эти явления не могут иметь никакого иного источника, кроме сил и движений материи. Над физикой господствовала механика, то-есть общее учение о движении и о силах; идеалом казалось обоснование всех частей физики на механике и к этому же стремились ученые при об'яснении явлений электрических и магнитных. Однако, это казалось неосуществимым. И вот возникло и стало развиваться новое, электро-магнитное миропонимание. Оно уже не старается вывести законы электромагнитных явлений из законов механики, которые Ньютоном были эмпирически установлены. Новое миропонимание принимает как эмпирически установленные факты, те законы, которыми управляются явления электромагнитные и кладет их в основу науки о неживой части мира и ими старается об'яснить явления, в ней происходящие. Оно бросило безнадежные усилия об'яснить законы электромагнитных явлений на основании законов механики и старается, наоборот, показать, какие законы механики вытекают, как следствия, из законов электромагнитных, лежащих в их основе, и вместе с тем в основе

всякой науки о неживой материи, о тех свойствах, которыми она обладает и о тех явлениях, которые в ней обнаруживаются

Если стать на эту точку зрения, то отпадают те сомнения и те недоуменные вопросы, которые может в нас вызвать электромагнитная теория лучистой энергии. В главе VIII мы увидим, что новое учение о строении атома уничтожило науку о материи, как о самодовлеющей реальности, и сделало электричество единственною реальностью, из которой соткано все существующее, вся доступная нашему наблюдению часть вселенной И в этом, с новой стороны, укореняется электромагнитное миропонимание, неукоснительно завоевывающее себе место. Ему принадлежит будущность и на нем ныне строится та наука, в которой оно будет господствовать.

§ 13. Давление лучистой энергии. Заключение. Электромагнитная теория лучистой энергии дала Максвеллю возможность предсказать, что эта энергия, а в частном случае свет, встречая поверхность тела, производит на него некоторое давление. Положим, что лучи падают перпендикулярно (не наклонно), теория показывает, что в случае, когда лучи вполне отражаются, то их давление в два раза больше, чем в случае, когда они вполне поглощаются этой поверхностью. Если лучи отчасти отражаются и отчасти поглощаются, то давление больше, чем при полном поглощении, но меньше, чем при полном отражении. Пойнтинг (род. 1852) доказал (1904 г.), что если лучи падают на поверхность тела наклонно, то они не только давят, но и вызывают как бы боковую тягу, то-есть движение тела в сторону. Весьма любопытно, что мысль о давлении света неоднократно и давно высказывалась разными учеными. Так, например, Кеплер пытался (1619) об'яснить давлением солнечных лучей возникновение кометных хвостов, как известно всегда обращенных от солнца. Эту мысль поддерживал (1622) Лонгомонтанус (Longomontanus, 1561—1647) и к ней возвратился (1746) Эйлер. Первые опыты произвел Бойль, который хотел взвесить свет и для этого старался определить, производят ли лучи света давление на чашку чувствительных весов; результата он таким грубым способом, конечно, получить не мог. Точно также не дали ясных результатов опыты, которые произвели Де-Майран (De Mairan, 1678—1771), Френель 1825, Целлнер 1877 (Zöllner, 1834—1882) и друг. ученые.

Первый, кому удалось решить вопрос о давлении света, был наш великий московский физик П. Н. Лебедев (1866—1912) Путем чрезвычайно тонких и остроумных опытов он в 1900 году не только обнаружил существование этого давления, но и измерил его величину, при чем она оказалась равной величине давления, предсказываемой электромагнитной теорией света. Этой работой никогда не перестанет гордиться русская наука. Итак, предсказание электромагнитной теории подтвердилось на опыте не только качественно, но и количественно. Пойнтингу удалось (1904) на опыте обнару-

жить ту боковую тягу, о которой выше было сказано. Электромагнитная теория предсказывает далее, что если тело испускает лучи не во все стороны, но только в каком-нибудь одном направлении, то на это тело действует сила, направление которой противоположно направлению излучения Это явление вполне аналогично так называемой «отдаче», которая наблюдается в огнестрельных оружиях (пистолетах, ружьях, пушках) при выстреле, когда пушка откатывается, ружье получает толчек в сторону, обратную выстрелу. Это предсказание теории также оправдывается на опыте, как показал Пойнтинг (1910).

На основании всех этих работ ученые вновь обратились к мысли, высказанной Кеплером о той роли, которую может играть световое давление в космических явлениях. Отталкивающее давление солнечных лучей на земной шар не превышает пол-миллиграмма на квадратный метр поверхности земли; оно ничтожно мало сравнительно с притяжением земли солнцем. Но, как показал впервые П Н. Лебедев (1892), для очень маленьких тел, вроде пылинок, находящихся недалеко от солнца, световое давление превышает притяжение со стороны солнца и этим, действительно, могут быть об'яснены кометные хвосты, которые, как известно, возникают только при приближении кометы к солнцу, так как вдали от солнца комета представляется шаровидной туманностью Аррениус (Arrhenius, род 1859) в 1900 году в Швеции и Шварцшильд (Schwarzschild, 1873—1916) в 1901 г. в Германии дали дальнейшее развитие теории комет, основанной на отталкивательном действии солнечных лучей. Шварцшильд показал, что перевес давления лучей над притяжением со стороны массы солнца достигает наибольшей величины, когда диаметр пылинки приблизительно равен одной трети длины волны лучей, действующих на нее Теория вполне об'ясняет возникновение разнообразно наблюдаемых форм кометных хвостов, как следствие светового давления.

Заключение. Вряд ли нужно указывать на то, что на каждой странице этой главы обнаруживается то громадное расширение наших познаний, которое дала нам наука в области рассмотренных здесь явлений. Она расширила узкое понятие о свете, до почти безграничного представления о лучистой энергии, область которой примерно в 50 раз больше области видимого света, если откинуть лучи большой длины волны, не представляющие ни теоретического ни практического интереса. Наука дала нам лучи инфракрасные и ультрафиолетовые, лучи Герца и лучи Рентгена, она ответила на вопрос о том, что такое свет и положила прочные основы для постепенной замены старого миропонимания новым, в котором фундаментом служат не законы механики, но законы явлений электромагнитных. Мы можем ограничиться этими немногими словами. Внимательный читатель и без них поймет, как много в рассмотренной области сделано наукой для расширения тех познаний, которых жаждет мыслящее человечество.

ГЛАВА VII

ВТОРОЕ НАЧАЛО. — НАШ МИР КАК ОРГАНИЗМ.

§ 1. Введение. Мы посвятили четыре главы, от III до VI-ой, весьма обширным вопросам, изучение которых дало нам глубокие познания того, что нас окружает и что происходит в той части вселенной, которая доступна нашему наблюдению. Главы III и V дали нам ясную картину строения материи; они познакомили нас с молекулами, атомами и электронами, с их размерами и с их движениями. В главе VIII мы увидим, что наука могла еще значительно углубить наши познания в этом направлении, раскрыв нам тайну строения атома. Глава VI показала, в каких размерах физика расширила познания в области таких явлений, о которых органы чувств дают нам лишь весьма узкие, весьма скудные сведения. В главе IV мы видели, что та же наука сумела открыть два основных закона, которые господствуют над количественной стороной всех, без исключения, физических явлений. Однако, выше всего, что нами было рассмотрено в предыдущих главах, следует поставить то расширение наших познаний, с которым нам теперь предстоит познакомиться. Здесь мы встретимся с истиной, которая по глубине лежащей в ее основе мысли, по всеоб'емлющей широте ее мирового значения и по богатству тех следствий, к которым она приводит, вряд ли имеет себе подобных в какой бы то ни было науке. Физика может гордиться тем, что ей удалось открыть великую истину, указывающую нам то направление, в котором, подобно организму, постепенно развивается мир. С горячей благодарностью должно отнестись человечество к науке, которая дала ему глубокое познание, раскрыв перед ним тайну эволюции мира. И никогда оно не забудет имен тех мыслителей, благодаря работе которых была выяснена великая истина, господствующая над качественной стороной всего, что происходит в мире, доступном нашему наблюдению. Вот эти имена: Сади Карно (Sadi Carnot, 1796—1832), Клаузиус, Вилльям Томсон (лорд Кельвин), Гельмгольц, Больцман (Ludwig Boltzmann, 1844—1906) и американец Гиббс (Villard Gibbs, 1839—1903).

В этой главе мы будем строго отличать друг от друга два понятия: вселенная и мир.

Под вселенной мы будем понимать совокупность всего существующего. Миром мы назовем лишь ту часть вселенной, которая доступна нашему наблюдению. Она обнимает все звезды и млечный путь и туманные пятна, которые видны в наши трубы. Этот мир мы будем называть нашим миром или «астрономическим» миром. Нет сомнения, что наш мир, мир астрономический, составляет лишь весьма малую долю вселенной, которая, конечно, не оканчивается там, где для нас прекращается возможность наблюдения.

§ 2. Физические процессы и их направления Та великая истина, раз'яснению которой посвящена эта глава, известна в науке под различными названиями, из которых наиболее употребительны: второе начало, принцип рассеяния энергии, принцип возрастания энтропии, принцип невозможности перпетуум-мобиле второго рода. Кроме формулировок, которые соответствуют трем последним названиям, существует еще ряд других, предложенных различными учеными, с некоторыми из этих формулировок мы познакомимся ниже.

Наиболее употребительно первое название, не содержащее в себе каких-либо указаний на определенные факты, намеки на которые ясно звучат в остальных трех вышеприведенных названиях, в которых говорится о рассеянии и о возрастании некоторых величин, или о невозможности построения прибора, удовлетворяющего определенным заданиям.

Обычно принято говорить о «двух началах», которые составляют предмет особого отдела физики, получившего название термодинамики.

Из них первое начало не что иное, как тот закон сохранения энергии, которому мы посвятили четвертую главу этой книги. Этот закон дает нам весьма точный ответ на вопрос о том, как протекают физические явления, то-есть каким они подчиняются количественным законам; при этом самое возникновение данного явления принимается, как факт, и вовсе не ставится вопрос о том, почему происходит именно это, а не какое-либо другое явление. Положим, что происходит приподнятие груза при помощи электрического тока; в этом случае первое начало совершенно точно определит, какое количество электрической энергии необходимо затратить, чтобы данный груз поднять на заданную высоту, то-есть чтобы возникло определенное количество потенциальной энергии приподнятого груза (стр. 65). Другой пример: неупругое тело, масса которого дана, движется с данной скоростью, ударившись о стену, оно внезапно останавливается. Первое начало дает нам возможность вполне точно вычислить, какое количество теплоты возникает при переходе кинетической энергии движения тела в энергию тепловую.

Первое начало является, таким образом, выразителем той строгой закономерности, которая господствует во всех, без исключения, физических явлениях

Отвечая на вопрос о том, как происходят физические явления, первое начало ни слова нам не говорит по другому важному вопросу: что же фактически происходит? Какие физические явления возникают? Чем, если можно так выразиться, определяется выбор явления, происходящего при данных условиях? На эти вопросы отвечает второе начало; оно раскрывает перед нами скрытые, закулисные пружины, управляющие потоком тех событий, которые называются физическими явлениями. Чтобы облегчить ознакомление со вторым началом, мы введем, прежде всего, понятие о процессе. Мы назовем процессом всякую отдельно взятую перемену, происходящую в той или иной части мертвой материи. Значение этого термина вполне выяснится из нижеследующего списка разнообразных процессов·

1) Переход теплоты от одного тела к другому или от одного места данного тела к другому.

2) Появление теплоты, как результат произведенной работы, производство работы на счет затраченной при этом теплоты. Для краткости говорят: переход работы в теплоту и переход теплоты в работу.

3) Растворение твердого или газообразного вещества в жидкости, выделение тех же веществ из жидкости.

4) Переход вещества из одного состояния (твердого, жидкого или газообразного) в другое, то-есть плавление, затвердевание, испарение, ожижение.

5) Диффузия, то-есть постепенное проникновение одного вещества в другое; например, взаимная диффузия двух жидкостей или двух газов; диффузия растворяющегося вещества в жидкости.

6) Переход энергии какого-либо вида в энергию другого вида (стран. 70).

7) Изменение об'ема или давления или температуры тела.

8) Изменение степени электризации или намагничения тела.

9) Всякая химическая реакция соединения, разложения, двойного обмена и т. д.

10) Упругая деформация твердого тела, например, растяжение, сжатие, кручение и гнутие.

Этих примеров достаточно, чтобы выяснить понятие о физическом процессе. Оно не совпадает с понятием о физическом явлении, как это видно хотя бы из того, что радуга есть физическое явление, но не может быть названа процессом. Во многих случаях физическое явление состоит из одного определенного процесса, но, вообще говоря, физическое явление представляется совокупностью нескольких процессов.

Всякий процесс обладает определенным направлением, в котором он происходит, это видно уже из того, что рядом с каждым процессом можно поставить другой, противоположного направления, уничтожающий то изменение, которое было вызвано первым процессом. В тех примерах процессов, которые были нами приведены, мы иногда под одним номером сразу указывали два процесса, друг другу противоположные (см №№ 2, 3, 4 и 9). Весьма легко и для остальных примеров указать на процессы противоположные, сюда относятся: перенос тепла от второго тела к первому (№ 1); разделение веществ, смешавшихся вследствие взаимной диффузии (№ 5); переход энергии второго вида в энергию первого вида (№ 6); изменения об'ема, давления, температуры, электризации, намагничения, противоположные тем, которые происходили в рассматриваемых процессах (№№ 7 и 8).

Следует весьма строго отличать процессы, противоположные друг другу от процессов обратных друг другу. Положим, что произошел процесс, результатом которого оказалась какая-либо из тех перемен, примеры которых явствуют из перечисленных нами процессов. Противоположный процесс, как уже было сказано, уничтожает эту перемену; однако, по своему характеру, и общему течению он может быть совершенно непохожим на процесс первый. Весьма часто оказывается, что первый процесс выполняется легко и просто, а противоположный только путем сложных манипуляций. Процесс растворения соли в воде происходит весьма просто; выделение соли требует особых манипуляций, в роде выпаривания или вымораживания. Процесс перехода энергии движения тела в теплоту при ударе или при трении происходит легко; процесс затраты теплоты для того, чтобы привести тело в движение, весьма сложен. Процесс взаимной диффузии двух газов происходит весьма легко; процесс, приводящий к разделению смеси двух газов на их составные части, очень сложен. То же самое относится к процессам химического соединения двух веществ и разложения образовавшегося сложного вещества, или к процессам перехода теплоты от более теплого тела к более холодному и перехода теплоты от более холодного к более теплому телу. Этот последний процесс вышолним, но требует целого ряда последовательных, довольно сложных манипуляций. Заметим весьма важный факт: какой бы процесс ни произошел, противоположный ему процесс всегда возможен; но он может оказаться несравненно сложнее первого; иначе говоря, он состоит из ряда процессов как бы сопровождающих процесс уничтожения того изменения, которое было вызвано первым процессом.

Нечто совершенно другое обозначает термин «процесс обратный». Положим опять, что произошел какой-либо процесс; в таком случае процесс обратный должен идти обратно первому, в буквальном смысле слова, и не сопровождаться никакими другими процес-

сами, которые не сопровождали первый. Легко убедиться, что процесс обратный данному, фактически происходящему, почти всегда невозможен. Чтобы выяснить это, обратимся опять к примерам процессов на стран 168. При соприкасании двух тел, теплота переходит от более теплого к более холодному. Противоположный процесс переноса теплоты от более холодного тела к более теплому возможен, но, как было сказано, очень сложен Обратный же процесс непосредственного перехода теплоты при соприкосновении двух тел от более холодного к более теплому, очевидно, невозможен При ударе мы имеем процесс перехода кинетической энергии движения тела в энергию тепловую. Противоположный процесс возможен, например, при помощи паровой машины, которая, затрачивая теплоту, может привести тело в движение, но обратный процесс непосредственного перехода теплоты, образовавшейся при ударе, в движение тела, совершенно невозможен Легко сообразить, что процесс взаимной диффузии двух газов или процесс растворения соли в воде не могут идти в обратном направлении

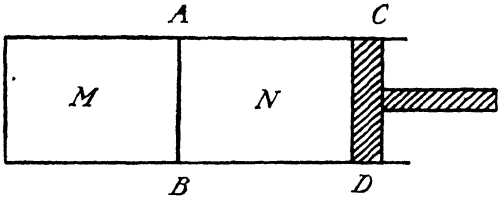

Рис. 29.

газы не разойдутся и соль не станет выделяться из воды без целого ряда добавочных процессов. Особенно поучительным представляется, однако, процесс расширения газа в пустоту

Положим, что цилиндрический сосуд (рис. 29) разделен перегородкой AB на две части M и N; CD поршень, который сперва закреплен неподвижно. Часть M наполнена газом, например, воздухом, а в части N — пустота. Если мы удалим перегородку AB, то газ немедленно перейдет в N и равномерно заполнит обе части M и N цилиндра. Обратный процесс, как бы добровольного перехода всего газа в M, так что в N вновь образовалась бы пустота, очевидно, невозможен. Противоположный же процесс сосредоточения всего газа в M легко выполним, если передвигать поршень CD на лево и, таким образом, сжимая газ, перегнать его из N обратно в M. Но здесь являются добавочные процессы: во-первых, необходимо произвести работу сжатия газа, при чем возникает теплота, так как газ при сжатии нагревается; во-вторых, надо возникшую теплоту отнять от газа, чтобы вполне возвратиться к тому состоянию, которое имелось до процесса расширения газа в пустоту. Мы видим, что и здесь противоположный процесс, хотя и возможен, но, по своему характеру и общему течению, несравненно сложнее первого процесса расширения газа в пустоту; он может произойти только, когда он сопровождается указанными добавочными процессами.

Из всего вышеизложенного явствует, что физические процессы

могут протекать в двух, друг другу противоположных направлениях Весьма важно заметить, что для первого начала, то-есть для принципа сохранения энергии, определяющего исключительно только чисто количественную сторону процессов, оба направления существенно ничем друг от друга не отличаются, первое начало относится к ним безразлично, не видит между ними принципиальной разницы. Оно одинаково точно определяет, какое количество теплоты возникает при затрате определенной работы и какое количество работы может быть получено при затрате определенного количества теплоты. Оно оба вопроса решает сразу, определяя какие количества теплоты и работы друг другу эквивалентны. Для принципа сохранения энергии оба направления процесса играют одинаковую роль и он не ставит вопроса о каких-либо преимуществах одного направления перед другим

§ 3. Процессы естественные и неестественные Примеры, приведенные в предыдущем параграфе, ясно показывают, что некоторые из физических процессов, которые совершаются в доступной нашему наблюдению части вселенной, происходят легко, без особых, если можно так выразиться, затруднений, между тем, как другие, а именно обратные им, никогда не происходят и практически безусловно неосуществимы. Противоположные же им процессы, хотя и возможны во всех случаях, но их осуществление сопряжено с иногда весьма большими затруднениями и, во всяком случае, требует наличности целого ряда добавочных процессов

Внимательное изучение всевозможных явлений показало, что все физические процессы могут быть разделены на две группы, а именно: на процессы естественные и на процессы неестественные. Это суть процессы, друг другу противоположные; если какой-либо процесс естественный, то противоположный ему непременно оказывается процессом неестественным.

Характеристикой двух родов процессов мы теперь и займемся.

А) Естественные процессы, которые называются также положительными, обладают каким-то странным, с первого взгляда непонятным, однако несомненно существующим преимуществом перед другими процессами. Знаменитый немецкий ученый Планк (Planck, род. 1858) говорит, что природа любит эти процессы, предпочитает их, относится к ним как бы с особым пристрастием. Огромное преимущество естественных процессов заключается в том, что они протекают, как мы для краткости выразимся, «сами собой». Эти слова требуют раз'яснения. Во-первых, их можно понимать в буквальном смысле слова: эти процессы непрерывно возникают и протекают сами собой, безо всякого вмешательства человека и без необходимости других процессов, которые сопровождали бы данный естественный процесс Во-вторых, слова «сами собой»

обозначают, что естественный процесс может оказаться единственным результатом совокупности целого ряда одновременно или последовательно протекающих разнообразных процессов. Кратко можно указанное преимущество выразить словами: естественные процессы могут происходить «соло», то-есть без того, чтобы одновременно произошли какие-либо перемены в каких бы то ни было телах, кроме тех, в которых данный процесс происходит Как материал для дальнейшего мы приведем четыре естественных процесса.

К естественным процессам принадлежат:

1) Переход теплоты от более теплого тела к более холодному

2) Переход работы в теплоту

3) Взаимная диффузия двух веществ, например, двух жидкостей или двух газов.

4) Расширение газа в пустоту (стран. 170) или вообще переход части газа из пространства, где давление больше, в пространство, где оно меньше (без изменения температуры газа).

В. Процессы неестественные, которые мы назовем еще отрицательными, суть процессы противоположные естественным. Они все, несомненно, возможны, но они никогда не происходят «сами собой», то-есть никогда не протекают «соло». Это не только означает, что они никогда не возникают и не протекают самопроизвольно, без сопровождения каких то других процессов. Смысл более глубокий, а именно: никогда не удастся придумать такой комбинации процессов, единственным результатом которых был бы неестественный процесс

Такой процесс, как сказано, возможен, но он всегда должен сопровождаться какими-то другими процессами, при чем кроме той перемены, которая составляет сущность рассматриваемого неестественного процесса, непременно окажутся еще другие перемены в других телах, как дальнейшие результаты совокупности происходящих процессов. Неестественный процесс никогда не может явиться «соло» в том расширенном смысле слова, которое только-что было раз'яснено.

К неестественным процессам принадлежат процессы, противоположные вышеприведенным процессам естественным, а именно:

1) Переход теплоты от более холодного тела к более теплому.

2) Переход теплоты в работу.

3) Разделение на составные части смеси двух диффундировавших друг в друга веществ, например, двух жидкостей или двух газов

4) Уменьшение об'ема данного количества газа (без изменения его температуры).

Все эти процессы возможны, но их производство дается не легко и непременно сопровождается какими-то посторонними процессами. О процессе четвертом уже было сказано на стр. 170 Отметим одно характерное обстоятельство, касающееся процессов естественного и неестественного, приведенных под номерами вторыми. В древние времена умели, а ныне дикие народы умеют получать теплоту на счет затраченной работы. Стоит только вспомнить об употреблении кремня и, в особенности, о добывании огня трением друг об друга двух кусков сухого дерева. Но в течение многих тысячелетий, в периоды широкого расцвета культуры, человечество не додумалось до практически ценного способа затрачивать теплоту для производства работы, и только изобретение паровых машин дало людям осуществление неестественного процесса перехода теплоты в работу.

Мы сказали, что та перемена, которая соответствует неестественному процессу никогда не может быть единственным результатом совокупности каких бы то ни было процессов. Последнее никоим образом не следует понимать в том смысле, что мы практически до сих пор не сумели добиться такого результата, что наш разум, или наше экспериментальное искусство для этого недостаточны. Здесь идет речь о несомненной об'ективной невозможности возникновения данного процесса «соло», без сопровождения каких-то других процессов; эта невозможность безусловная, независящая от суб'ективных свойств экспериментатора.

Вышеизложенное уже дает нам право высказать, хотя бы и в предварительной форме, одну весьма важную мысль. Всякий процесс может протекать в двух, друг другу противоположных направлениях; оказывается, однако, что эти два направления как бы не одноценны. Из двух процессов, соответствующих этим двум направлениям, один — естественный, другой — неестественный и между ними то глубокое различие, о котором, хотя и в общих чертах, достаточно было сказано. Если для каждого процесса одинаково мыслимы два направления, и если оказывается, что из этих направлений всегда одно имеет преимущество перед другим, то невольно возникает мысль, что в явлениях, происходящих в мире, доступном нашему наблюдению, то-есть в нашем астрономическом мире (стран. 167), господствует какая-то тенденция, какое то непрерывное стремление идти в некотором определенном направлении, почему-то имеющем огромное преимущество перед направлением противоположным. Ограничиваемся пока этим предварительным намеком.

§ 4. Компенсация неестественных процессов. Говоря о процессах неестественных, мы указали, что их осуществление встречает значительные затруднения и, что самое главное, они не могут происходить «соло», но всегда должны сопровождаться какими-то другими процессами, так что кроме соответствующего им

изменения, непременно должны произойти еще какие-то изменения в посторонних телах. Теперь мы ставим коренной вопрос что это за процессы, которые должны сопровождать процесс неестественный, чтобы его сделать возможным? Тщательное и всестороннее изучение окружающих нас физических явлений дало точный и исчерпывающий ответ на этот вопрос. Оказалось, что неестественный или отрицательный процесс тогда только возможен, когда он сопровождается процессом естественными или положительным. Итак, естественный процесс может произойти «соло», неестественный только вместе с естественным Если в окончательном результате совокупности произвольного числа каких угодно процессов, обнаружилось изменение, соответствующее процессу неестественному, то непременно произошло и такое изменение, которое соответствует процессу естественному. Остановимся, главным образом, на превращениях работы в теплоту и теплоты в работу, чтобы сказанное выяснить на этом, исторически весьма важном примере.

Естественный процесс затраты работы и возникновения теплоты непрерывно происходит «сам собой» при ударе, при трении, при нагревании электрическим током (работа электрических сил), при многих химических реакциях (работа химических сил сродства), при сжатии, например, газа и т д. Пример неестественного процесса затраты теплоты для получения работы мы видим в паровой машине. Сади Карно (1824) первый стал обдумывать те условия, благодаря которым паровая машина действует и вот к какому замечательному он пришел результату. Во всякой паровой машине, как всем известно, должен находиться сильно нагретый котел и, кроме того, гораздо более холодное пространство, в которое вступают отработавшие водяные пары. Назовем это пространство, вообще, холодильником, таковым может служить наружный воздух или особый сосуд, в который пары вступают из цилиндра и в нем охлаждаются холодною водой. В холодильнике пары отдают оставшийся в них излишек теплоты, взятой ими из котла.

Отыскивая те условия, благодаря которым теплота в паровой машине может давать работу, Сади Карно обратил внимание, что таким условием является наличность котла и холодильника, то-есть таких двух тел, температуры которых были бы непременно различны. И, действительно, легко понять, что паровая машина перестанет быть источником работы, если холодильник нагреть до той же температуры, при которой находится котел. Таким образом, разность температур или, как говорят, падение температуры при переходе от котла к холодильнику есть необходимое условие действия паровой машины. Чтобы понять дальнейшие, весьма интересные, но, как мы сейчас увидим, неправильные мысли Карно, необходимо иметь в виду, что он (1824) еще не знал о затрате те-

плоты на работу и считал теплоту за неуничтожаемый «теплород» (стран. 79) Он, потому, полагал, что теплота, взятая паром из котла, целиком переносится в холодильник, если, конечно, не считать случайных потерь вследствие теплопроводности охлаждения частей машины холодным воздухом и т. п

Карно полагал, что «падение теплорода» от температуры котла к температуре холодильника и есть условие того, чтобы теплород производил работу, аналогично тому, как вода работает, падая с более высокого уровня к более низкому, вовсе при этом не расходуясь, то-есть не переставая быть водою. Падение воды сверху вниз и падение теплорода также сверху вниз, то-есть с высокой температуры котла к низкой температуре холодильника, представлялись Карно как явления глубоко аналогичные: вода и теплород работают, только падая. Вся эта картина, как мы теперь знаем, построена на неправильном основании Во-первых, вода работает, расходуя потенциальную энергию приподнятого тела (стран. 65); во-вторых, теплород не существует, а теплота сама есть форма энергии, которая расходуется, то-есть перестает существовать как теплота, когда на ее счет производится работа. И все-таки гениальный Карно правильно схватил сущность дела: естественный процесс перехода теплоты от более теплого котла к более холодному холодильнику должен сопровождать неестественный процесс перехода теплоты в работу, чтобы этот последний процесс оказался бы возможным. Ошибка Карно сводится, таким образом, к следующему: он полагал, что теплота, взятая от котла, целиком переходит к холодильнику; в действительности, часть теплоты, взятой от котла, исчезает, расходуясь на работу, и, в то же время, другое количество теплоты, также взятое из котла, переносится к холодильнику.

Мы видим на этом примере подтверждение общего, высказанного нами положения: неестественный процесс (переход теплоты в работу) может происходить только в том случае, когда он сопровождается процессом естественным (переходом теплоты от более теплого тела к более холодному).

Когда наличность естественного процесса делает возможным возникновение процесса неестественного, то говорят, что первый своим присутствием компенсирует неестественность второго. В паровой машине неестественный переход некоторого количества тепла в работу компенсируется одновременным переходом некоторого другого количества тепла от котла к холодильнику.

Легко сообразить, что такая компенсация должна быть связана с определенными количественными законами. Действительно, процессы данного рода могут отличаться между собой количественно, и мы невольно один процесс назовем маленьким, а другой — большим, или мы припишем одному процессу незначительную

интенсивность, а другому — весьма большую Обратимся, например, к процессу перехода теплоты от тела с более высокой температурой к телу с температурой более низкой. Если один раз одна калория переходит от 20^0 к 15^0, а другой раз 100 калорий переходят от 150^0 к 0^0, то мы скажем, что второй процесс интенсивнее первого. Мы вообще должны процесс такого рода считать тем более интенсивным, чем больше количество перешедшей теплоты и чем больше ее «падение», то-есть разность температур двух тел, между которыми теплота перешла. Точно также процесс перехода теплоты в работу мы должны считать тем более интенсивным, чем больше количество теплоты, затраченной на работу и чем выше температура этой теплоты, то-есть того тела, от которого эта теплота берется, например, температура котла паровой машины. Возвращаемся к вопросу о компенсации. Не может быть, чтобы для компенсации «большого», то-есть весьма интенсивного неестественного процесса была бы достаточна наличность самого «крошечного», то-есть мало интенсивного естественного процесса. Ясно, что компенсация должна управляться определенными количественными законами. Это значит, что естественный процесс должен обладать вполне определенною минимальною интенсивностью, чтобы компенсировать данный процесс неестественный.

Так, например, понятно, что «большой» неестественный процесс перехода в работу 1000 калорий, взятых от тела, температура которого 120^0, вряд ли окажется компенсированным «маленьким» естественным процессом перехода одной калории от тела в 30^0 к телу в 25^0. Наука вполне разобралась в этом вопросе и открыла те количественные законы, которыми регулируется компенсация неестественных процессов естественными. Мы не имеем возможности входить в большие подробности по этому вопросу, но мы можем дать вполне ясное представление о том особенно важном и интересном случае компенсации, который мы имеем в только-что рассмотренном случае паровой машины, в которой неестественный переход одного количества теплоты в работу компенсируется естественным переходом другого количества теплоты от котла к холодильнику. В этом случае оба количества теплоты берутся из одного и того же источника, а именно, из котла. Назовем все это количество затраченной теплотой; она состоит из теплоты полезно-затраченной, то-есть израсходованной на работу, и из теплоты перешедшей (в холодильник), очевидно, совершенно бесполезно затраченной. Мы предполагаем, что температуры котла и холодильника известны; положим, для примера, что котел имеет температуру в 100^0 С, а холодильник находится при 0^0. Представим себе, далее, что мы желаем произвести некоторую работу, эквивалентную 1000 калориям, так что полезно затраченная теплота и должна будет равняться 1000 калориям. Однако, неестественный процесс перехода тысячи калорий теплоты в работу требует для своего осуществле-

ния, в виде компенсации, одновременного естественного процесса перехода некоторого количества теплоты от котла к холодильнику, что составляет совершенно бесполезную, но, к сожалению, неизбежную трату теплоты Спрашивается, какое количество теплоты должно перейти от котла (100^0) к холодильнику (0^0), чтобы этим компенсировать неестественный переход в работу одной тысячи калорий, взятых из того же котла (100^0)? На этот вопрос дает полный ответ следующий закон, относящийся вообще к тому случаю, когда оба количества теплоты, то-есть полезно затрачиваемая и бесполезно переходящая, берутся из одного и того же источника теплоты, как, например, в паровой машине из котла

Этот закон гласит: в рассматриваемом случае количество всей затраченной теплоты, взятой от котла, относится к количеству бесполезно затраченной, перешедшей к холодильнику, как абсолютная температура (стран 87) котла относится к абсолютной температуре холодильника

Напомним, что абсолютная температура равна обыкновенной температуре по термометру Цельзия, сложенной с числом 273. Этот простой закон вполне решает все вопросы касательно компенсации неестественного процесса перехода тепла в работу. Абсолютная температура котла (100^0 С) 373^0, холодильника (0^0 С) — 273^0. Наш закон говорит, что бесполезно перешедшая теплота составляет $^{273}/_{373}$, то-есть почти $^3/_4$ всей теплоты, взятой от котла. Отсюда следует, что полезно затрачено на производство работы только $^{100}/_{373}$, то-есть немногим больше одной четверти (0,27) теплоты вообще затраченной, взятой от котла. Для приведенного выше численного примера, когда нам необходимо полезно затратить 1000 калорий, оказывается, что мы должны всего затратить 3730 калорий, из которых 2730 бесполезно перейдут в холодильник. Вот этот естественный, но для нас бесполезный процесс перехода 2730-ти калорий из котла в холодильник и составляет компенсацию неестественного перехода 1000 калорий в работу.

Чтобы неестественное все-таки сделать возможным, мы должны почти в $3^3/_4$ раза больше затратить теплоты, чем нам нужно для производства работы, так что почти в $2^3/_4$ раз больше теплоты, чем нам нужно, тратится бесполезно.

Приходится жертвовать 2730-ью калориями, чтобы получить нужную нам работу от одной тысячи калорий Отношение полезно-затраченной теплоты ко всей затраченной и к бесполезно перешедшей зависят только от «крайних» температур (котла и холодильника), как это выражено в приведенном нами законе; когда эти температуры суть 100^0 и 0^0, то почти три четверти (0,73) затраченной теплоты пропадет бесполезно и лишь немногим больше одной четверти (0,27) переходит в работу

Отношение полезно затраченной теплоты ко всей затраченной называется экономическим коэффициентом данной машины. Если бы в паровом двигателе из котла брались только та теплота, которая переходит в работу, и та, которая, согласно приведенному закону, безусловно необходима для компенсации, то экономический коэффициент двигателя, работающего между 100° С и 0° С равнялся бы 0,27. Это результат уже убедил бы нас, что паровая машина, играющая столь огромную роль в жизни человечества, представляется в высшей степени невыгодной, так как она три четверти предоставленной ей тепловой энергии тратит, не извлекая из нее никакой пользы. Однако, в действительности, дело обстоит еще гораздо хуже, и вот по какой причине. Приведенный нами закон определяет то минимальное количество теплоты, переход которого от котла к холодильнику безусловно необходим, чтобы служить компенсацией одновременного, неестественного перехода теплоты в работу. Но, помимо этого, переход теплоты от котла к холодильнику, как процесс естественный, может совершаться еще в произвольных количествах, при чем общая затрата теплоты еще увеличивается, а экономический коэффициент еще уменьшается. На число 0,27 следует смотреть, как на идеальное, относящееся к случаю, когда никакой потери тепла, кроме необходимой для компенсации, не происходит. Но в реально существующих паровых машинах холодильник получает больше теплоты, чем требуется для компенсации и, кроме того, весьма значительное количество теплоты, взятой от котла, бесполезно теряется «по дороге», вследствие теплопроводности, охлаждения различных частей машины воздухом и т. д. Поэтому, экономический коэффициент паровых машин еще значительно меньше того числа, которое определяется приведенным нами законом, и если мы хотим 1000 калорий расходовать на производство работы, нам придется взять из котла, то-есть всего расходовать гораздо больше, чем 3730 калорий

Мы подробно остановились на одном случае компенсации неестественного процесса естественным. Легко убедиться, что и другие неестественные процессы, перечисленные на стр. 172, также возможны при условии их компенсации процессом естественным. Обратимся, например, к первому примеру. Мы можем перенести теплоту от более холодного тела к более теплому, если мы, при помощи внешних сил, вызовем в паровой машине движения поршня, противоположные тем, которые в ней обычно совершаются. Поршень будет вытягивать пары их холодильника и вдавливать их в котел, все пойдет в обратном направлении и в результате горячий котел получит теплоту, взятую из холодильника и, кроме того, ту теплоту, которая образовалась при сжатии пара, как результат работы, произведенной при вдавливании пара в котел. Ясно, что неестественный процесс переноса теплоты от более холодного тела к более теплому здесь компенсируется естественным процессом перехода работы в теплоту.

Разделить диффундировавшие друг в друга вещества, конечно, возможно, но для этого требуется целый ряд сложных физических и химических процессов Если в них внимательно разобраться, то всегда окажется на-лицо необходимая компенсация естественными процессами. Многие ученые пытались придумывать такие комбинации различных процессов, результатом которых было бы только одно единственное изменение, соответствующее одному из неестественных процессов, например, только переход теплоты в работу Но все эти попытки ни к чему не привели и в безусловной правильности всего, что было выше изложено относительно компенсации неестественных процессов естественными, не может быть и тени сомнения

Процесс неестественный и как раз компенсирующий его процесс естественный назовем процессом эквивалентным, будем считать такие процессы одинаково интенсивными. В таком случае мы можем формулировать полученный нами результат следующим образом:

Неестественный процесс может только тогда произойти, если он сопровождается компенсирующим процессом естественным, интенсивность которого равна или больше интенсивности неестественного процесса

Слова «равна или больше» характерны для разбираемых здесь вопросов: больше — сколько угодно! но ни в каком случае не меньше. Компенсация должна быть на-лицо, но, сверх этого, естественный процесс может еще протекать с произвольно большею интенсивностью.

§ 5. Второе начало. Рассеяние энергии. Из двух друг другу противоположно направленных процессов, один всегда и всюду возникает и протекает безо всяких особых затруднений, соло, и с ничем неограниченной интенсивностью; другой — никогда не происходит соло; его возникновение связано с выполнением особых тягостных условий, он должен сопровождаться каким-либо процессом естественным, который должен обладать необходимой для его компенсации интенсивностью Процессы первого рода имеют преимущество, природа их предпочитает, а вторые как бы только условно терпит. В конце § 2-го мы уже намекнули, что во всем этом ясно выражается существование в доступном нашему наблюдению мире своеобразной тенденции, какого-то стремления идти по определенному направлению. Условимся рассматривать каждый естественный процесс как шаг вперед по этому направлению и каждый неестественный процесс как шаг назад, и считать величины шагов вперед и назад равновеликими, если два процесса обладают одинаковой интенсивностью, то-есть эквивалентны друг другу, так что естественный процесс как раз может служить компенсацией неестественного Вводя такую картину, мы получаем следующий результат:

в нашем мире непрерывно и везде происходят шаги вперед; никогда и ни при каких условиях не может быть сделан шаг назад. В крайнем случае мы могли бы иметь одновременные шаг назад и равный ему по величине шаг вперед, когда неестественный процесс как раз компенсируется естественным, их совокупность соответствует остановке Но на примере паровой машины мы уже видели, что интенсивность естественного процесса бывает больше, чем нужно для компенсации, шаг вперед больше шага назад, так что даже в случае осуществления неестественного процесса мы все-таки имеем шаг вперед по направлению той мировой тенденции, которая вырисовывается из всего предыдущего, хотя мы пока еще не дали ясной формулировки для направления и общего характера этой тенденции Но тенденция существует; наш мир неукоснительно развивается в каком-то определенном направлении, в котором он идет только вперед, никогда — назад.

Эта тенденция, эта эволюция нашего мира и составляет сущность того, о чем нам говорит второе начало, давая ей различные формулировки, о которых будет сказано ниже. Но уже теперь мы можем высказать следующую мысль, вытекающую как результат сопоставления двух начал

Первое начало учит, что наш мир не есть хаос, что происходящие в нем явления подчиняются определенным количественным законам, что существует мировой порядок.

Второе начало показывает, что наш мир есть организм, развивающийся в строго определенном направлении; что он подчинен вечному закону эволюции.

Можно сказать, что в этих словах и заключается самая общая формулировка второго начала, хотя еще весьма неясная и расплывчатая; не видно, каков общий характер этой тенденции, куда влечет эта эволюция наш мир и, что самое интересное, где первоисточник этой эволюции, где те пружины, которые заставляют процессы течь в определенном направлении. Многие ученые старались разгадать сущность этой тенденции и соответственно ее характеру дать формулировку второму началу. Таких формулировок было предложено довольно много, все они, по существу, друг другу эквивалентны и соответствуют различным точкам зрения или различным сторонам и проявлениям все той же мировой тенденции. Но некоторые из этих формулировок не обладают желательной, всеобхватывающей общностью, относясь к более частным случаям, в которых эта тенденция выражается, например, к тому факту, что переход тепла в работу и переход тепла от холодного тела к теплому суть неестественные процессы, требующие компенсации.

В. Томсон (лорд Кельвин) дал 1851 такую формулировку вто-

рого начала: Невозможно получить работу от какой-либо части материи, охлаждая ее ниже температуры наиболее холодного из окружающих тел

Это понятно, ибо одновременного компенсирующего перехода теплоты от той же части материи к еще более холодным телам при данных условиях быть не может. Если бы теплота переходила от окружающих тел к рассматриваемому наиболее холодному, то работа совершалась бы, очевидно, на счет именно этой теплоты, взятой от более нагретого тела, как она в паровой машине берется от котла.

Приведенная формулировка может быть, однако, заменена другою, весьма интересной Так как теплота может служить источником работы, то ясно, что всякие запасы тепловой энергии обладают определенною ценностью Но ведь мы, на поверхности земли, окружены несметными запасами теплоты, которые находятся в воздухе, в земной коре и в воде рек, озер, морей и океанов. Если бы мы научились извлекать из проходящего мимо нас воздуха, из рек и морей хотя бы малую часть находящейся в них теплоты, охлаждая их на небольшое число градусов, и воспользоваться этой теплотой для производства работы, то эта работа получалась бы из даровой, окружающего нас со всех сторон, материала Машина, которая работала бы исключительно только на счет теплоты воздуха, воды и земной коры, называется перпетуум мобиле второго рода, в отличие от перпетуум мобиле первого рода (стран. 71), который должен работать безо всякого притока энергии.

Перпетуум мобиле второго рода не противоречит первому началу, то-есть принципу сохранения энергии, и в частности эквивалентности теплоты и работы, потому что он производит работу не из ничего, но на счет имеющихся на-лицо запасов тепловой энергии. Можно, поэтому, подумать, что непостроение до сих пор перпетуума мобиле второго рода есть случайное следствие нашего технического неуменья, нашей недостаточной находчивости, и что со временем появится гениальный изобретатель, который осчастливит человечество построением перпетуума мобиле второго рода.

Второе начало учит нас, что этого никогда не будет. Неестественный процесс затраты теплоты на работу требует для своей компенсации наличности естественного процесса, осуществление которого в надлежащих для компенсации размерах при условиях, царящих на земной поверхности, невозможно. Необходим одновременный переход огромных количеств теплоты (см. численный пример на стр 177) от тела одной температуры к телу гораздо более холодному.

На поверхности земли мы не имеем необходимых разностей температур, а те разности, которые встречаются рядом, слишком малы, чтобы компенсация была возможна Если бы можно было построить машину, в которой часть, соответствующая

котлу паровой машины, находилась бы на экваторе, а часть, играющая роль холодильника, в полярных странах, то можно было бы часть экваториальной теплоты употребить на работу, перенося в то же время примерно в три раза больше количество теплоты с экваториальных стран к полярным.

Первое начало учит нас, что перпетуум мобиле первого рода невозможен Второе начало показывает, что и перпетуум мобиле второго рода невозможен. Каждая из этих двух машин сулит человечеству золотой век. Два начала говорят нам, что человечеству не суждено достигнуть счастья золотого века И это хорошо!

Обращаемся к наиболее популярной и часто употребляемой формулировке второго начала, которую также дал В. Томсон (лорд Кельвин) в 1852 г. В этой формулировке второе начало известно под названием принципа рассеяния энергии. Если внимательно рассмотреть всевозможные естественные процессы, определяющие собой направление той тенденции, которая обусловливает эволюцию нашего мира, то оказывается следующее· все виды энергии стремятся к равномерному распределению, к уравнению или сглаживанию существующих различий в их интенсивности (разности температур, разностей степеней электризации, разности уровней жидкостей и т. д). Вместе с тем, все формы энергии постоянно переходят в энергию тепловую, которая также стремится к равномерному распределению и, в конце концов, в виде энергии лучистой, излучается в мировое пространство Все это и приводит к знаменитой формулировке второго начала, как принципа рассеяния энергии· энергия, имеющаяся в нашем мире, стремится к рассеянию, то-есть к переходу в равномерно распределенную энергию тепловую, а затем в энергию лучистую, расходящуюся по мировому пространству. Огромное большинство естественных процессов, действительно, соответствуют этой формулировке. Существуют, однако, и такие, несомненно естественные процессы, которые не подходят под схему рассеяния энергии, сюда относится, например, взаимная диффузия веществ, имеющих одинаковую температуру.

Ценность· энергии заключается для нас в ее способности быть нам полезной, служить источником работы. Стремление энергии к рассеянию, к равномерному распределению, уменьшает для нас ее ценность. На этом основании Пфаундлер (Pfaundler, род. 1839) высказал мысль о том, что материя, как носитель энергии, обесценивается, а сама энергия вырождается.

Из всех приведенных до сих пор формулировок второго начала обладает, однако, наибольшей общностью простое указание на существование в нашем мире определенной тенденции, направление которой характеризуется естественными процессами, которые могут

происходить само, между тем, как противоположные им, неестественные процессы, могут произойти только в сопровождении достаточного для их компенсации процесса естественного.

§ 6 Второе начало и вероятность состояния. Бессмертная заслуга австрийского ученого Л Больцмана заключается в том, что он не только выяснил сущность той мировой тенденции, с которой мы познакомились в этой главе, но и открыл ее первоисточник, каковым оказался молекулярный строй материи К сожалению, мы не имеем возможности войти в подробное изложение основных мыслей Больцмана, его остроумных рассуждений и тех результатов, к которым он приходит. Но все же мы постараемся выяснить наиболее существенные черты теории Больцмана.

Мы уже знаем, что даже весьма малая, в обыденном смысле слова, часть материи содержит очень большое число частиц, находящихся в непрерывном движении. Совокупность огромного числа частиц мы назовем системой Состояние системы в данный момент мы будем определять, во-первых, тем, как частицы в этот момент расположены в пространстве и, во-вторых, тем, каковы скорости частиц по величине и по направлению. Если в данном пространстве находится миллион частиц, то ясно, что они на очень много различных манер могут быть расположены в этом пространстве и что распределение различных возможных скоростей, как по их величине, так и по их направлениям, может быть также, хотя бы мысленно, произведено на бесчисленное множество манер. Каждое определенное расположение частиц, вместе с определенным распределением их скоростей, характеризуют собой состояние системы. Мы говорим, что состояние системы изменилось, когда произошла какая-либо перемена в расположении или в движениях частиц. Мы предполагаем, что частицы весьма часто между собою сталкиваются. Вследствие движений и столкновений частиц, должны непрерывно меняться как их расположение, так и распределение между ними скоростей движений, то-есть должно меняться то, что мы назвали состоянием системы. Нет надобности вдаваться в очень сложные математические рассуждения, чтобы понять, что различные состояния системы обладают неодинаковою вероятностью; во многих случаях весьма ясное, внутреннее чувство говорит, что то или другое состояние системы весьма мало вероятно и потому вовсе не должно встречаться или, по крайней мере, весьма редко. Случайно всякое состояние системы может осуществиться, но вероятность осуществления для различных состояний весьма различная. Чтобы сделать сказанное более наглядным, обратимся сперва к вопросу о возможных расположениях частиц в том пространстве, которое занято системой. Для простоты предположим сперва, что система состоит из небольшого числа, например, из двадцати частиц, находящихся в закрытом со всех

сторон сосуде ABCD (рис 30), в котором они движутся, сталкиваясь между собой и ударяясь в стенки сосуда. Разделим мысленно сосуд на две равные части, M и N; перегородка EF воображаемая, в действительности несуществующая. Двигаясь по всевозможным направлениям, сталкиваясь и отскакивая от стенок, наши 20 частиц непрерывно меняют свое расположение внутри сосуда. Спрашивается, все ли возможные расположения одинаково вероятны и одинаково часто будут встречаться. Возможны следующие 21 расположения частиц: в M все 20 частиц, в N — ни одной, в M — 19, в N — 1, в M — 18, в N — 2; в M — 17, в N — 3; в M — 16, в N — 4 и т. д.; потом, в M — 12, в N — 8; в M — 11, в N — 9, в M — 10 и в N — 10; в M — 9, в N — 11, в M — 8, в N — 12 и т. д.; наконец, в M — 3, в N — 17; в M — 2, в N — 18; в M — 1, в N — 19; в M — ни одной частицы, в N — все 20

Мы ясно сознаем, что эти возможные расположения далеко не одинаково вероятны и, соответственно, различно часто будут встречаться. Наименее вероятны два крайних случая, когда все частицы случайно собрались в одной из половин, если идти от концов написанного ряда к середине, то вероятность увеличивается и наиболее вероятными нам представляются средние случаи, когда числа частиц в M и N мало отличаются друг от друга. Такие случаи будут наиболее часто осуществляться, между тем, как довольно редко все 20 частиц окажутся собранными в одной из двух половин сосуда. Приложим те же рассуждения к системе, состоящей из миллиона частиц; тогда еще ярче выступит разница между степенями вероятности различных расположений. Всякий понимает, или вернее — чувствует, как колоссально мала вероятность случайного скопления всего миллиона частиц в одной из половинок сосуда. Даже скопление в одной половине трех четвертей, двух третей, трех пятых (600.000 частиц в одной, 400.000 — в другой половине), одиннадцати двадцатых (550 000 и 450 000 частиц) представляется весьма мало вероятным и мы уверены, что наиболее часто встретятся такие расположения частиц, при которых числа частиц в M и N немного отличаются друг от друга.

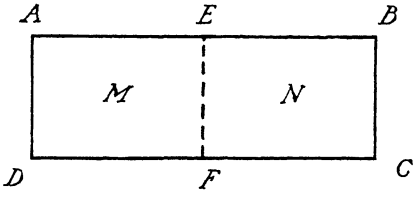

Рис 30

Представим себе, что EF (рис. 30) представляет действительную перегородку, и что мы сперва поместили в M и N весьма неодинаковые числа частиц, например, 700.000 в M и 300.000 — в N. Отнимем перегородку, тогда в сосуде окажется весьма мало вероятное расположение, которое не сохранится, но «само собой» и весьма быстро перейдет в одно из несравненно более вероятных расположений. Обнаружится тенденция перейти от менее вероятного состояния в другое — бо-

лее вероятное, при котором числа частиц в M и N не очень далеки от равенства

Обратимся теперь к вопросу о распределении скоростей движений частиц по величине Этот вопрос заключается в следующем. На стр. 95, 96 уже было сказано, что скорости частиц газа в данный момент неодинаковы, температура газа определяется некоторым средним значением этих скоростей. Обратимся вновь к рис. 30, в котором EF только воображаемая перегородка. Спрашивается, где находятся частицы с большими и где с малыми скоростями? Допустим, что все быстрые частицы скопились в M, а все медленные — в N. Всякий чувствует, что такое распределение, при большом числе частиц, крайне мало вероятно и вряд ли когда-либо случайно осуществится Вследствие взаимных столкновений скорость каждой отдельной частицы постоянно меняется, более быстрые частицы передают часть своих скоростей более медленным и допущенное нами распределение не сохранится. Вообразим опять, что EF действительная перегородка, что M и N содержат газ при одинаковом, например, атмосферном давлении, но что средняя скорость частиц в M больше, чем в N; это значит, что температура газа в M выше, чем в N.

Предположим, что сосуд поставлен вертикально, так что M находится над N. Удалим перегородку, газ, заполняющий весь сосуд, окажется в мало вероятном состоянии и в таковом не останется Быстрые частицы, проникая из M в N, будут частицам в N передавать часть своих скоростей, скорости частиц в N будут постепенно увеличиваться, иначе говоря, температура в N будет подниматься. Теплота будет проникать от M к N; обнаружится то явление, которое называется теплопроводностью. Когда же это изменение состояния всей системы прекратится? Очевидно, тогда, когда распределение скоростей сделается одинаковым во всех частях сосуда ABCD; это значит, что средняя скорость частиц будет почти одинаковой во всех частях сосуда, из которых, однако, каждая часть все же должна содержать большое число частиц. Все это относится не только к газам, но и к жидкостям и к телам твердым. Мы видим, что и в этом случае система обнаруживает тенденцию перейти, само собой, от состояния менее вероятного, в другое — более вероятное.

Обращаемся к наиболее важной и интересной части вопроса о различных состояниях системы, состоящей из огромного числа движущихся частиц. Движение частиц может быть беспорядочное и упорядоченное. Движение называется беспорядочным, если, выражаясь несколько тривиально, в нем нельзя усмотреть никаких следов какого-либо порядка, это значит, что скорости соседних частиц ничем между собой не связаны, так что, зная величину и направление скорости какой-либо частицы, ничего нельзя сказать о величине и о направлении скорости частицы

соседней. Кроме того, все направления движения встречаются одинаково часто, ни одно направление движения не имеет преимущества перед другим. Движение системы называется равномерно-беспорядочным, если средняя скорость частиц во всех частях системы одна и та же; при этом предполагается, что эти части взяты не слишком маленькими, так что каждая из них содержит большое число частиц. Глава V говорит нам, что тепловое движение и есть движение вполне беспорядочное, оно равномерно беспорядочное, если температура во всех частях системы одна и та же.

Движение частиц системы называется упорядоченным, когда величина и направление скорости какой-либо отдельной частицы не могут быть произвольными, но находятся в связи с величинами и направлениями скоростей соседних частиц, а также, вообще, когда движения частиц следуют какому-либо закону или, если опять выразиться тривиально, когда в эти движения внесен какой-либо элемент очевидного порядка. Выше рассмотренный случай, когда частицы с большими скоростями сосредоточены в M (рис. 30), а частицы медленно движущиеся в N, уже нельзя назвать вполне беспорядочным, ибо такое распределение частиц, очевидно, заключает в себе след определенного порядка, как бы определенного предписания: быстрые частицы в M, медленные — в N! Приведем примеры упорядоченных движений. Таковые мы имеем каждый раз, когда система, то-есть газ, жидкость или твердое тело, движется, как целое. Сюда относится прямолинейное движение системы, когда все частицы обладают совершенно одинаковыми по величине и по направлению скоростями (сверх беспорядочного теплового движения, которое мы сейчас оставляем без внимания); далее, движение вращательное, а также всякое другое, более сложное движение системы, как цельного. Ясно, в какой высокой мере в этих случаях движения соседних частиц связаны между собой и, вообще, движения частиц упорядочены. Другие примеры представляют движение частиц колеблющейся струны, движение частиц поверхностного слоя жидкости, когда по этой поверхности идут волны, и т. д.

Теперь мы поставим фундаментальный вопрос о том, какое движение системы частиц представляется более вероятным, беспорядочное или упорядоченное.

Мы легко ответим на этот вопрос, если мы примем во внимание, что вероятным мы назовем такое состояние, которое легко и часто возникает, в особенности из состояния менее вероятного, встречающегося реже и требующего для своего возникновения какого-нибудь особого случайного сочетания условий. Более вероятное состояние легко возникает само собой из менее вероятного, но не наоборот. Поэтому, спросим себя, какой переход совершается легче: от упорядоченного движения к беспорядочному или обратно? Всякому ясно, что упорядочен-

ное движение весьма легко расстроить, сделав его беспорядочным; водворить же порядок, когда триллионы частиц движутся беспорядочно, очевидно, задача нелегкая.

Нет надобности останавливаться на аналогии с толпой людей Упорядоченные движения нескольких полков быстро прекращаются от одного командного слова, предоставляющего каждому право идти, куда он пожелает Обратное упорядочение возможно только при наличности исключительных условий, каковы авторитет дающего приказание, чувства долга или страха у отдельных «частиц» толпы и т. д. Но здесь принимают участие своеобразные биологические элементы, совершенно чуждые тому миру мертвой материи, которым занимается физика. На поставленный нами вопрос мы должны ответить:

Беспорядочное движение несравненно вероятнее движения упорядоченного; первое легко возникает из второго; второе из первого только при каких-то исключительных условиях.

Сопоставляя эти слова с тем, что выше было сказано о тепловом движении (напечатано жирным шрифтом), мы получим такой результат:

Из всех возможных движений системы материальных частиц наиболее вероятным является равномерно-беспорядочное тепловое движение

После всего изложенного, уже нетрудно будет понять основную мысль гениальной теории Больцмана, раз'ясняющей ту мировую тенденцию, на которую нам указывает второе начало. Она может быть выражена словами:

Та тенденция, которая существует в явлениях нашего мира и на которую указывает второе начало, сводится к непрерывному стремлению системы материальных частиц переходить от менее вероятного состояния к более вероятному. И в этом заключается сущность той эволюции нашего мира, которая заставила нас смотреть на этот мир, как на организм, развивающийся в определенном направлении. С этим вполне согласуется и та формулировка (стр. 76), которая говорит о постоянном переходе всех форм энергии в энергию тепловую и о стремлении последней к равномерному распределению; это понятно, так как равномерно-беспорядочное движение равномерно распределенной тепловой энергии и есть наиболее вероятное движение системы частиц. Когда движущееся тело, ударяясь о преграду (стена, земля), останавливается, мы имеем переход мало вероятного упорядоченного движения системы частиц в несравненно более вероятное, беспорядочное тепловое движение. То же самое мы имеем когда движение тела, вследствие трения, переходит в энергию тепловую. И какой бы мы ни взяли из естественных процессов, мы всегда найдем, что он сводится к переходу системы частиц от более упорядоченного состояния к менее упорядоченному, то-есть от менее вероятного к более вероятному. Возьмем, например, есте-

ственный процесс взаимной диффузии двух газов. Если в сосуде все молекулы кислорода находятся в нижней половине, а все молекулы водорода в верхней, то такое их распределение, очевидно, в известной степени упорядоченное и состояние всей системы не наиболее вероятное, каковым представляется равномерное смешение молекул кислорода и водорода, к нему и приводит процесс взаимной диффузии этих двух газов.

Неестественные процессы представляют переходы от менее к более упорядоченным состояниям, или от более вероятных к менее вероятным

Так, в паровой машине вполне беспорядочное и наиболее вероятное тепловое движение частиц пара переходит в упорядоченное движение поршня, колес и т. д Но мы видим, что неестественный процесс должен быть компенсирован естественным, при котором вероятность состояния другой системы частиц увеличивается Возникновение порядка в одной системе компенсируется уменьшением порядка в другой Если мысленно соединить в одну систему все частицы, принимающие участие в обоих процессах, то окажется, что в этой системе степень упорядоченности, а, следовательно, и вероятность ее состояния остались без изменения, если естественный процесс как раз эквивалентен неестественному, то-есть как раз его компенсирует Но мы видели, что интенсивность естественного процесса всегда больше, чем требуется для компенсации, так, из котла паровой машины берется гораздо больше теплоты, чем требуется для компенсации (стран 177). Отсюда следует, что и в паровой машине, в которой происходит неестественный процесс перехода теплоты в работу, мы все-таки, в конце концов, имеем переход к менее упорядоченному, то-есть более вероятному состоянию системы материальных частиц.

Особый отдел математики, исчисление вероятности, дает возможность вычислить вероятность состояния системы частиц, когда известно, как расположены и как движутся эти частицы Мы можем теперь дать второму началу новую, своеобразную формулировку. вероятность состояния нашего мира непрерывно растет; она никогда не уменьшается.

В той сложной науке, которая специально занимается двумя началами и которая называется термодинамикой, играет весьма большую роль особого рода величина, которая называется энтропией системы частиц. Эта величина находится в простой зависимости от вероятности состояния системы, энтропия и вероятность вместе растут и вместе убывают (для знакомых с математикой мы заметим, что энтропия пропорциональна логарифму вероятности)

Клаузиус говорит энергия мира постоянна, энтропия мира стремится к максимальному значению. Следовало сказать: «нашего мира», то-есть той части вселенной, которая доступна нашему наблюдению.

§ 7 Наш мир, как организм. В предыдущем мы выяснили, что в явлениях окружающего нас и доступного нашему наблюдению мира господствует определенная тенденция, благодаря которой происходит непрерывная эволюция мира в определенном направлении. Мы, далее, познакомились с идеями Больцмана, показавшего, что эта эволюция сводится к переходу от менее вероятного состояния системы частиц к состоянию более вероятному, или, что по существу почти то же самое, к непрерывному возрастанию энтропии. Наиболее вероятное состояние системы молекул (такой системой и представляется наш мир) есть состояние равномерно беспорядочного движения, то-есть теплового безо всяких разностей температур.

Мы выяснили, таким образом, характер той тенденции, которая существует в нашем мире, и которая, как мы выразились, заставляет нас смотреть на этот мир, как на организм, развивающийся в определенном направлении. Непрерывная эволюция мира — вот та картина, которая рисуется нашему разуму. Но в тесной связи с этой картиной восстает перед нами длинный ряд глубочайших вопросов, обративших на себя специальное внимание не только физиков, но и философов. Прежде всего, мы должны спросить: если происходит эволюция, то где ее начало и где ее конец? Каково было то первоначальное состояние, с которого эволюция началась и к какому окончательному состоянию приведет эта эволюция наш мир?

Во всем своем страшном величии встает перед нами вопрос о судьбе мира и мы увидим, в какой тесной связи находится этот вопрос с другими вековечными вопросами, решение которых, вероятно навсегда останется за пределами того, что доступно человеку Мы имеем в виду вопросы о конечности или бесконечности пространства и времени.

Поставим, прежде всего, вопрос о том конце, к которому должна привести наш мир существующая в нем тенденция. Этот вопрос решается просто и вполне ясно для всякой «замкнутой системы», которая не обменивается ни материей, ни энергией с остальными частями вселенной. В такой системе энтропия должна непрерывно возрастать, это значит, что состояние системы должно непрерывно приближаться к наиболее вероятному состоянию, при котором все виды энергии перешли в энергию тепловую, равномерно распределенную между всеми частями системы, то-есть вполне «вырадившуюся» по выражению Пфаундлера, неспособную быть использованной для производства работы. Предельное состояние характеризуется полной неподвижностью и невозможностью возникновения каких бы то ни было процессов, а, следовательно, и каких-либо физических явлений. Такое окончательное состояние, от которого нет спасенья для замкнутой системы, и которое аналогично смерти живого организма, называется тепловой

смертью К ней роковым образом приводит второе начало всякую замкнутую систему. Необходимо, однако, иметь в виду, что система, приближаясь к такому предельному состоянию, строго говоря, никогда его не достигает вполне. Действительно, чем меньше, например, разности температур отдельных частей системы, тем медленнее происходит их уравнивание, чем меньше скорости частей системы, тем слабее сопровождающее их трение и тем медленнее кинетическая энергия движения переходит в энергию тепловую. Но когда размеры системы невелики, то сравнительно скоро достигается такое состояние, которое неощутимо мало отличается от предельного, то-есть от тепловой смерти и практически с ним тождественно. Для обширной системы, например, для всего нашего астрономического мира, то-есть для той части вселенной, которая доступна нашим наблюдениям, должно протечь невообразимо огромное время, чтобы она от ныне наблюдаемого состояния дошла бы до состояния, весьма мало отличающегося от предельного, то-есть от тепловой смерти. Мы оставляем пока без внимания тот факт, что наш мир не представляет из себя замкнутой системы.

Обращаясь к таким огромным системам, как наш мир, мы сразу встречаемся с одним из тех величайших вопросов, которые стоят, пока еще, за гранями наших познаний и нашего разумения, а может быть и вечно за ними останутся. Мы имеем в виду вопрос. давно ли существует наш мир? Наука не может допустить мысли о начале бытия нашего мира; между прочим, пришлось бы представить себе этот мир вначале обладающим минимальной вероятностью состояния. Но, с другой стороны, допущение бесконечно долгого существования мира неизбежно приводит к заключению, что все процессы, текущие в определенном направлении, должны были кончиться, эволюция мира должна была завершиться, ибо за бесконечно большой промежуток времени процессы не могли не достигнуть своих пределов. Вот какая великая дилемма связана со вторым началом, как мы его обрисовали в этой главе.

Разного рода попытки найти выход из этой дилеммы не увенчались успехом. Весьма часто указывалось на следующий выход: два светила, давно не только погасшие, но и потерявшие всю тепловую энергию, но еще продолжающие двигаться, сталкиваются, и при этом так сильно накаливаются, что превращаются в парообразное состояние, в туманность, одинаковую с той, из которой эти светила когда-то образовались путем медленного сгущения Таким образом, происходит возвращение к первоначальному состоянию, и все процессы начинаются сызнова. Этот выход указан многими учеными, например, Геккелем в его известном сочинении «Мировые загадки». Полнейшая несостоятельность этого рассуждения совершенно очевидна. Новый туман вовсе не тождествен с первоначальным, так как все невообразимо громадные запасы энер-

гии, которые, в виде лучистой энергии, рассеялись в мировом пространстве за мириады лет, протекшие от начала сгущения первого тумана до образования второго, потеряны бесследно, и новый туман может содержать в себе лишь тот сравнительно ничтожный остаток запаса энергии первоначального тумана, который сохранился в виде энергии движения двух потухших светил. Больше того! Именно столкновение светил не только не спасает от последствий второго начала, но, наоборот, является внезапным, громадным шагом вперед по направлению той эволюции, которая определяется вторым началом. Действительно, для потухшего, совершенно охладившегося светила дальнейшее рассеяние энергии происходит чрезвычайно медленно, или даже вовсе прекращается, когда оно движется, не встречая никакого сопротивления среды. В образовавшемся при столкновении горячем тумане вновь начинается быстрое рассеяние энергии в мировое пространство и соответствующее ему возрастание вероятности состояния. Возникновение нового тумана, как прекрасный пример перехода от упорядоченного движения в движение беспорядочное, тепловое, происходит вполне согласно второму началу. Это не есть спасительный шаг назад, как думают многие, но, наоборот, быстрый и громадный шаг вперед по направлению к той тепловой смерти, которая стоит в конце эволюции, характеризованной вторым началом. Можно идти дальше и сказать, что если потухшие светила не встречают никакого сопротивления своим движениям, то только их взаимные столкновения могут заставить мир идти дальше по направлению, указанному вторым началом и, таким образом, продолжать остановившуюся эволюцию.

Столкновение потухших светил не сулит спасения от тепловой смерти. Но в другом направлении видна возможность исхода, хотя пока и неясная, туманная. Мы все время говорим о замкнутой системе Но, ведь, таковой в действительности не существует. Наш мир, понятно, не составляет замкнутой системы; он лишь частица вселенной и с ее остальными частям находится в связи, о характере которой нам ничего неизвестно. Здесь открывается перед нами непочатое поле для всякого рода гипотез, к сожалению, почти во всех случаях, мало обоснованных, но в неразрывной с ними связи возникают вековечные вопросы о конечности и бесконечности пространства и количества содержащейся в ней материи

О вселенной мы ничего не знаем, но именно это обстоятельство должно нас заставить рассуждать с величайшей осторожностью, и, ничего не утверждая, допускать, однако, разного рода возможности. Мы не имеем права утверждать, что вселенная однородна, то-есть, что во всех ее частях она построена аналогично нашему миру. Только при полном незнании границ наших познавательных способностей можно пытаться распространить второе начало на всю вселенную и говорить о конце мира, вернее о конце вселенной, который якобы есть неизбежное следствие закона рассеяния энергии.

По свойствам мира, доступного нашим наблюдениям, не составляющего даже атома вселенной, если она бесконечна, нельзя делать заключений о свойствах вселенной, остающейся нашему познанию недоступной. В других частях она может быть совершенно непохожа на наш мир; в них и содержимое может быть другое, недоступное нашему воображению, и законы, управляющие явлениями, могут быть непохожи на те, с которыми нас знакомит созерцание окружающего нас мира Возможно, что в неведомых свойствах других частей вселенной кроется источник таких явлений, которые, постепенно или периодически, уничтожают результат той эволюции, которую мы ныне наблюдаем в том крошечном мире, который доступен нашему наблюдению.

§ 8 Заключение. В этой главе мы познакомились с одним из глубочайших открытий человеческого гения, который сумел в кажущемся хаосе окружающих нас явлений не только открыть господствующие над ними количественные законы сохранения материи и энергии, но и подметить великий закон эволюции мира в той тенденции, которою определяется качественная характеристика физических явлений. Широкие горизонты раскрыла перед нами рассмотренная эволюция мира; мы узнали ее скрытый первоисточник, и мы поняли, что вопрос о том конце, к которому она приводит, неразрывно связан с вековечными вопросами о конечности или бесконечности пространства, времени и материи. Грандиозную и в то же время кристально-ясную картину эволюции мира дала нам физика, обогатив нас познанием, подобным которому, по глубине основной мысли и по богатырскому размаху, найдутся немногие другие — если вообще найдутся!

ГЛАВА VIII

СТРОЕНИЕ И РАСПАД АТОМА. РАДИОАКТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ.

§ 1. Введение. В главах III и V мы познакомились с атомами и с электронами и мы видели, как из атомов построены молекулы. Наука, дав нам познание внутреннего устройства вещества, на этом не остановилась. Сравнительно очень недавно она сделала дальнейший огромный шаг, она проникла еще много глубже в структуру материи, раскрыв перед нами тайну строения атома. Это новое обогащение наших познаний возникло на почве изучения радиоактивных явлений, открытых в самом конце истекшего столетия (1898). Учение же о строении и о распаде атомов всецело принадлежит текущему, двадцатому столетию; важнейшие же части этого учения возникли во втором его десятилетии, то-есть после 1910 г., но мысль о распаде атома была впервые высказана в 1903 году.

Мы видели, что учение об атомах было положено в основу химии Дальтоном в 1810 г. (стран. 45), почти ровно сто лет должны были пройти, прежде чем наука могла сделать следующий шаг, перейти от вопроса о строении молекулы к вопросу о строении атома

§ 2. Атомные числа. Ионизация газов. Положительное электричество Прежде, чем приступить к рассмотрению того нового великого расширения и углубления наших познаний, которому посвящена эта глава, нам необходимо сказать несколько слов об атомных (порядковых) числах, об ионизации газов и о положительном электричестве.

1. Атомные (порядковые) числа. Об этих числах уже было сказано на стран. 49. Напомним, что все элементы можно расположить в один ряд по возрастающим атомным весам (стран. 49); в то же время можно элементы в этом ряду просто занумеровать по порядку. Номер элемента и называется его атомным или порядковым числом. Эти числа идут от 1 (водород) до 92 (металл уран).

В нижеследующей табличке приведены порядковые числа N и атомные веса A некоторых из элементов.

	N	A		N	A
Водород	1	1	Медь	29	63,7
Гелий	2	4	Цинк	30	65,4
Литий	3	7	Бром	35	79,9
Бериллий	4	9,1	Серебро	47	107,9
Бор	5	11	Олово	50	118,7
Углерод	6	12	Иод	53	126,9
Азот	7	14	Платина	78	195,2
Кислород	8	16	Золото	79	197,2
Натрий	11	23	Ртуть	80	200,6
Алюминий	13	27,1	Свинец	82	207,2
Фосфор	15	31	Радий	88	226,2
Сера	16	32,1	Торий	90	232,4
Хлор	17	35,5	Уран	92	238 2
Железо	26	55,8			

Мы внесли в эту табличку почти только те элементы, которые более или менее общеизвестны. Для дальнейшего особенно важны: гелий, радий, торий и уран. Из них гелий (порядковое число 2) есть газ, находящийся в различных минералах, из которых он выгоняется прокаливанием. Он содержится и в воздухе, но в весьма малых количествах; на солнце его присутствие не подлежит сомнению. Он ни с какими другими элементами в химические соединения не входит. Мы увидим, какую совершенно исключительную роль этот газ играет в явлениях радиоактивных или, что по существу то же самое, в явлениях распада атомов. Литий и бериллий суть металлы; бор входит в состав всем известной борной кислоты. Углеродом называется тот элемент, который встречается в виде угля, графита и алмаза. Натрий есть металл, который в соединении с газом хлором образует обыкновенную поваренную соль. Торий и уран — металлы с наибольшими атомными весами, атом тория в 232,4, а атом урана в 238,2 раза тяжелее атома водорода Рассматривая нашу табличку, нельзя не заметить, что в начале, если не считать водорода, атомное или порядковое число составляет приблизительно половину атомного веса, но что с увеличением этих чисел отступления от этого простого правила увеличиваются; для урана атомный вес 238,2 между тем, как удвоенное порядковое число 92 равно 184.

2. Ионизация газов. Газы, находящиеся при обыкновенных температуре и давлении, совершенно не пропускают через себя электричество, они принадлежат к наилучшим изоляторам, как принято называть непроводники электричества. Оказывается, однако, что под влиянием целого ряда разнообразных воздействий газ становится проводником электричества, так что помещенные в нем наэлектризованные тела быстро теряют свои заряды, уходящие через газ. Из всех воздействий, вызывающих проводимость газа, упомянем здесь только об одном, а именно: о лучах Рентгена. Газ, например,

воздух, через который прошли рентгеновы лучи, делается проводником электричества. Это можно обнаружить следующим образом: в продолговатый стеклянный сосуд, наполненный воздухом (рис 31) помещаются две металлические пластинки A и B, соединенные с полюсами электрической батареи MN, состоящей, например, из аккумуляторов. На пути введен гальванометр C, магнитная стрелка которого отклоняется под влиянием электрического тока, если таковой проходит по замкнутой цепи AMNCBA, а, следовательно, и через газ, находящийся между пластинками A и B. Таким образом, движение магнитной стрелки в гальванометре C дает нам знать, что воздух между A и B сделался проводником электричества. Оказывается, что при каждом прохождении рентгеновых лучей через воздух, последний перестает быть полным изолятором, что и обнаруживается гальванометром. Мы приняли схему, которая изображена на рис. 31, как особенно простую и легко понятную. В действительности, употребляется несколько иное распределение приборов, при чем гальванометр заменяется другим прибором (электрометром), который также обнаруживает течение электричества через газ. Разница для нас несущественна; важно только то, что имеется прибор, подвижная часть которого каждый раз приходит в движение, когда газ, находящийся в замкнутом сосуде, делается проводником электричества. Добавим одно важное, общее замечание если прекращается то воздействие на газ, под влиянием которого он делается проводником электричества, то после некоторого, иногда весьма недолгого времени, исчезает приобретенная газом проводимость и газ вновь делается изолятором. Чем меньше времени продолжалось воздействие на газ, например, прохождение через него рентгеновых лучей, тем, вообще, быстрее восстанавливается первоначальное состояние газа, то-есть его неспособность проводить электричество.

Тщательно был исследован вопрос о том, что происходит с газом, когда он делается проводником электричества. Оказалось, что от некоторых, но далеко не от всех, атомов газа отделяются электроны, то-есть мельчайшие частицы отрицательного электричества (стран. 54). Атом, лишенный одного или нескольких электронов, представляется наэлектризованным положительно; таким образом, воздействие на газ, например, рентгеновых лучей, как бы расщепляет атом на две части, которые называются ионами, при чем отрицательные ионы суть не что иное, как электроны, между тем, как положительные ионы представляют атомы или даже молекулы, потерявшие один или несколько электронов. Такое воздействие на газ называется ионизацией; мы говорим, что газ, например, под влиянием рентгеновых лучей, ионизируется. Замкнутое пространство, в котором происходит ионизация, иногда называется ионизационной камерой. Чем сильнее воздействие на газ, тем больший процент молекул газа подвергается ионизации.

Мы упомянули только об одном способе ионизации газов при

помощи рентгеновых лучей. Из множества других способов нам необходимо сказать еще об одном, а именно: об ионизации через столкновение. Оказывается, что если ион, под влиянием внешних электрических сил приобретает очень большую скорость, то он при столкновении с молекулой газа, может вырвать из нее электрон, то-есть разделить ее на два иона и тем самым вызвать ионизацию газа, или усилить таковую, если она уже существовала Такую ионизацию через столкновение могут произвести отрицательные ионы, то-есть электроны, если они под влиянием электрических сил приобретают большие скорости

3. Положительное электричество Существование отрицательного электричества не может подлежать ни малейшему сомнению, и мы достоверно знаем, что оно имеет «атомное» строение, то-есть состоит из мельчайших частиц, не содержащих ничего иного, кроме вполне определенного количества отрицательного электричества, составляющего их заряд; эти частицы и суть электроны. О заряде и о размерах электронов было сказано в главе III-ей Здесь

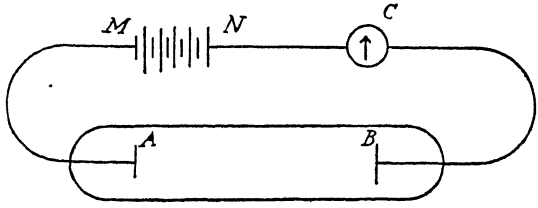

Рис. 31.

наука добилась полной ясности и дала нам вполне отчетливую и во многих отношениях даже законченную картину. Весьма существенно, что бывают электроны свободные, то-есть не связанные с материей, сюда относятся электроны, образующие катодные лучи (стран. 150) и вызывающие рентгеновые лучи при ударе об антикатод; далее, потоки электронов, движущихся, например, внутри металлической проволоки, образуя обыкновенный электрический ток, а также электроны, вырванные из атомов газа при его ионизации.

В совершенно другом положении находится вопрос об электричестве положительном. Нет ни одного явления, в котором ясно и непосредственно обнаруживалось бы присутствие свободного положительного электричества, действующего по тем же законам, как электричество отрицательное, но в противоположных направлениях; это означает, что первое притягивает то, что второе отталкивает, и наоборот. О единственном случае, когда мы имеем дело со свободным положительным электричеством, будет сказано ниже (лучи «альфа»).

Вполне отрицать существование положительного электричества невозможно, так как нейтральный, неионизированный атом, никаких электрических сил не обнаруживает, хотя в нем, несомненно находится, по крайней мере, один электрон, а именно тот, который от него отрывается при ионизации. Электрические силы, исходящие от этого электрона, могут быть уничтожены только чем-то действующим как раз в противоположную сторону, а это «что-то» мы и называем положительным электричеством. Таким образом, мы принуждены допустить, что в атоме находится, кроме электронов, также и некоторое количество положительного электричества. Мы назовем элементарным количеством положительного электричества то количество, которое действует с такою же силой, как и электрон, но, конечно, в противоположную сторону. Было бы неудобно назвать это количество «положительным электроном», так как с понятием об электроне связано представление об его свободном существовании. Зато мы можем сказать, что электрон содержит элементарное количество отрицательного электричества. Ясно, что если в состав атома (нейтрального) входит некоторое число, например, пять электронов, то в нем должно содержаться такое же число, например, пять элементарных количеств положительного электричества.

§ 3. Современное учение о строении атомов. В течение всего девятнадцатого столетия атомы различных элементов рассматривались, как мельчайшие крупинки того вещества, которое определяется названием данного элемента. Для простоты, эти крупинки иногда представлялись в виде очень маленьких шариков. Различие между атомами элементов казалось глубоким, ибо оно относилось к самому их существу. Атомы, например, кислорода, фосфора, железа, серы и т. д. тем, прежде всего, и отличались друг от друга, что они представляли крупинки кислорода, фосфора, железа, серы и т. д.; неодинаковые их размеры и массы представляли различие второстепенное. Главное же различие относилось к тому, из чего они состоят. Мысль о возможности превращения одного элемента в другой, которую когда-то лелеяли алхимики, казалась безусловно несбыточной, именно потому, что атомы различных элементов различны по существу, по своему составу. Между атомами различных веществ не было ничего общего и о превращении атома одного вещества в атом другого не могло быть и речи. Отвергалась также всякая мысль о каких бы то ни было переменах, которые могли бы призойти в самих атомах, а тем более об их распаде на какие-либо составные части. Атомы, соответственно этому названию, взятому из греческого, неделимы или вернее говоря, неделящиеся. При всевозможных физических и, в особенности, химических явлениях, атомы только переходят с одного места на другое, происходит изменение их группировки, но каждый атом вечно остается все тою же неизменною, мельчайшею крупин-

кой одного из многих десятков существующих простых веществ, то-есть элементов.

Эта картина, господствовавшая, как сказано, в прошлом столетии, подверглась коренному изменению, когда возникло, окрепло и разлилось по всем отделам физики учение об электронах. С начала могло казаться, что одно другому не мешает, что атомы «обыкновенной материи», как нередко выражались, существуют сами по себе, а электроны сами по себе. Тщательное и всестороннее изучение тех явлений, которые обнаруживаются при прохождении электричества через газы, привело к учению о ионизации газов, вкратце рассмотренному в предыдущем параграфе. Не оставалось сомнения, что отрицательные ионы, то-есть электроны, появляются в результате разделения атома на части, что электроны вырываются из состава атома под влиянием электрических сил, обладающих необходимым для этого напряжением, такие силы развиваются, например, при столкновениях атомов с достаточно быстро движущимися электронами. Очевидно, что нейтральный, то-есть не ионизированный атом должен содержать столько элементарных количеств положительного электричества, сколько электронов входят в его состав. Открытие и изучение радиоактивных явлений указало на новые случаи глубоких изменений, могущих произойти в составе атома, об них будет сказано в § 6. Все эти, а также другие открытия, на которых мы не останавливаемся, вызвали разнообразные попытки многих ученых представить «модель атома», то-есть дать описание такого строения атома, которое вполне об'ясняло бы все явления, зависящие от этого строения или от его возможных изменений. Не останавливаясь на этих попытках, имеющих ныне уже только историческое значение, перейдем к той модели атома, которую дал английский ученый Резерфорд (Rutherford, род. 1871) в 1911 году, основываясь на явлениях, которые наблюдаются, когда электроны, или положительно наэлектризованные частицы «альфа», с которыми мы познакомимся в § 6, проходят через тонкие слои различных веществ, в особенности металлов. Датский ученый Бор (Bohr) развил в 1913 году модель Резерфорда и показал, при каких условиях атом испускает лучистую энергию и чем определяется число колебаний испускаемых атомом лучей. Обнаружилось поразительное и до мельчайших деталей полное согласие между предсказаниями теории Бора и результатами опытных исследований лучистой энергии, испускаемой различными веществами. Дальнейшие экспериментальные и теоретические исследования многочисленных ученых показали, что модель Резерфорда и Бора несомненно соответствует действительности, что тайну строения атома можно теперь считать разгаданной. В основных чертах строение атома следующее:

1) Атом построен из центрального ядра, состоящего из положительного электричества, вокруг ко-

торого вращаются электроны, подобно тому, как планеты вращаются около солнца.

2) Число электронов равно атомному или порядковому числу (стран. 193) соответствующего элемента.

3) Ядро содержит столько элементарных количеств положительного электричества, сколько электронов вращается вокруг него. Таким образом, число этих элементарных количеств положительного электричества в ядре также равно атомному числу соответствующего элемента

Электроны движутся, в большинстве случаев, по концентрическим кругам, в центре которых находится ядро атома. По одному и тому же кругу или, как говорят, по одной круговой орбите могут одновременно двигаться несколько, повидимому до десяти электронов, расположенных на разных друг от друга расстояниях и образующих «электронное кольцо». Чем ближе к ядру, тем быстрее вращается кольцо. Кроме электронов, сидящих на кольцах, могут быть и отдельные электроны, двигающиеся каждый по своей орбите. Эти орбиты обхватывают электронные кольца, то-есть находятся дальше от ядра, чем кольца; весьма важно, что они могут быть не только круги, но и эллипсы, подобно тому, как планеты движутся вокруг солнца по эллиптическим орбитам. Мы видели (стран. 55), что масса электрона очень мала; она примерно в 1800 раз меньше массы одного атома водорода. Отсюда получается такой результат.

4) Почти вся масса атома сосредоточена в его ядре. Мы пока не можем об'яснить, каким образом возникает у ядра та масса, определение которой было нами дано стран. 198.

Относительно ядра мы можем еще высказать следующее:

5) Размеры ядра, во всяком случае, не очень превышают размеры электрона.

6) Для элементов с не очень малым порядковым числом ядро содержит внутри себя некоторое число электронов и, соответственно им, увеличенное число элементарных зарядов положительного электричества.

Обратимся к табличке на стр. 194 и приложим к поименованным в ней элементам пункты второй и третий. Число электронов в атоме равно порядковому числу N, указанному в первом столбце. Отсюда следует, что атом водорода содержит только один электрон, атом гелия — два электрона, атом лития — три, атом бора — пять, атом углерода — шесть, атом натрия — 11, атом железа — 26, атом серебра — 47, атом золота — 79 и, наконец, атом урана — 92 электрона. Те же числа определяют, сколько элементарных количеств положительного электричества, во всяком случае, содержатся в ядрах названных элементов; на основании пункта шестого можно предположить, что для большинства элементов ядро содержит внутри себя электроны и соответственно увеличенный положительный за-

ряд. Для атомов некоторых элементов можно достоверно указать распределение электронов по различным орбитам. На рис. 32 показано строение атомов первых шести элементов. В центре находится ядро, обозначенное одной точкой.

Атом водорода состоит из ядра, содержащего одно элементарное количество положительного электричества; вокруг ядра вращается один электрон. В атоме гелия ядро содержит два элементарных количества; вокруг ядра вращаются на общей круговой орбите два электрона, расположенные на противоположных концах диаметра.

Ядра атомов лития, бериллия, бора и углерода содержат соответ-

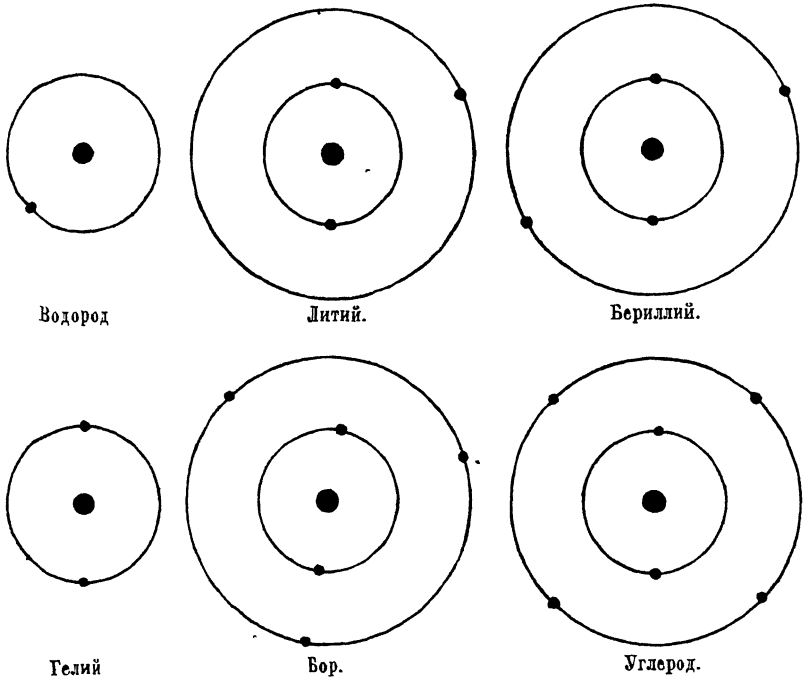

Рис. 32.

ственно, три, четыре, пять и шесть элементарных количеств положительного электричества, и такое же число электронов вращаются вокруг этих ядер. Во всех четырех атомах два электрона вращаются как в атоме гелия, по кругу, близкому к ядру, на внешнем круге вращаются в атоме лития один, бериллия — два, бора — три и углерода — четыре электрона. Впрочем возможно, что в последних трех атомах два, три и четыре электрона вращаются не на одном круге, но на двух, трех и четырех различных кругах или эллипсах. О распределении электронов в атомах остальных элементов по различным орбитам ничего достоверного сказать нельзя. Исключение

составляет атом натрия, вокруг ядра которого вращаются 11 электронов, как видно из таблички на стран 194. Весьма вероятно, что они распределены на трех орбитах, при том нет никакого сомнения, что на наружной орбите движется только один электрон. На внутренней орбите, ближайшей к ядру, движутся два или три электрона, а на средней орбите, соответственно, восемь или семь электронов

Мы ничего не сказали о радиусах тех орбит, по которым движутся электроны. Этот вопрос получил глубокое развитие в бессмертных работах Бора 1913 года. Мы не имеем возможности останавливаться на тех основах, на которых построена теория Бора, и должны ограничиться изложением одного из ее результатов, который мы рассмотрим в применении к атому водорода, вокруг ядра которого вращается один электрон. Теория Бора показала, что этот электрон может двигаться только по какой-нибудь одной из ряда совершенно определенных орбит, которые мы и назовем возможными орбитами. Радиусы этих орбит относятся между собой как квадраты целых чисел, то-есть как один к четырем, к девяти, к шестнадцати и т. д Радиус первой орбиты, то-есть ближайшей к ядру, имеет длину, равную приблизительно одной двадцатимиллионной доле миллиметра (точнее 0,56 десятимиллионной доле), радиус второй возможной орбиты в четыре раза больше, радиус третьей — в девять раз и т. д. Радиус десятой возможной орбиты уже в сто раз больше и равен приблизительно одной двеститысячной доле миллиметра. Все другие орбиты, радиусы которых имеют промежуточные значения, невозможны, по ним электрон вращаться не может.

Теория дает не только радиусы возможных орбит, но и число оборотов электрона в секунду вокруг ядра. Оказывается, что электрон, движущийся на орбите, ближайшей к ядру атома водорода, совершает в одну секунду $6{,}2 \cdot 10^{15}$, то-есть 6200 биллионов (миллион миллионов) оборотов. Если он движется на второй орбите, радиус которой в четыре раза больше радиуса первой, то число оборотов в секунду будет в $2 \times 2 \times 2 = 8$ раз меньше, чем на первой, на третьей орбите число оборотов в $3 \times 3 \times 3 = 27$ раз, а на десятой в $10 \times 10 \times 10 = 1000$ раз меньше, чем на первой.

И для некоторых других атомов могут быть определены размеры орбит и числа оборотов. Вокруг ядра атома гелия вращаются два электрона (рис. 32); радиус их орбиты составляет 0,57 от радиуса первой орбиты в атоме водорода (см. выше), а число оборотов в секунду в три раза больше числа оборотов электрона на этой орбите, то-есть оно равно $18{,}6 \cdot 10^{15}$. Не приводим дальнейших чисел для размеров орбит и для чисел оборотов в секунду, относящихся к атомам лития и бериллия. Заметим только, что когда на орбите движется только один электрон, как, например, в атоме водорода, лития и натрия (см. выше), то орбита может быть не только круговая, но и эллиптическая И в этом случае существует ряд различных

эллипсов, которые оказываются возможными орбитами, все другие эллипсы не могут служить орбитами для электронов. Этот вопрос впервые всесторонне разобрал в 1916 году немецкий ученый Зоммерфельд (Sommerfeld, род. 1877).

Мы до сих пор говорили только об атомах.

Строение молекулы водорода, состоящей из соединенных между собой двух атомов водорода (стр 448), также можно ныне считать вполне выясненным. Такая молекула должна, очевидно, состоять из двух ядер, содержащих каждое одно элементарное количество положительного электричества, и из двух электронов. Два ядра A и B (рис. 33) находятся друг от друга на расстоянии, равном одной шестнадцати-миллионной доле миллиметра Два электрона движутся по круговой орбите, в плоскости, перпендикулярной к прямой AB; центр круга находится как раз посредине между A и B, диаметр круга немного больше одной десяти-миллионной доли миллиметра. Электроны постоянно находятся на концах диаметра круговой орбиты. Они совершают в одну секунду немного больше (на 10%) оборотов, чем один электрон вокруг одного ядра в отдельном атоме водорода.

§ 4. Ионизация газов. Испускание лучистой энергии. Во втором параграфе мы познакомились с явлением ионизации газов, которое заключается в том, что атомы данного газа расщепляются на две части, из которых одна оказывается электроном, а другая — положительно наэлектризованным остатком атома. Описанное в предыдущем параграфе строение атома дает простое и вполне наглядное об'яснение ионизации. Мы видели, что в нейтральном атоме положительный заряд ядра равен сумме отрицательных зарядов всех электронов, движущихся вокруг этого ядра, так что электрические силы, исходящие от ядра и от электронов, как раз взаимно уравновешиваются и весь атом электрически вовсе не действует в точках, лежащих не слишком к нему близко. Под влиянием достаточно интенсивных электрических сил может случиться, что один или даже несколько электронов будут оторваны от атома. Ясно, что то, что в этом случае остается от атома, представится нам наэлектризованным положительно, так как положительное ядро будет иметь перевес над отрицательными электронами. Когда причины, вызвавшие ионизацию, перестают действовать, то ионизация довольно быстро исчезает, так как электроны при встречах с положительными ионами вновь с ними соединяются, образуя нейтральные атомы. Теория Бора дает возможность в некоторых случаях определить детали строения ионизированного атома.

Приведем два примера.

Если от атома гелия оторвать один из двух электронов, то остается ядро, вокруг которого вращается один электрон, то-есть нечто, отличающееся от атома водорода тем, что заряд его ядра

в два раза больше, чем у водорода. Возможная орбита этого электрона, наиболее близкая к ядру, имеет радиус, равный половине радиуса первой орбиты электрона в атоме водорода, а число оборотов в секунду в четыре раза больше, чем для электрона в атоме водорода. Подобное же строение имеет атом лития, если от него отнять два электрона, но в этом случае, сравнительно с атомом водорода, радиус первой орбиты в три раза меньше, а число оборотов в девять раз больше.

Все, что было изложено в предыдущем параграфе, может произвести впечатление какой-то фантастической гипотезы, не построенной на сколько-нибудь прочном фундаменте. Однако, в действительности, мало найдется гипотез, которые были бы столь прочно, столь глубоко убедительно обоснованы, как гипотеза Резерфорда, в той форме, которую ей придал Бор. Нет сомнения, что «модель атома», как она рисуется на основании теории Бора, в существенных чертах сливается с реальной действительностью, хотя некоторые детали несомненно будут подлежать дальнейшей разработке. Так, например, еще не затронут вопрос о строении ядра атома. Но уже теперь описанное нами строение атома дает возможность безо всяких натяжек не только об'яснить целый ряд разнообразных явлений, которые до появления теории Бора не подавались сколько-нибудь удовлетворительному научному об'яснению, но также дать ясный отчет о количественной стороне этих явлений и, что самое главное, предсказать новые явления, которые и были обнаружены при экспериментальной проверке. Нам нет надобности останавливаться на всех сюда относящихся вопросах, так как мы не пишем учебника, но желаем познакомить читателя с теми результатами, которые добыты физикой и которые привели к удивительному развитию наших познаний вширь и вглубь.

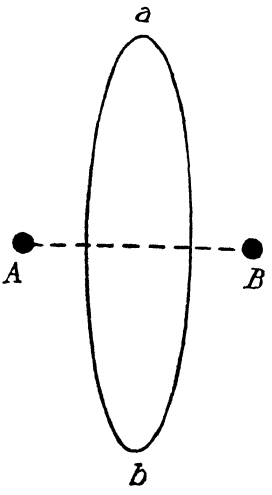

Рис. 33.

Однако, на самом главном, самом поразительном из этих результатов мы, все-таки, должны остановиться. Он относится к испусканию лучистой энергии светящимися газами.

Если, например, при помощи призмы (стр. 119) разложить свет, испускаемый светящимися газами, то получается спектр, который не тянется непрерывной полосой, но который состоит из ряда отдельных светлых линий на общем темном фоне. Эти линии, понятно, расположены поперек спектра, при чем каждая линия имеет тот цвет, который соответствует месту, занимаемому ею в спектре. Это показывает, что светящиеся газы не испускают лучей всевозможных длин волн, но лишь некоторые, характерные для данного газа, лучи,

имеющие вполне определенные длины волн Так, например, светящийся водород дает спектр, который в видимой части состоит из пяти ярких линий: одной красной, одной зеленой, одной синей и двух фиолетовых; кроме того, имеется огромное число линий в ультрафиолетовой (стр 129) части спектра. Пары меди дают спектр, состоящий из большого числа линий, между которыми выдаются две желтые, две оранжевые и три зеленые. Многие элементы дают спектры, состоящие из огромного числа линий, так, например, спектр паров железа содержит около 5000 линий Давно было замечено, что в распределении этих линий господствуют определенные закономерности, которые, в виду их большой сложности, не легко было подметить. Кроме того, было обнаружено, что многие из спектральных линий имеют сложное строение. Хотя эти линии и представляются в виде одиночных тонких линий, они в действительности состоят из нескольких отдельных линий, чрезвычайно близких друг другу, так что обычными способами, например, призмой, их отделить друг от друга невозможно. Обыкновенно одна из этих линий, главная, весьма ярка, а остальные, сравнительно, гораздо более слабы, в этом случае говорят, что спектральная линия имеет спутники или сателлиты. Число спутников иногда доходит до десяти, но существует и не мало таких спектральных линий, которые не имеют спутников

До появления учения Бора о строении атомов вся эта область спектральных явлений представляла во всех отношениях полнейшую загадку. Неизвестно было, каким образом происходит испускание лучистой энергии атомами газа; не удавалось, несмотря на попытки многих ученых, об'яснить те сложные закономерности в распределении спектральных линий, о которых выше было сказано; наконец, совершенно непонятным было возникновение спутников, то-есть одновременное испускание ряда различных лучей, для которых числа колебаний весьма мало друг от друга отличаются. Учение Бора сразу решило почти все сюда относящиеся вопросы. Оно показало, при каких условиях происходит испускание лучистой энергии и откуда эта энергия берется; оно об'яснило закономерности в распределении спектральных линий и притом до малейших подробностей; оно указало причину возникновения спутников; наконец, оно могло предсказать новые факты, которые, при опытной проверке, оказались вполне соответствующими действительности Мы должны ограничиться кратким намеком по первому из перечисленных вопросов: при каких условиях происходит испускание лучистой энергии и откуда эта энергия берется.

Для простоты обращаемся к атому водорода, вокруг ядра которого вращается один электрон по одной из возможных орбит, радиусы которых, как мы видели, относятся между собой, как числа 1, 4, 9, 16, 25, и т. д. Орбиту, ближайшую к ядру, назовем первой, следующую второй и т. д. Положительное ядро и отрицательный

электрон взаимно притягиваются и потому они, вместе взятые, обладают некоторым запасом потенциальной энергии (стран 63), которая уменьшается, когда электрон приближается к ядру, то-есть когда он перескакивает от одной из возможных орбит к другой, более близкой к ядру. Зато кинетическая энергия движения электрона увеличивается при таком перескакивании, так как скорость движения электрона тем больше, чем ближе он находится к ядру. Однако, точный подсчет показывает, что убыль потенциальной энергии имеет перевес над увеличением энергии кинетической, так что весь запас энергии, содержащийся в атоме, уменьшается, когда электрон перескакивает с какой-либо из возможных орбит на другую, более близкую к ядру Вот эта-то потерянная энергия и переходит в энергию лучистую. Бор показал, каким образом вычислить длину волны лучей, возникающих при перескакивании электрона с одной орбиты на другую. Мы указали, что в видимой части спектра водорода находятся пять ярких линий. Все соответствующие им длины волн получаются с небывалою для физической теории точностью, если их вычислить в предположении, что эти лучи возникают, когда электрон перескакивает на вторую орбиту с третьей, четвертой, пятой, шестой и седьмой. Но, далее, оказались в ультрафиолетовой части спектра еще двадцать четыре линий, которые возникают при перескакивании электрона на ту же вторую орбиту от восьмой, девятой и т. д. до 31-ой возможной орбиты. В самой крайней ультрафиолетовой части спектра найдены (1916) три линии водорода, которые вызваны перескакиванием электрона с второй, третьей и четвертой возможных орбит на первую. Наконец, найдены две линии в инфракрасной части спектра, которые получаются, когда электрон перескакивает от четвертой и от пятой возможных орбит на третью. Подобное же согласие теории с наблюдениями обнаружилось и для спектров других веществ, прежде всего, гелия и лития.

В элементах с большим порядковым числом, а, следовательно, с большим числом электронов, мы имеем ряд внутренних колец электронов (стран. 200). Под влиянием весьма интенсивных воздействий может быть вырван электрон из такого кольца. Это происходит, например, при ударе весьма быстро движущихся электронов об атомы вещества, покрывающего антикатод (стр. 150) рентгеновой трубки. Тогда происходит перескакивание электронов между этими внутренними кольцами в атоме и вот при этом возникают рентгеновы лучи. Молодой талантливый английский ученый Мозелей (H G. S. Moseley, 1892—1915), убитый шальной пулей на полуострове Галлиполи, показал, каким образом теория Бора прилагается к лучам Рентгена. Происхождение спутников спектральных линий вполне об'яснил Зоммерфельд (1916 г.), рассматривая те эллиптические орбиты, о которых уже было сказано на стран. 201. Мы не можем вдаваться в дальнейшие подробности и они для

наших целей не нужны. Достаточно повторить, что теория Бора дала точное, до мельчайших деталей, об'яснение возникновения лучистой энергии и всех закономерностей, которые существуют в спектрах светящихся газов.

На стр. 198 уже было сказано, что возникновение лучистой энергии только одно из тех явлений, которые об'ясняются теорией Бора. Существует еще целый ряд других явлений, возникновение которых делается понятным на основании этой теории, которая в то же время предсказывает те законы, которым эти явления повинуются. Сюда относятся, как мы увидим, явления радиоактивные.

§ 5. Превращение элементов Состав материи. Проницаемость атома. Рассмотрим ряд следствий, вытекающих из всего вышеизложенного. Атом построен из ядра, которое состоит из положительного электричества и вокруг которого вращаются электроны; число последних может доходить до 92. Атомы различных элементов только и отличаются друг от друга, во-первых числом этих электронов, равным порядковому числу элемента, и во-вторых — соответствующим зарядом ядра. Некоторая разница возможна также по отношению к распределению электронов по отдельным кольцам Мы видим, прежде всего, что описанное строение атома находится в полном противоречии с прежним взглядом на атомы различных элементов, который был характеризован в начале § 3. Предполагалось, что эти атомы различны по самому их существу, по материалу, из которого они состоят, что между атомами различных элементов нет ничего общего и потому, очевидно, не могло быть и речи о превращении атома одного элемента в атом какого-либо другого. Новое учение рисует нам совершенно другую картину: атомы всех элементов построены по одинаковой схеме и из одних и тех же первичных частей, а именно. из электронов и из положительного электричества, входящего в состав ядра атома. Разница между элементами не относится к их существу; она почти только количественная. Семь электронов и ядро из семи элементарных количеств положительного электричества образуют атом азота, а восемь электронов и восемь элементарных количеств входят в состав атома кислорода; если же число тех и других равно шести, то перед нами атом углерода, если это число равно 29-ти, то мы имеем атом меди, а если оно равно 30-ти, то возникает атом цинка. Кроме этой чисто-количественной разницы, мы можем иметь только неодинаковость радиусов орбит, по которым электроны движутся, а также распределения электронов по различным орбитам. Превращение одного элемента в другой перестает казаться невозможным. Если бы нашлось средство вырвать из атома один или несколько электронов и одинаковое число элементарных количеств электричества из ядра, то один элемент превратился бы в другой; перегруппировка электронов, если бы она была необходима, несомненно

произошла бы при этом сама собой Если бы можно было из атома ртути (80 электронов) вырвать один электрон и одно элементарное количество из ядра, то он превратился бы в атом золота (79 электронов), а если бы из атомов свинца (82 электрона) удалось вырвать три электрона и три элементарных количества электричества из его ядра, то и свинец превратился бы в золото

Превращение одного элемента в другой могло бы произойти также и путем присоединения к атому новых электронов и новых элементарных количеств положительного электричества (к ядру) при соответствующей перегруппировке электронов. Ниже мы познакомимся со случаями фактического превращения одного элемента в другой. Впрочем, следует иметь в виду, что в ядрах различных элементов может содержаться неодинаковое число добавочных электронов и соответствующее им количество положительного электричества. Этим усложняется вопрос о превращении одного электрона в другой.

Другая мысль, на которую наводит учение Резерфорда и Бора о строении атома, заключается в следующем.

Это учение совершенно отрицает существование каких-либо материй, как самодовлеющих основ всего, что нас окружает. Таких основ только две: отрицательные электроны и положительное электричество. Из них составлены атомы того, что мы называем материей. Все, что нас окружает, все тела, весь доступный нашему наблюдению мир — все состоит из электричества — вот к какому мы приходим поразительному выводу! Трудно свыкнуться с этой мыслью, но еще труднее, вернее говоря, невозможно было бы ныне отказаться от учения Бора. Да и следует ли желать возвращения к старому представлению о материи? Замена сложного более простым несомненно вполне соответствует нашим желаниям, соответствует тому, что мы ждем от науки, от углубления наших познаний. Девяносто два существенно различных веществ (если добавить радиоактивные элементы, то число их оказывается около 124) — это что-то очень сложное; замена их только двумя веществами — это огромный шаг вперед на пути к упрощенному миропониманию, это грандиозная победа науки, победа знания, победа человеческого гения. Следует, впрочем, иметь в виду, что вышеизложенное, все-таки, не исчерпывает того, что нам необходимо для полного миропонимания, так как кроме двух электричеств, из которых построены атомы, должно существовать еще нечто, для нас пока совершенно темное и неизвестное, а именно: та электромагнитная лучистая энергия, о которой было сказано на стран. 155 и которая каким-то непонятным образом возникает, когда электрон перескакивает от одной из возможных орбит на другую, более близкую к ядру атома, при чем атом теряет часть своего запаса энергии. Возможно, что здесь играет главную роль вопрос о внутрен-

ней структуре пространства и что таина лучистой энергии будет разгадана, когда наука приблизится к решению этого вопроса

Еще в двух направлениях отличается новый взгляд на атом от старого. Говоря о размерах атома, которые могли быть определены различными путями, старая теория считала, что весь об'ем атома сплошь заполнен соответствующим веществом и представляет нечто, во всяком случае безусловно непроницаемое. Совершенно иначе представляется атом в теории Резерфорда и Бора. Ядро и вращающиеся вокруг него электроны заполняют столь же ничтожную часть об'ема атома, как солнце и планеты заполняют ничтожную часть того колоссального шара, который обхватывает всю нашу солнечную систему. Нечто аналогичное относится к проницаемости атома. Представим себе, что к солнечной системе стало бы приближаться откуда-то появившееся тело, размеры которого равнялись бы примерно среднему размеру наших планет. Чтобы аналогия и в дальнейшем была полная, допустим, что это тело отталкивается планетами, но притягивается солнцем. Представим себе сперва, что это тело движется медленно. В таком случае солнечная система окажется для него непроницаемой. Действительно, если его путь далек от солнца, то оно будет оттолкнуто ближайшими к его пути планетами, а если он близок к солнцу, то солнце заставит его изменить направление своего движения, обогнуть солнце, как огибают его кометы, и идти обратно в ту сторону, с которой оно пришло. Может даже случиться, что солнце его притянет и поглотит; тело не сможет пройти через солнечную систему. Станем мысленно увеличивать скорость нашего тела. При некоторой скорости оно уже будет иметь кое-какие шансы пройти между крайними планетами, которые находятся очень далеко друг от друга, так что некоторая часть солнечной системы окажется для него проницаемой. Эта часть увеличивается с увеличением его скорости, когда окажется некоторая вероятность пройти не только между крайними, но и между средними планетами. При огромной скорости тело уже будет иметь значительные шансы пройти через солнечную систему даже недалеко от солнца; ни планеты, ни само солнце не успеют его ни толкнуть обратно, ни притянуть к себе. Наконец, при еще большей скорости почти вся солнечная система окажется для него более или менее проницаемой и только ядро солнечной системы, то-есть само солнце, останется непроницаемым

Заменим солнце ядром атома, планеты — электронами, а чужое тело — электроном, приближающимся извне. Кроме того, представим себе, что мы имеем не один атом и один посторонний электрон, но огромное число атомов, образующих, например, слой какого-либо вещества, и также огромное число электронов, поток которых направлен к этому веществу. Если поток электронов движется медленно, то наш слой окажется для него весьма мало проницаемым; лишь очень немногим электронам удастся проникнуть в этот слой и то на

весьма малую глубину. Но чем больше скорость потока, тем больше шансов существует пройти через ряд атомов и тем больше будет число электронов, которым удастся дойти до некоторой глубины через слой вещества. Эта глубина должна возрастать со скоростью электронов, а, следовательно, будет возрастать толщина слоя, более или менее проницаемая для потока электронов. При громадной скорости потока шансы пройти увеличиваются на столько, что большинству электронов удается пройти даже толстый слой взятого вещества. Мы видим отсюда, что проницаемость материи для потока электронов должна возрастать по мере увеличения скорости этого потока.

Все изложенное подтверждается на опыте. Электроны, движущиеся сравнительно медленно, обладают ничтожною способностью проходить через материю. Следует, впрочем, иметь в виду, что для электрона скорость в одну сотую долю скорости света, то-есть в 3000 км. в секунду, представляется весьма малой; с проницаемостью материи для электронов, движущихся с этой скоростью, мы сравним проницаемость для движущихся быстрее. Когда скорость электронов увеличится в 10 раз, то-есть достигнет одной десятой скорости света, то проницаемость материи возрастет в 30 раз; когда скорость равна одной трети скорости света, то проницаемость материи оказывается увеличенной в 5000 раз; наконец, для электронов, скорость движения которых равна 0,95 скорости света, проницаемость материи увеличивается в два с половиной миллиона раз. Для столь быстродвижущихся электронов лишь весьма малая часть атома, около ядра, непроницаема, и каждый из них имеет шансы пройти на своем пути через многие сотни тысяч (почти миллион) атомов, прежде чем близкая встреча с ядром отбросит его назад или, по крайней мере, в сторону.

Все изложенное в этом параграфе показывает, какому глубочайшему изменению подверглись наши представления о строении материи. Еще раз подчеркиваем, что мы здесь далеко не исчерпали всего того, что говорит в пользу учения Резерфорда и Бора, что мы не указали на целый ряд разнообразных явлений, понимание и об'яснение которых стало возможным, благодаря этой гениальной теории.

§ 6. Радиоактивность. Вскоре после того, как Рентген (1895) открыл свои лучи, французский физик Анри Беккерель (Henri Becquerel, 1852—1908), занимаясь вопросами фосфоресценции (стр. 125), заметил, что различные химические соединения металла урана испускают какие-то особого рода лучи, действующие на фотографическую пластинку и легко проникающие через различные непрозрачные для света вещества.

Изучением этих лучей, которые одно время назывались беккерелевскими или урановыми лучами, он подготовил одно из самых удивительных открытий, когда-либо сделанных, открытие

радиоактивных явлений Всестороннее изучение именно этих явлений привело к тем новым взглядам на строение атома, которые были изложены в этой главе, и мы увидим, с какою неизбежною, можно сказать, принудительной последовательностью, эти новые взгляды должны были вырости на почве тех поразительных фактов, которые открывало перед изумленным человечеством изучение радиоактивных явлений.

Г-жа М Кюри (Marie Curie, урожденная Складовская, полька, родившаяся в 1867 г. в Варшаве, в семье педагога, ныне профессор Парижского университета) начала изучать урановые лучи на смоляной урановой руде из Иоахимсталя (Joachimstal) в Богемии. Она заметила, что в этой руде находятся какие-то вещества, которые с несравненно большей интенсивностью испускают открытые Беккерелем лучи, чем сама урановая руда. Результаты оказались настолько интересными, что к ней присоединился ее муж, П. Кюри (Pierre Curie, 1859—1908, погиб, попав на улице под колеса повозки), выдающийся профессор физики. Оба супруга стали продолжать добывание таинственных веществ из урановой руды и в 1898 году они получили в почти чистом виде химические соединения двух веществ, которые они назвали радием и полонием. Эти и им по своим свойствам подобные вещества были названы радиоактивными, а совокупность этих свойств — радиоактивностью; в 1916 году было известно 36 различных радиоактивных элементов.

Радиоактивные элементы встречаются на земной поверхности, за исключением урана и тория, в ничтожно малых количествах Их присутствие не могло бы быть открыто обычными, чисто-химическими средствами; но испускаемые ими лучи дают такой метод открыть их присутствие и исследовать их свойства, который несравненно чувствительнее всех других существующих методов, преследующих те же цели, как, например, методы химический и спектроскопический. Эти лучи действуют на фотографическую пластинку и вызывают флюоресценцию (стр. 124), но самое важное их действие заключается в том, что они ионизируют те газы, через которые они проходят, каким образом ионизация газа может быть замечена, было рассмотрено на стран. 194.

Исследование радиоактивных веществ показало, что они испускают трех родов лучи, которые существенно друг от друга отличаются Они получили названия, одинаковые с тремя первыми буквами греческого алфавита: лучи альфа (α), лучи бета (β) и лучи гамма (γ). Заметим, что весьма распространены не соответствующие духу русского языка названия альфа-лучи, бета-лучи и гамма-лучи, при чем пишут α-лучи, β-лучи, γ-лучи. Мы предпочитаем пользоваться вышеприведенными названиями, которые можно сокращенно писать: лучи α, лучи β и лучи γ. Рассмотрим ближе эти лучи, но, начиная с более простого, в обратном порядке.

I) Лучи гамма оказались, по существу, тождественными с лучами Рентгена, к ряду которых они примыкают со стороны наиболее быстрых колебаний. Те крайние лучи, о которых было сказано на стран. 152 и длина волны которых равна $^1/_{14}$ ангстрема, а число колебаний в секунду равно чудовищному числу 4.10^{19}, и суть лучи гамма одного из радиоактивных веществ (RaC, см. ниже). Это наиболее жесткие (стр 152) рентгеновы лучи, и их способность проникать через разного рода вещества наибольшая. Проходя через газы, они вызывают их ионизацию.

II) Лучи бета также не представляют чего-нибудь нового; они по существу тождественны с катодными лучами (стр 150), то-есть они не что иное, как потоки электронов, выбрасываемых радиоактивными веществами. Но скорость движения этих электронов может значительно превышать ту скорость, которая достигается в рентгеновых трубках. Эта последняя, то-есть скорость электронов в катодных лучах, может быть доведена до одной трети скорости света, а в исключительных случаях удавалось даже доходить до половины скорости света. Наиболее медленные из электронов, образующих лучи бета, имеют скорость около одной трети скорости света, между тем как наиболее быстрые движутся со скоростями, доходящими до 0,996 скорости света. Частицы, поток которых составляет лучи бета, часто называются «частицами бета» (или, что нежелательно, β-частицами), но следует помнить, что частицы бета то же самое, что электроны. Однако, первое название удобно, как указывающее на их источник и на то, что речь идет о наиболее быстрых электронах. Соответственно этой громадной скорости, лучи бета обладают большою проницающей способностью; проникая глубоко в материю, они, однако, претерпевают в ней сильное рассеяние во все стороны. Проходя через газы, лучи бета вызывают их ионизацию.

Мы знаем, что рентгеновы лучи вызываются катодными лучами, соответственно, лучи гамма возбуждаются, главным образом, лучами бета при их прохождении через слой самого радиоактивного вещества. Впрочем, лучи альфа, о которых будет сказано ниже, повидимому, также вызывают, хотя и весьма слабое, излучение гамма, так как некоторые радиоактивные вещества вовсе не испускают лучей бета, но только лучи альфа и слабое излучение гамма.

III) Лучи альфа. Из сказанного явствует, что лучи бета и лучи гамма ничего существенно нового для нас не представляют. Совершенно иначе обстоит дело с лучами альфа, открытие которых обогатило науку совершенно новым явлением, ничего аналогичного которому не было известно. На одно только можно указать, а именно, что лучи альфа, подобно лучам бета, оказываются потоками быстро летящих частиц, которые мы назовем частицами альфа. Но эти частицы весьма мало похожи на частицы бета, то-есть на

электроны. Частицы альфа имеют атомные размеры, и их масса в четыре раза больше массы атома водорода, а, следовательно, примерно в 7200 раз больше массы электрона (стр. 55). Далее, они заряжены положительно, и заряд каждой частицы альфа равен двум элементарным зарядам положительного электричества. Это может обозначать, что какая-то нейтральная частица получила эти два элементарных количества, или что она потеряла эквивалентное количество отрицательного количества, то-есть два электрона. Скорость частиц альфа, когда они вылетают из радиоактивного вещества, равна примерно одной двадцатой доле скорости света. Кинетическая энергия движущегося тела пропорциональна его массе и квадрату его скорости (стр. 62). Сравним кинетические энергии частицы альфа и частицы бета, полагая, что скорость последней равна 0,8 скорости света, то-есть в 16 раз больше скорости частицы альфа С одной стороны энергия частицы альфа в $16 \times 16 = 256$ раз меньше энергии частицы бета; но с другой — она в 7200 раз больше. В результате оказывается, что энергия движения частицы альфа примерно в 28 раз больше энергии движения частицы бета. Этим об'ясняется, что частицы альфа в высокой степени обладают способностью ионизировать газ столкновением (стр. 196). Одна единственная частица альфа может раздробить, то-есть ионизировать большое число атомов газа, прежде чем ее скорость настолько уменьшится, что она потеряет способность вызывать дальнейшую ионизацию. Ионизирующим действием лучей бета и гамма можно почти всегда пренебречь сравнительно с действием лучей альфа, когда через газ проходят лучи всех трех родов. Проницающая способность лучей альфа весьма мала. Листок аллюминия или слюды толщиной в несколько сотых миллиметра, а также слой воздуха в несколько сантиметров вполне поглощают лучи альфа.

Что же представляет из себя частица альфа, характеристика которой приведена в предыдущих строках? Мы видели, что его масса в четыре раза больше массы атома водорода, то-есть как раз равна массе одного атома гелия. Уже в 1903 году Резерфорд высказал мысль, что гелий может образоваться из частиц альфа, а в 1909 году ему удалось непосредственно наблюдать это превращение. В трубке, в которой накоплялись частицы альфа, постепенно образовывался гелий, присутствие которого легко обнаруживалось при пропускании через трубку электрического тока, при чем получался хорошо изученный спектр гелия и, прежде всего, характерная для него желтая линия. Не могло оставаться ни малейшего сомнения, что частица альфа есть атом гелия, на котором находятся два элементарных количества положительного электричества или от которого отняты два электрона. Потеряв положительный заряд или присоединив к себе два электрона, что

легко могло случиться при условиях опыта, частица альфа превращалась в атом гелия.

Мы познакомились с тремя родами лучей, испускаемых радиоактивными веществами. Рассмотрим еще некоторые особенности радиоактивных явлений. Сюда относится полнейшая независимость этих явлений от каких-либо внешних условий, и, прежде всего, от давления и от температуры, которая, так или иначе, влияет на течение всех, кажется без исключения, других физических явлений. Даже вступление радиоактивного элемента в любое химическое соединение не вызывает ни малейшего изменения в тех явлениях, которые зависят от его радиоактивности. Радий есть металл, который в чистом виде только один раз был получен М. Кюри (1910). В продажу поступают и на практике употребляются только химические соединения радия, главным образом, хлористый радий и бромистый радий. Для краткости часто говорят о радие, например, о покупке столько-то «миллиграмов радия», когда в действительности речь идет, например, о бромистом радие.

Дальнейшая особенность радиоактивных веществ заключается в том, что в них происходит непрерывное выделение теплоты. Весьма точные измерения количества этой теплоты были сделаны различными учеными в 1912 году. Оказалось, что то количество радиоактивного соединения радия, которое содержит один грамм элемента радия, выделяет 132 малых калорий в один час, если соблюдены некоторые условия, на которых мы не останавливаемся. Резерфорд нашел, что 92% теплоты возникают благодаря лучам альфа.

§ 7. Радиоактивные превращения и учение о распаде атомов. Каждое испускание лучей альфа или лучей бета сопровождается превращением испускающего вещества в другое, иногда весьма существенно от него отличающееся. Так, металл радий, испуская лучи альфа, превращается в газообразное вещество, которое получило название эманации радия или нитона; этот газ делается жидким при -62^0 С и затвердевает при -71^0 С. Эманация радия также испускает лучи альфа, превращаясь в радий А; радий А при тех же условиях переходит в радий В, который испускает лучи бета и переходит в радий С; затем, получаются радий D (испускает лучи бета), радий Е (лучи бета), радий F (лучи альфа), который был открыт М. Кюри одновременно с радием и ею был назван полонием; наконец, радий F переходит в вещество не радиоактивное, устойчивое, радий G, повидимому, тождественное со свинцом, от которого оно по своим химическим свойствам не отличается, хотя его атомный вес и отличается несколько от атомного веса обыкновенного свинца. Таким образом, получаются ряды радиоактивных веществ, из которых каждое следующее образуется из предыдущего, которое при этом испускает либо лучи альфа, либо лучи бета. Вероятно, существуют только два

таких ряда (или семейств) радиоактивных веществ, родоначальниками которых служат металлы уран (92) и торий (90), обладающие наибольшими порядковыми числами, поставленными здесь в скобках. Под номером 91 известно пока только одно из радиоактивных веществ ряда урана. Существует еще третий ряд, родоначальник которого, названный актинием, не может быть получен в непосредственно заметных количествах, между тем, как уран и торий легко можно добыть в каких угодно количествах; возможно даже, что сам актиний принадлежит к ряду урана, и что весь ряд актиния есть боковое ответвление ряда урана. Такие боковые ответвления встречаются в рядах урана и тория; они образуются, когда часть радиоактивного вещества испускает лучи альфа, а другая часть — лучи бета, так что из одного вещества одновременно образуются два вещества, из которых каждое может оказаться первым звеном нового ряда радиоактивных веществ.

Превращение радиоактивного вещества в следующее может происходить чрезвычайно медленно, но также и весьма быстро, в зависимости только от рода рассматриваемого вещества; но для данного вещества скорость превращения никакими средствами не может быть изменена. Эту скорость принято определять тем промежутком времени, в течение которого половина имеющегося в данный момент вещества разрушается, то-есть превращается в следующее вещество, испустив лучи альфа или лучи бета. Этот промежуток времени называется периодом данного радиоактивного вещества. Для выяснения того, как это нужно понимать, приведем численный пример. Положим, что мы имеем в данный момент некоторое количество радиоактивного вещества, период которого равен одному году. В таком случае через год останется половина этого вещества; в течение второго года разрушается половина оставшегося вещества, так что остается четверть первоначального количества; к концу третьего года остается восьмая часть, к концу четвертого одна шестнадцатая и т. д. Период некоторых радиоактивных веществ измеряется многими миллиардами лет, период других — малыми долями секунды.

Мы не станем перечислять всех до сих пор открытых радиоактивных веществ и вовсе не будем касаться ряда актиния, все члены которого отличаются недолговечностью (наибольший период равен 19,5 дням). Укажем лишь важнейшие члены рядов урана и тория, поместив рядом с названием каждого вещества, иногда в скобках, продолжительность периода и род испускаемых лучей.

Ряд урана. Уран или его соединения могут быть получены в произвольно больших количествах; уран разрушается весьма медленно, его период равен пяти миллиардам лет. Он испускает лучи альфа, превращаясь в уран У (1,5 дня, лучи бета); два следующих члена имеют периоды 24,6 дня и 1,15 минуты. Затем, идут два долговечных вещества: уран второй (миллион лет, лучи альфа) и ионий

(двести тысяч лет, лучи альфа), за которыми и следует радий, период которого равен 1730 годам. За ним следуют уже упомянутые нами: газообразная эманация радия (нитон, 3,85 дня, лучи альфа), радий А (3 минуты, лучи альфа), радий В (26,7 минуты, лучи бета), радий С, радий D (16,5 лет, лучи бета), радий Е (5 дней, лучи бета) и радий F (136 дней, лучи альфа), переходящий в не радиоактивный радий G (см. выше).

Ряд тория. Торий (18 миллиардов лет, лучи альфа) переходит в мезоторий (5,5 года, без излучения); после нескольких дальнейших превращений получается газообразная эманация тория (54 секунды, лучи альфа). В конце всего ряда находится вещество, которое, подобно радию G, по своим химическим свойствам не отличается от свинца. Но его атомный вес несколько иной, чем у обыкновенного свинца и чем у радия G.

Все предыдущее обнаруживает перед нами несомненное осуществление мечты алхимиков превратить один элемент в другой, ибо нет никакого сомнения, что все перечисленные здесь вещества суть существенно различные элементы. Но почти все эти превращения не производят на нас большого впечатления, так как дело касается ничтожно малых количеств, присутствие которых только и может быть обнаружено ионизационным действием испускаемых ими лучей. Однако, здесь имеется и несколько исключений. Металл уран, который можно получить в каких угодно количествах, несомненно превращается в металл радий, который был получен М. Кюри в заметных количествах и который по своим свойствам и по атомному весу (226,2) совершенно непохож на уран (атомный вес 238,2), а металл радий превращается в газообразную эманацию, которая также может быть получена в виде небольшого, но видимого пузырька, плотность которого определили Рамзай и Грей, о чем уже было рассказано в главе II (стр. 24). Но самое замечательное осуществление мечты алхимиков нельзя не видеть в образовании гелия, одного из продуктов разрушения целого ряда элементов, испускающих лучи альфа. Сюда относятся металлы уран, торий и радий и газообразная эманация, то-есть четыре различных элемента, которые могли быть получены в чистом виде и наблюдаемы непосредственно, а не только по их ионизирующему действию. Наконец, мы имеем еще превращение тех же элементов в вещество, по своим химическим свойствам не отличающееся от свинца.

Так, казавшееся долгое время невозможным стало реальной действительностью.

Мы видели, что радиоактивность есть свойство определенной группы 36-ти элементов, которые, вероятно, все являются «потомками» двух из них, металлов урана и тория. Возникает, однако, вопрос о том, не есть ли радиоактивность свойство еще и других, а

может быть и всех элементов, но проявляющееся в очень слабой степени. По этому вопросу известно следующее: металлы калий и рубидий обладают слабым излучением, которое похоже на излучение бета и замечается во всех химических соединениях этих элементов. Слабая радиоактивность замечается во всех породах, составляющих земную кору, но это вполне об'ясняется присутствием в них урана, тория и радия, которые оказываются рассеянными, хотя и в очень малых количествах, повсюду на земле. Эманация радия находится в речной и морской воде, а также во многих источниках; некоторые источники, как минеральные, так и пресные, содержат весьма значительные количества эманации. В атмосферном воздухе всегда присутствует некоторое количество эманации, попавшей в него из почвы. Воздух пещер и погребов и в особенности почвенный воздух содержит больше эманации, воздух над морем — меньше, чем воздух над сушей. Радиоактивность воздуха увеличивается при уменьшении барометрического давления, когда почвенный воздух выступает наружу.

Переходим к тому общепринятому ныне об'яснению радиоактивных явлений, которое содержится в учении о распаде атомов. Основные мысли, на которых построено это учение, были высказаны Резерфордом и Содди (Soddy) в 1903 году, то-есть задолго до появления учения о строении атома, которое изложено в § 3 этой главы и которое создали Резерфорд в 1911 г. и Бор в 1913 году.

Основная мысль Резерфорда и Содди заключается в том, что в атомах радиоактивного вещества происходит нечто подобное взрыву, при чем из атома выбрасывается частица альфа или частица бета, а то, что остается, представляет атом нового вещества, непосредственно следующего за первым в цепи радиоактивных веществ. Такой взрыв может многократно повторяться с одним и тем же атомом, пока не возникнет вещество устойчивое, не-радиоактивное. Причины такого взрыва, действующие внутри атома, нам до сих пор неизвестны. Они, повидимому, имеют какой-то случайный характер, проявляясь то в одном, то в другом из атомов; при огромном числе атомов эти случайные взрывы приобретают, в количественном отношении, вполне закономерный характер. Это значит, что в определенное время подвергается взрыву вполне определенная часть всех имеющихся на-лицо атомов. Величина этой части зависит от рода вещества; ею определяется период (стр. 214) радиоактивного вещества. Более ясного описания того, что происходит при распаде атома, Резерфорд и Содди не могли дать в 1903 году. Такое описание сделалось возможным после того, как появилось учение о строении атома.

Напомним, что, согласно этому учению, атом состоит из ядра, вокруг которого вращаются электроны. Число электронов равно порядковому числу элемента и ему же равно число элементарных

количеств положительного электричества, содержащихся, во всяком случае, в ядре, в котором, однако, могут находиться еще некоторое число электронов и такое же число элементарных количеств положительного электричества сверх того, которое равно порядковому числу элемента. Отметим, что радиоактивными оказываются только элементы, порядковые числа которых не менее 81. Итак, атомы радиоактивных элементов содержат от 81 до 92 электронов; ядра этих элементов содержат соответственное количество положительного электричества и, кроме того, несомненно еще добавочное, нейтрализующее те электроны, которые находятся в ядре. Напомним еще, что при радиоактивном превращении элемента испускаются либо частицы бета, которые суть электроны, либо частицы альфа, которые суть атомы гелия, снабженные двумя элементарными количествами положительного электричества или лишенные двух электронов.

Если принять учение Резерфорда и Бора о строении атома, то вопрос о сущности радиоактивных превращений получает весьма яркое освещение. Начнем с частицы альфа. Мы видели (стр. 200, рис. 32), что атом гелия состоит из ядра, содержащего как раз два элементарных количества электричества; вокруг него вращаются два электрона; а его масса в четыре раза больше массы атома водорода. Но масса частицы альфа, как мы видим, тоже равна массе четырех атомов водорода. Отсюда ясно, что частица альфа тождественна с атомом гелия, лишенным своих двух электронов, то-есть с ядром атома гелия. Еще проще скажем, что частица альфа представляет клочек положительного электричества, равного двум элементарным количествам, или частица альфа нечто в роде двойного положительного электрона. В частицах альфа мы имеем случай свободного положительного электричества; они жадно притягивают к себе, более или менее везде существующие свободные электроны, превращаясь в обыкновенные нейтральные атомы гелия.

Обратимся теперь к атому радиоактивного вещества, который со взрывом выделяет частицу альфа или частицу бета, превращаясь в атом следующего за ним радиоактивного элемента. Ясно, что этот взрыв может происходить только в ядре атома. Из ядра вылетает клочек положительного электричества, по величине равный двум отрицательным электронам, когда элемент испускает лучи альфа. Из того же ядра вылетает со скоростью, почти достигающей скорости света, электрон, когда радиоактивный элемент испускает лучи бета.

В последних двух фразах содержится учение о распаде радиоактивных элементов, построенное на современном учении о строении атома и в них же дано отчетливое представление о сущности радиоактивных явлений.

Теперь мы должны еще раз возвратиться к замечательной работе, которую произвели Рамзай и Грей, определившие плотность газообразного вещества, которое они могли добыть лишь в виде крошечного пузырька. Об этой работе уже было сказано на стр. 24. Теперь мы можем сказать, что это был пузырек эманации радия, то-есть нитона, образующегося по изложенной здесь теории из радия, когда атом последнего теряет одну частицу альфа, то-есть ядро атома гелия Так как атомный вес гелия равен 4, то атомный вес нитона должен быть на четыре единицы меньше атомного веса радия. Но атомный вес радия оказался, по определению М. Кюри и других ученых, близким к числу 226, так что атомный вес эманации радия (нитона) должен быть близок к числу 222; в противном случае, вся вышеизложенная теория оказалась бы опровергнутой. Для определения атомного веса газообразного вещества достаточно знать его плотность; вот почему определение плотности (об'ема и веса) эманации радия представляло такой интерес и должно было иметь огромное научное значение. Рамзай и Грей решили эту трудную задачу, они нашли, что атомный вес нитона, действительно, близок к числу 222, то-есть на 4 единицы меньше атомного веса радия, что и могло послужить важною опорой учения о строении атомов вообще и о распаде атомов радиоактивных элементов в частности.

§ 8. Заключение. В последних шести главах мы дали очерки, относящиеся к различным отделам физики. Нет надобности приводить обзор вопросов, затронутых в этих очерках и вновь указывать на все то, что богиня-наука перед нами раскрыла. Мы старались собрать в этих очерках важнейшие и в то же время по своему характеру, по возможности, разнообразные завоевания физики. Они расширили наши познания и, в бесчисленных направлениях, сделали для нас возможным понимание. В главе I были указаны те две главные цели, к которым стремится человечество: познание и удобство. Физика дала человечеству глубокое познание той части мира, которая составляет предмет ее непрерывных исследований и которую принято называть мертвой, неорганизованной природой. Здесь она господствует, предоставив другим наукам все то, что связано с явлениями биологическими, с явлениями жизни. Она имеет право гордиться тем, что ею сделано в той области, которую она себе отмежевала, а благодарное человечество никогда не забудет имен бескорыстных ученых, этих жрецов во храме богини-науки, которые неустанным трудом расширяли и углубляли наши познания, ища истину и постепенно к ней приближаясь. Им сохранится, действительно, вечная память и им будут стараться подражать будущие поколения ученых, которых не перестанет привлекать ярко горящий светоч науки, манящий к себе и освещающий долгий и тернистый путь, который ведет туда, где скрыта истина, и где находится источник познания.

ГЛАВА IX.

ФИЗИКА И СТРЕМЛЕНИЕ ЛЮДЕЙ К УДОБСТВУ.

§ 1. Введение. В главе I мы показали, что две главнейшие цели, к которым стремятся люди и к достижению которых направлены почти все их деяния, могут быть характеризованы словами познание и удобство. Первая из этих целей манит к себе очень многих, ею интересуются все те, кто вдумчиво относится ко всему окружающему и желает получить ответы на бесчисленные возникающие перед ним вопросы. Но лишь немногие сами трудятся над разрешением этих вопросов, стремятся приблизить человечество к познанию истины. К удобству же стремятся все без исключения люди, если придать слову «удобство» то расширенное значение, которое было подробно очерчено в главе I. Если мысленно обхватить все то, что было достигнуто человечеством в борьбе за удобство, то перед нами станет вырисовываться обширная картина почти всего, что называется цивилизацией, что отличает культурные народы от дикарей.

В главах от III до VIII мы на ряде примеров показали, как много было физикой сделано для того, чтобы расширить и углубить наши познания, чтобы найти ответы на те вопросы, которые волнуют людей, вдумчиво относящихся к явлениям окружающего их мира. Теперь мы должны перейти ко второй, несравненно более простой задаче: показать, что было физикой сделано для достижения человечеством второй из заветных его целей, в какой мере она содействовала развитию цивилизации, какие «удобства» были достигнуты исключительно только благодаря работе ученых, посвятивших свою жизнь физике, с единственною, однако, бескорыстною целью добыть познания, и вовсе не справляясь о той пользе, которую могут принести их открытия, отчасти описанные в предыдущих главах. Эта польза, это применение новых открытий для увеличения удобств жизни, этот рост цивилизации явились как-то сами собой; как зрелый плод он преподносился человечеству в виде бесчисленных изобретений, которые только и могли появиться на почве новых открытий, послуживших для них необходимым фундаментом. То, что сделано физикой в этом втором направлении, не менее гран-

диозно, чем то, чему были посвящены предыдущие главы. Но оно несравненно заметнее, оно бросается в глаза со всех сторон и на каждом шагу. Мы видим эти плоды, куда бы мы ни обратили наши взоры, мы ими пользуемся непрерывно, они заполняют всю нашу жизнь и без них нам даже трудно представить себе наше существование. И мы можем сказать, что заслуга физики одинаково величественна в обоих направлениях. Нам нет надобности останавливаться на подробном описании того, что в главных чертах всем известно и чем почти все пользуются. Великие изобретения, давшие человечеству цивилизацию, у всех перед глазами; достаточно о них напомнить, можно было бы даже ограничиться их простым перечнем Все они более или менее относятся к тому, что называется техникой, а технике будут посвящены специальные части той серии книг, к которой принадлежит и эта книга. Здесь не место говорить о вопросах техники; наша задача заключается только в том, чтобы указать на их связь с открытиями, которыми физика обогатила человечество.

Мы могли бы даже ограничиться немногими строками, пригласив наших читателей внимательно посмотреть вокруг себя, отыскать наиболее выдающиеся признаки того, что составляет цивилизацию, ее неот'емлемые стороны, и спросить себя, откуда они получились, на какой почве они выросли. И читатели легко убедятся, что этой почвой является наука физика, их общий первоисточник. В главе IV (стр. 72), рассматривая превращения одних видов энергии в другой, мы поставили вопрос о первоисточнике всех видов энергии на земной поверхности; и мы пришли к результату, что таковым является, с ничтожными исключениями, лучистая энергия, живительный поток которой непрерывно льется к нам от солнца. Таким солнцем является для цивилизации физика, открытия которой льются на нас потоком, как бы преобразовываясь в те изобретения, использование которых составляет основу цивилизации, этого залога истинной культуры. Однако, мы не ограничимся таким приглашением читателей, самим убедиться в справедливости наших слов; мы поможем им, составив беглый перечень этих изобретений и показав их связь с открытиями, принадлежащими физике. Не останавливаясь на мелочах, мы упомянем лишь о тех важнейших изобретениях, которые у всех на виду, которые всем известны и которыми все пользуются.

Нам придется касаться вопросов техники, обширные части которой возникли благодаря тому, что дала физика. Было бы, однако, несправедливо и односторонне, если бы мы умолчали о том, что, хотя, с одной стороны, техника растет и крепнет благодаря живительному влиянию физики, все же, с другой стороны, и физика многим обязана технике. Дело в том, что техника, развиваясь и стремясь к новым целям, ставит науке новые задачи, за которые последняя охотно берется; их решение нередко является источником дальнейшего развития науки, новых ее побед, новых открытий, возникнове-

ния новых ее отделов. В главе II мы указали на то значение, которое имела и имеет физика для других наук. Эту мысль мы здесь развивать не будем; мы упомянем лишь о тех ее применениях, которые относятся к медицине; эта наука, по понятным причинам, всем нам близка, все мы с нею сталкиваемся и потому интересно напомнить те случаи, когда возможность ее услуг основывается на том, что она брала из научной сокровищницы физики.

§ 2. Электротехника. Мы начнем с той части стоящего перед нами вопроса, который занимает в нем наиболее обширное место, с электротехники. Истекший девятнадцатый век справедливо назывался веком пара; двадцатый, с таким же правом, можно будет назвать веком электричества. В повседневной нашей жизни электротехника приобретает с каждым днем все большее и большее значение С одной стороны, она завоевывает себе новые области, отнимая непосредственное производство работы у техники паровой, с другой стороны, в ней возникают совершенно новые части благодаря новым открытиям в области физических явлений. Примером последнего может служить телеграф без проводов, изобретенный после открытия лучей Герца (стр. 147). Спрашивается откуда взялась, на какой почве выросла электротехника, эта необ'ятная отрасль техники, которая изучается в специальных высших учебных заведениях, разделенных на большое число отделений или факультетов, так как один человек уже не может быть сколько-нибудь основательно знаком со всеми ее отраслями. Без колебаний мы можем ответить: вся электротехника выросла на почве тех открытий в области электрических явлений, которые составляют одну из интереснейших глав истории физики девятнадцатого столетия.

Мы не намерены вдаваться в подробности, относящиеся к истории этих открытий, они не нужны для наших целей; ограничиваемся указанием дат наиболее важных открытий, которые все без исключения сосредоточены на протяжении одного столетия.

Как раз на пороге нового столетия, в 1800 г. Вольта построил свой столб (вольтов столб) и первую баттарею простых гальванических элементов, то-есть подарил человечеству электрический ток в удобной для исследования и для применения форме. В том же году Карлейль (Anthony Carlisle, 1768—1840) и Никольсон (William Nicholson, 1753—1815) в Англии заметили, что в капле воды, через которую проходит электрический ток, выделяются пузырьки водорода, и таким образом открыли явление электролиза, то-есть химические действия тока; точные законы этих действий нашел затем Фарадей в 1833 году. Нагревание проволок, через которые течет электрический ток, наблюдали вскоре после 1800 года Симон (P. Simon, 1767—1815), Пфаф (C. Pfaff, 1773—1852) и Марум (van Marum, 1750—1837); на этом нагревании основано элек-

трическое освещение. В 1820 году Эрстедт заметил действие электрического тока на магнитную стрелку. В этом же году Ампер открыл и исследовал взаимное притяжение и отталкивание проводников, через которые течет электрический ток. Несколькими годами позже были построены первые электромагниты (кем впервые — неизвестно). В 1831 году Фарадей открыл явления индукции токов токами и магнитами, этой основы современной электротехники. Лучи Герца были открыты в 1887 году, лучи Рентгена в 1895 и радиоактивность в 1898.

Этим кратким перечнем исчерпывается список главнейших великих открытий, приведших к тем изобретениям, на которых построена современная электротехника. В мирной тишине физических лабораторий трудились ученые. Исследуя электрические явления, они искали только познания истины, они стремились только к тому, чтобы обнаружить эти явления и узнать те законы, которым они повинуются. Они были далеки от мысли о той практической пользе, которую могут принести их открытия. Бескорыстное служение чистой науке — вот девиз их деятельности. Посмотрим же, какие плоды, помимо познания, принесла их деятельность, какую пользу извлекло из них человечество, в какой мере они послужили увеличению тех удобств, в широком смысле этого слова, к которым стремится человечество. Изложение истории изобретений не входит в нашу задачу, и мы органичиваемся почти простым их перечнем и лишь в некоторых случаях мы напомним, на котором из вышеперечисленных открытий основано данное изобретение. Само собою разумеется, что мы ограничиваемся перечнем тех изобретений, которые у всех на виду и которыми все пользуются. Кроме них существуют тысячи других, значение которых сосредоточивается в определенной, узкой сфере их применимости, и которые также основаны на открытиях в области электрических явлений.

Предпошлем нашему перечню одно важное общее замечание. Мы знаем, что практические применения электричества растут с каждым днем, что они во многих случаях вытесняют паровые двигатели, как непосредственных производителей работы, и мы читаем, что обширные территории, целые государства, подвергаются «электрификации», то-есть покрываются сетью центральных электрических станций, снабжающих, каждая, обширную область, диаметром в сотни верст, электрической энергией; постепенно паровые железные дороги заменяются электрическими. Невольно является вопрос: в чем преимущество электричества перед паром, в чем его сила? Что заставляет стремиться к «электрификации» всего доступного действию электричества? Ответ простой: электрический ток имеет то драгоценное, ничем не заменимое свойство, что он может проявлять свои действия на огромных расстояниях от того места, где он возникает, то-есть где имеются запасы потенциальной (горючие материалы) или кинетической (водопады)

энергии, которыми можно воспользоваться, превратив их в энергию электрическую. Здесь мы имеем дело с так называемой передачей работы на расстояние. Непосредственное же действие парового или водяного двигателя можно передать, при помощи ремней, лишь на самое малое расстояние.

Телеграф электрический (до него существовал телеграф оптический), в его первой форме, был основан на отклонении магнитной стрелки под влиянием электрического тока. Затем появились телеграфные приборы, главную часть которых составлял электромагнит, то-есть кусок подковообразного, мягкого железа, обвитого изолированной проволокой, превращающегося в магнит, когда через эту проволоку протекает ток. Замыкание тока на одной из двух станций, соединенных проволокой, намагничивает и заставляет действовать электромагнит на другой, при чем вторая, то-есть обратно идущая проволока, как известно, заменяется землею. Говорить о значении телеграфа не приходится. Мировая история зашагала быстрее с тех пор, как всякое событие, где бы оно ни произошло, через несколько часов делается известным во всех цивилизованных странах, а на поставленный вопрос можно, если это желательно, иметь ответ из-за тридевяти земель через несколько минут, на что прежде требовались недели и месяцы. Значение телеграфа для торговли, для промышленности, а также в частной жизни, известно каждому.

Телеграф без проводов основан на теоретических работах Максвелля и на экспериментальных Герца, открывшего электрические лучи. На огромных преимуществах телеграфа без проводов, но и немаловажных недостатках, мы не останавливаемся. Укажем только, что он дает возможность сноситься с местами изолированными (судно на море), рассылать известия одновременно по многим и даже по всем направлениям и устанавливать сношения между местами, которые не соединены обыкновенным проволочным телеграфом.

Телефон, в связи с микрофоном, основан на открытом физикой явлении изменения силы тока, проходящего через место контакта двух тел, от степени давления этих тел друг на друга. Широкое распространение этого прибора и то огорчение, которое мы чувствуем, когда он находится в неисправности, показывает, как велико то удобство, которое с ним связано, и в какой высокой мере мы к нему привыкли.

Динамоэлектрические машины или просто «динамо» постоянного и переменного тока целиком основаны на явлениях индукции токов. Они заменили прежде употреблявшиеся, крайне неудобные батареи из элементов с жидкостями (элементы Даниэля, Бунзена и др.) и впервые дали возможность получать электрические токи огромной силы. Без этих машин современная электротехника не могла бы развиться в наиболее важных ее направлениях.

Электрическое освещение вольтовой дугой и лампочками накаливания основано на нагревании проводников, через которые проходят электрические токи, то-есть на превращении электрической энергии тока в энергию тепловую, а затем в энергию лучистую и притом видимую. Вольтову дугу впервые получил проф. Петров (1802) в Петрограде, а затем Деви (Davy, 1778—1829). Преимущества электрического освещения перед другими способами освещения (свечи, керосиновые и масляные лампы, газовое освещение) всем понятны. Достаточно указать на удобство при зажигании и тушении, на отсутствие порчи воздуха в жилых помещениях, на возможность менять в широких пределах силу света простой заменой одних лампочек другими. Чисто научное изучение законов лучеиспускания привело к замене угольных нитей в лампочках накаливания нитями металлическими, которые, как и предвидела теория, оказались гораздо более экономическими, чем нити угольные. Нагревающим действием электрического тока пользуются не только для освещения. Весьма распространены электрические кипятилки, печи и т. под. Электрическим током пользуются для взрыва мин, замыкая ток в далеком от мины безопасном месте.

Электрические двигатели суть машины, в которых электрическая энергия тока расходуется на производство механической работы, превращаясь, прежде всего, в кинетическую энергию движения частей машины, напр., вращение колес. Электрические двигатели могут быть расставлены в большом количестве и в различных местах обширного района, окружающего ту центральную станцию, которая посылает во все эти места электрический ток, одновременно питающий местные двигатели. Эти двигатели заставляют работать разного рода станки, всевозможные машины, напр., водопод'емные, печатающие, швейные и т. д. Колоссалное удобство, заключающееся именно в этом применении электрической энергии и есть одна из главных причин стремления к той электрификации обширных территорий, о которой выше было сказано. Наиболее популярный случай передачи работы на расстояние представляет трамвай, почти везде вытеснивший конно-железный способ передвижения. Из бесчисленных, также сюда относящихся применений электричества укажем, как на общеизвестное, еще на сети электрических часов, помещенных в различных частях города, приводимых в движение одними, хорошо регулированными, центральными часами, и идущими совершенно одинаково.

Химическими действиями электрического тока пользуются для многих, разнообразных целей. Назовем некоторые из них. Гальваностегия занимается покрыванием поверхностей различных тел тонким слоем металла, напр., никкеля (никкелирование), золота, меди и т. д. Гальванопластика есть искусство получать слепки с предметов, на которых имеются рельефы, напр., с медалей, монет и т. под. Стереотипы для печатания книг, газет и т. д.

также получаются гальваническим путем. Впрочем, часто, хотя и не правильно, причисляют к гальванопластике и все то, что следовало бы отнести к гальваностегии. Химическими действиями тока пользуются при добывании разного рода веществ, при обработке руд, при очищении (рафинировании) металлов, а в последнее время также для добывания азотистых веществ, необходимых для удобрения почвы, прямо из воздуха, в котором происходит соединение азота с кислородом под влиянием мощной вольтовой дуги.

Медицина в разнообразных случаях пользуется электричеством. Она применяет для непосредственных лечебных целей как постоянный, так и индукционный ток. Накаливанием проволок током она пользуется для прижиганий (гальванокаустика), электрическими лампочками — для освещения внутренних полостей человеческого тела. Лучи Рентгена служат для исследования болезненных новообразований, для определения местоположения посторонних предметов в теле человека (осколки металлические) и для распознавания повреждения костей (переломы, вывихи). Кроме того медицина пользуется рентгеновыми лучами и для непосредственных лечебных целей. Делаются попытки применения для тех же целей радиоактивных излучений.

§ 3. Тепловая техника. Оптотехника. Механика

Тепловая техника, применяющая паровые, газовые и иные двигатели, вся построена на использовании определенных физических явлений и, прежде всего, на том, что теплота есть форма энергии, а, следовательно, способна произвести работу. Конечно, мы здесь не имеем дело, как в электротехнике, с использованием одного или нескольких открытий, которые можно приписать определенным ученым, посвятившим себя изучению физических явлений. Но, с другой стороны, паровая техника не могла бы достигнуть того широкого развития, которое наложило свою печать на историю цивилизации девятнадцатого столетия, если бы экспериментальные исследования многих ученых не выяснили, и притом с необходимой, величайшей подробностью, физические свойства водяных паров и тем дали бы возможность возникнуть и развиться специальной теории паровых машин. То же самое относится к другим двигателям, как, напр., к газовому и бензиновому. В § 3 главы VII мы видели, что только благодаря открытию второго начала мог возникнуть правильный взгяд на сущность того, что происходит в паровой машине. Без непрерывного, планомерного содействия чистой науки не могла бы развиться паровая техника, значение которой для человечества достаточно выясняется, если вспомнить фабрики и заводы, железные дороги и пароходы. Как бы здесь не были велики заслуги чистой техники, она не достигла бы имеющихся на лицо результатов, если бы она не находила могучей помощи в чистой науке.

На работах физиков экспериментаторов основано ожижение воздуха и других газов и получение чрезвычайно низких температур.

Голландский ученый Камерлинг-Оннес (Kamerlingh-Onnes) достиг температуры $-271{,}5^0$ С.

Оптотехникой мы называем ту часть техники, которая специально занимается изготовлением оптических приборов или инструментов. Таких приборов существует очень много, но большинство из них не могут быть названы общеизвестными, так как они служат слишком специальным целям; сюда относятся и те из них, которыми пользуются при определенных исследованиях в области физических явлений, как, напр, разнообразные спектроскопы, которыми пользуются при изучении спектров различных источников лучистой энергии. Устройство оптических приборов всецело основано на законах световых явлений, открытых учеными, и на чисто математических исследованиях, имевших целью выяснить те условия, при выполнении которых прибор дает возможность наилучшим образом достигнуть тех целей, для которых он предназначен В виде примера укажем, что многие оптические приборы, напр., микроскоп, об'ектив фотографической камеры и т. д., должны давать изображения тех или других предметов. Теория, основанная на законах физических явлений, определяет те условия, при которых получаются наиболее ясные и, что главное, правильные, то-есть не искаженные изображения. Параллельно со сложными математическими вычислениями должно здесь идти тщательное и многостороннее экспериментальное определение физических свойств тех. сортов стекла, а иногда и других прозрачных веществ (напр., кварца), которые входят в состав данного оптического прибора. Здесь техника всецело находится в зависимости от того, что чистая наука ей сообщает как результат своих экспериментальных и теоретических (математических) исследований.

Из оптических приборов, широко распространенных и всем известных, упомянем: очки, зрительные трубы, бинокли, астрономические телескопы, лупы, микроскопы, фотографические об'ективы и проекционные (волшебные) фонари. Из огромного числа других, менее известных, но весьма распространенных, укажем на глазное зеркало, служащее для исследования внутренних частей глаза, и на сахариметры, дающие возможность определить процентное содержание чистого сахара в какой-либо жидкости.

На химических действиях света (стр. 123), открытых и изученных опять-таки чистой наукой, основана фотография и ее весьма популярное детище — кинематография, значение которой гораздо больше, чем обыкновенно думают, когда приписывают ей исключительно увеселительные цели. С каждым днем растет ее применение, как метода преподавания, а кроме того кинематограф играет роль чисто научного прибора, служащего для расчленения и детального изучения таких явлений, которые протекают слишком быстро, чтобы возможно было, при непосредствен-

ном наблюдении, распознать их последовательные фазы, в этом направлении он уже оказал многие весьма ценные услуги

На механике, в несколько расширенном смысле слова, зиждется весьма большая часть техники, особенно если к последней причислить и строительное искусство. Здесь чистая наука в двух направлениях подготовляет ту почву, на которой выростает техника. Во первых она открыла законы механики твердых, жидких и газообразных веществ и показала способы их применения. Этими законами непрестанно пользуется техника, как при постройке всевозможных машин, так и при сооружении железнодорожных путей (особенно в гористых местностях), кораблей, воздушных шаров, аэропланов и т. д. Не менее важно второе направление. Физика выработала методы тщательного и всестороннего изучения свойств различных веществ, или, как говорят, материалов, которыми пользуются техника и строительное искусство. Сюда относится особенно важное исследование сопротивления материалов действию разного рода внешних сил. Таким силам подвергаются материалы, из которых строятся машины, сооружаются всякого рода постройки. Необходимо, чтобы изменения формы, напр., сгибание, растяжение, кручение, которым подвергаются части машины, моста или иного сооружения, оставались в известных пределах и не подвергали бы машину, мост и т. д. опасности быть разрушенными хотя бы при длительном на них воздействии тех сил, которым они неизбежно подвергаются, служа тем целям, для которых они построены.

В заключение назовем еще два физических прибора, которые всем известны: термометр и барометр. Для точного измерения весьма высоких температур служат пирометры, из которых наиболее важные основаны на результатах изучения лучеиспускания сильно нагретых тел. Пирометрия имеет большое значение для многих отделов техники. К ним можно, пожалуй, еще присоединить, хотя и менее распространенный, но все же весьма важный гигрометр, служащий для определения степени влажности воздуха.

§ 4. Заключение. На вопрос о том, что дала физика человечеству в его стремлении к удобству, мы ответим коротко. почти все, что составляет основу современной цивилизации. Для подтверждения мы еще раз назовем: телеграф обыкновенный, телеграф без проводов, телефон и микрофон, динамоэлектрические машины, электрическое освещение, электрические двигатели, трамваи, гальваностегия и гальванопластика, обработка руд, очищение металлов, добывание азотистых веществ из воздуха, паровые, газовые, бензиновые двигатели, современные железные дороги и пароходы, очки, зрительные трубы, бинокли, телескопы, лупы, микроскопы, фотографию, кинематограф, механику, бо́льшую части техники и строительного искусства, изучение свойств различных веществ, в том числе сопротивление материалов, термометр и барометр, умалчивая о более мелких изобретениях, также основанных на том, что было открыто физикой.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

Что дала и что дает физика человечеству? Она мощною рукой двинула человечество по пути, который ведет к двум заветным целям, к познанию и к тому удобству, в широком смысле этого слова, которое ныне является основою и залогом культуры. Отмежевав себе все то, что относится к неодушевленной природе, она блестяще решила свою задачу, обогатив человечество познаниями в тех областях существующего и происходящего, которые недоступны нашим органам чувств. Она постепенно поднимает те завесы, за которыми скрыта истина, она приближается к ней, все более и более уверенною рукой чертит ее контуры, приступая и к дальнейшим ее деталям. Из ее обширной сокровищницы черпают другие науки, находя в ней готовые орудия борьбы за истину, за познание. Драгоценными плодами выростают на почве ее открытий бесчисленные изобретения, давшие человечеству те удобства, благодаря которым народы приобщаются к культуре.

На пышно развевающемся стяге, который высоко подняла наука физика, шагая бодро и с упованием на свои силы по пути к истине, начертано заветное слово **„познание“**. А по ее пятам идет техника, пользуется ее открытиями и дарит человечеству те изобретения, те **удобства**, без которых оно уже не может жить. Их первоисточником является, таким образом, физика.

Открытия и изобретения, познание и удобство — вот что дала и что дает наука физика благодарному человечеству.

БИБЛИОТЕКА
...ЧЕСКОЙ

ОГЛАВЛЕНИЕ.

Стран.

Предисловие 5

ГЛАВА I.

Введение 7

ГЛАВА II.

ФИЗИКА, ЕЕ ЗАДАЧИ И ЕЕ МЕТОД.

§ 1. Общая задача физики; значение физики для других наук 15
§ 2. Три главных задачи физики. Открытие физических явлений . . 19
§ 3. Исследование физических явлений 21
§ 4. Об'яснение физических явлений; гипотезы о причине 25
§ 5. Иного рода гипотезы 30
§ 6. Историческое значение гипотез о причине; физика и наука о познании (гносеология) 32
§ 7. Разделение физики 36
§ 8. О некоторых математических соотношениях 40
§ 9. Заключение 42

ГЛАВА III.

МОЛЕКУЛЫ, АТОМЫ И ЭЛЕКТРОНЫ.

§ 1. Введение 44
§ 2. Атомы и молекулы 45
§ 3. Вес и размеры атомов и молекул 48
§ 4. Электроны 53
§ 5. Заключение 57

ГЛАВА IV.

СОХРАНЕНИЕ МАСС И СОХРАНЕНИЕ ЭНЕРГИИ.

§ 1. Введение 58
§ 2. Закон или принцип сохранения масс 59
§ 3. Работа и энергия 60
§ 4. Закон или принцип сохранения энергии 69
§ 5. Заключение 77

ГЛАВА V.

ТЕПЛОТА, КАК ДВИЖЕНИЕ МОЛЕКУЛ И АТОМОВ.

§ 1. Введение 79
§ 2. Что такое теплота? 79
§ 3. Основные свойства газов 85
§ 4. Основы кинетической теории газов 88

Стран.
§ 5. Движение газовых молекул 94
§ 6. Заключение 104

ГЛАВА VI.

ЛУЧИСТАЯ ЭНЕРГИЯ.

§ 1. Введение 105
§ 2. Распространяющееся колебательное движение 107
§ 3. Основные световые явления. История вопроса о сущности света 111
§ 4. Свет, как распространяющееся колебательное движение; о спектрах 116
§ 5. Некоторые свойства световых лучей 122
§ 6. Лучистая энергия. Лучи инфракрасные и ультрафиолетовые . 125
§ 7. Электрические колебания 131
§ 8. Принцип резонанса 138
§ 9. Лучи Герца 141
§ 10. Лучи Рентгена 147
§ 11. Обзор всех видов лучистой энергии 153
§ 12. Понятие об электромагнитной теории лучистой энергии . . . 155
§ 13. Давление лучистой энергии. Заключение 164

ГЛАВА VII.

ВТОРОЕ НАЧАЛО. НАШ МИР, КАК ОРГАНИЗМ.

§ 1. Введение 166
§ 2. Физические процессы и их направления 167
§ 3. Процессы естественные и неестественные 171
§ 4. Компенсация неестественных процессов 173
§ 5. Второе начало. Рассеяние энергии 179
§ 6. Второе начало и вероятность состояния 183
§ 7. Наш мир, как организм 189
§ 8. Заключение 192

ГЛАВА VIII.

СТРОЕНИЕ И РАСПАД АТОМА. РАДИОАКТИВНЫЕ ЯВЛЕНИЯ.

§ 1. Введение 193
§ 2. Атомные числа. Ионизация газов. Положительное электричество 193
§ 3. Современное учение о строении атома 197
§ 4. Ионизация газов. Испускание лучистой энергии 202
§ 5. Превращение элементов. Состав материи. Проницаемость атома 206
§ 6. Радиоактивность 209
§ 7. Радиоактивные превращения и учение о распаде атомов 213
§ 8. Заключение 218

ГЛАВА IX.

ФИЗИКА И СТРЕМЛЕНИЕ ЛЮДЕЙ К УДОБСТВУ.

§ 1. Введение 219
§ 2. Электротехника 221
§ 3. Тепловая техника. Оптотехника. Механика 225
§ 4. Заключение 227
Заключение 228