

Р. 1.2787 4

На дом
не выдается

Лоренц, Г. А.

Видимая и невидимая
движения.

Одесса, 1904.

ВИДИМЫЯ и НЕВИДИМЫЯ ДВИЖЕНІЯ.

ЛЕКЦІИ

Г. А. ЛОРЕНЦА,



прочитанныя имъ въ февраль и мартъ 1901 года, по предложенію председателя
Лейденскаго Отдѣла Общества Всеобщей Пользы.

12787

Июль. 1935

СЪ 40 ЧЕРТЕЖАМИ.

Переводъ С. М. ШПЕНЦЕРЪ.

Подъ редакціей приватъ-доцента Новороссійскаго Университета

Р.

Б. П. ВЕЙНБЕРГА.



ОДЕССА.

Изданіе Вл. РАСПОПОВА.

1904.

По порядку поступления
№ 3002.



Дозволено цензурою. Одесса, 24-го Апрѣля 1904 года.



Типографія Л. С. Шутака въ Одессѣ,
Ришельевская, д. № 45.

Авторъ этой книжки, представляющій собою весьма крупную величину въ научномъ отношеніи, является въ то же время однимъ изъ немногихъ, умѣющихъ просто, ясно и вмѣстѣ съ тѣмъ точно излагать самыя сложныя явленія и теоріи.

Въ настоящихъ лекціяхъ Г. А. Лоренцъ какъ бы подводитъ итоги успѣхамъ механистическаго воззрѣнія на сущность физическихъ явленій и излагаетъ съ этой точки зрѣнія, какъ тѣ области физики, гдѣ роль движенія является несомнѣнною,—свѣтовые колебанія, молекулярныя движенія,—такъ и тѣ, гдѣ механистическое объясненіе еще не вполне достовѣрно,—явленія электрическія. Эти послѣднія явленія авторъ излагаетъ съ точки зрѣнія теоріи электроновъ, однимъ изъ творцовъ и убѣжденнымъ сторонникомъ которой онъ является; тѣмъ не менѣе въ этихъ лекціяхъ авторъ особенно отчетливо указываетъ именно по отношенію къ этой теоріи, что она является лишь однимъ изъ возможныхъ объясненій. Эта осторожность автора, проявляющаяся и въ рядѣ другихъ мѣстъ, заставила насъ ревниво отнестись къ возможно точной передачѣ тонкихъ оттѣнковъ мысли автора,—иной разъ, можетъ быть, въ ущербъ литературности изложенія.

Переводъ сдѣланъ съ нѣмецкаго перевода, выполненнаго съ голландскаго подлинника Г. Зибертомъ при участіи самого автора.

Б. П. Вейнбергъ.

Прямолинейныя движенія.

I.

Когда правленіе общества „Всеобщей Пользы^{*)}“ предложило мнѣ прочесть нѣсколько лекцій о физическихъ явленіяхъ, я охотно согласился, въ надеждѣ, что мнѣ удастся изъ той картины, какую являетъ собою современная физика, изложить кое что такое, что представляется вамъ затруднительнымъ. Я не берусь представить вамъ эту картину во всей полнотѣ. Для этого мы должны были бы стать отъ нея въ такомъ отдаленіи, что отъ васъ ускользнули бы почти всѣ детали. Такой бѣглый обзоръ, навѣрное, не удовлетворилъ бы васъ.

Я не хочу обращать ваше вниманіе во что бы то ни стало на блестящіе и бросающіеся въ глаза успѣхи этой науки, такъ какъ при этомъ я рисковалъ бы быть вамъ лишь на половину понятнымъ; хотя и велико искушеніе поставить на первомъ планѣ новыя открытія и теоріи и распространиться относительно общихъ вопросовъ или практическихъ примѣненій, на которыя наша эпоха можетъ указать съ гораздо большимъ правомъ, чѣмъ какая либо изъ предшествовавшихъ. Я не могу обѣщать вамъ такъ много. Если вы дѣйствительно хотите бросить взглядъ на ходъ развитія физическихъ воззрѣній, то вамъ придется обстоятельно вдуматься въ тѣ задачи, рѣшеніемъ которыхъ мы займемся. Поэтому задачи эти должны сообразоваться съ предназначеннымъ на это временемъ. Тѣмъ не менѣе я надѣюсь, что тѣ задачи, на которыхъ я останавливаю свой выборъ, окажутся достойными вашего вниманія.

По этому плану нашей работы мы начинаемъ съ начала, а имъ является для физики такъ называемая механика—ученіе объ явленіяхъ движенія. Эта отрасль знанія сама по себѣ уже чрезвычайно богата отчасти благодаря распространенію въ природѣ изучаемаго ею предмета—движенія, отчасти благодаря многосторонности ея методовъ.

*) Голландское названіе этого общества слѣдующее: *Maatschappij tot nut van't algemeen*.

Механика обнимаетъ всѣ движенія, которыя мы видимъ вокругъ себя: паденіе тѣлъ, теченіе воды, атмосферныя вѣтры. Къ помощи всѣхъ этихъ движеній мы должны прибѣгать, если хотимъ соорудить машины, которыя позволяли бы намъ вызывать проявленія большихъ силъ или проводить тончайшія механическія работы. Механика поднимается также высоко надъ землею и подъ именемъ „небесной механики“ находитъ себѣ поле дѣятельности въ движеніи небесныхъ тѣлъ: тутъ, главнымъ образомъ, развернулись ея силы, и собраны ею здѣсь лучшіе лавры. Съ другой стороны, она опускается до малаго и невидимаго, устанавливая законы звуковыхъ и свѣтовыхъ колебаній, а также тѣхъ скрытыхъ движеній, въ которыхъ мы усматриваемъ сущность тепла и другихъ явленій.

Механика пользуется математическими методами, такъ какъ работаетъ постоянно надъ мѣрою и числомъ. Чтобы помочь намъ разобратся въ запутанныхъ и разнообразныхъ явленіяхъ, она пользуется всѣми вспомогательными способами математики и затрудняется только въ томъ случаѣ, когда математика не въ состояніи ей помочь.

Изъ вышесказаннаго вы могли бы вынести впечатлѣніе, что нужно быть хорошимъ математикомъ, чтобы изъ этого отдѣла физики понять хоть что-нибудь. Но такое убѣжденіе ошибочно. Основные законы механики очень просты, и основатели этой отрасли науки, Галилей, Гюйгенсъ, Ньютонъ, часто пользовались такими вычисленіями, въ которыхъ можетъ разобратся каждый изъ васъ при нѣкоторомъ терпѣніи. Сверхъ того, убѣдившись, что то или иное математическое средство примѣнимо, вы можете предоставить математику всѣ вычисленія, относясь къ результатамъ съ полнымъ довѣріемъ и не перечисляя ихъ. Вѣдь вы вѣрите, что по длинѣ трехъ сторонъ треугольника можно вычислить величину любого угла его, хотя вы лично, быть можетъ, и не въ состояніи произвести этого вычисленія?

Явленія, которыми мы желаемъ ограничиться въ сегодняшней лекціи, весьма просты. Мы намѣрены говорить только о движеніяхъ вдоль прямой линіи и о тѣхъ условіяхъ, при которыхъ они происходятъ. Вы знаете достаточно примѣровъ прямолинейнаго движенія, и для васъ не новъ способъ выраженія, что такое движеніе производится силой, дѣйствующею въ теченіе нѣкотораго времени. Если мы толкаемъ или тянемъ сани, то, какъ говорятъ, мы заставляемъ *силу* дѣйствовать по направленію движенія. Въ другихъ случаяхъ источникъ силы, дѣйствующей на движущееся тѣло, находится не въ насъ, а въ чемъ-нибудь другомъ. Если, напримѣръ, сани приводятся въ движеніе при помощи веревки, то сани испытываютъ *непосредствен-*

ное дѣйствіе только отъ этой послѣдней. Если веревка нѣсколько вытянется, то, стремясь сократиться, она дѣйствуетъ на сани съ силой, которую мы называемъ *натяженіемъ* веревки.

Точно также одно тѣло можетъ давить на другое или толкать другое. Припомните хотя бы паръ, приводящій въ движеніе поршень паровой машины; дѣйствіе воды на лопасти водяного колеса; молоко, сообщающій толчокъ шару, и т. д. Въ другихъ случаяхъ мы видимъ, какъ одно тѣло увлекаетъ за собой другое подъ вліяніемъ силы, дѣйствующей не перпендикулярно къ поверхности соприкосновенія обоихъ тѣлъ, а параллельно ей. Если, напримѣръ, брусокъ, лежащій на столѣ, я потяну въ горизонтальномъ направленіи, то онъ потянетъ за собой и столъ, если послѣдній удобоподвиженъ. Сила, при этомъ дѣйствующая, называется *треніемъ*. Всѣ эти явленія на первый взглядъ очень просты, хотя, вдумываясь въ нихъ глубже, наталкиваешься еще на многое загадочное. Но есть рядъ явленій, которыя сразу производятъ на насъ впечатлѣніе чего-то таинственнаго и непонятнаго. Магнитъ, который я держу въ рукѣ, притягиваетъ къ себѣ этотъ желѣзный шаръ. Мы можемъ сдѣлать это наблюденіе, укрѣпивъ шаръ P (рис. 1), на одномъ изъ концовъ стержня CD , который за середину свою B привѣшенъ на тонкой металлической проволоцѣ такъ, что можетъ легко вращаться въ горизонтальной плоскости. Магнитъ и желѣзо соединены какъ-бы невидимыми нитями, и никто изъ физиковъ не сомнѣвается въ томъ, что здѣсь играетъ роль нѣкоторое находящееся постоянно между этими двумя тѣлами вещество, нѣкоторое *посредствующее вещество* или нѣкоторая *среда*, какъ принято выражаться. Очевидно также, что эта среда не могла бы воздѣйствовать на желѣзо такъ, какъ теперь, если бы состояніе ея не претерпѣло какихъ то измѣненій подъ вліяніемъ магнита. вмѣстѣ съ тѣмъ можно себѣ представить, насколько труднѣе было получить какія-либо свѣдѣнія относительно этихъ измѣненій, чѣмъ относительно натяженія веревки, посредствомъ которой мы тянемъ тѣло. Не будемъ вникать въ суть всего этого, а только выведемъ заключеніе, что мы въ правѣ картинно представлять притяженіе желѣза магнитомъ подъ видомъ притяженія натянутой бечевкой.

Въ природѣ мы встрѣчаемся съ многочисленными, какъ притягательными,

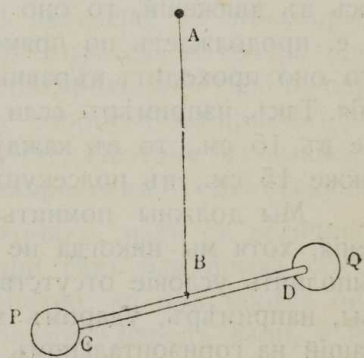


Рис. 1.

такъ и отталкивательными силами. Я могу, на примѣръ, замѣнить простой стержень *CD* (рис. 1) магнитнымъ и показать вамъ, какъ между его концами или полюсами этого магнита и полюсами другого магнита, который я держу въ рукѣ, будутъ проявляться притяженія и отталкиванія.

Точно такимъ образомъ, какъ *CD*, я могу подвѣсить любой металлическій стержень и показать, что послѣдній будетъ притягиваться стекляннымъ стержнемъ, который я натеръ шелковою тряпкою и такимъ образомъ *наэлектризовалъ*. Я могу этотъ опытъ повторить съ тѣмъ же успѣхомъ замѣнивъ стеклянный стержень смоляною или сургучною палочкою, натертою шерстяной тряпкой или кошачьимъ мѣхомъ.

Наконецъ, я могъ бы вамъ показать, что стеклянная или сургучная палочки, которыми мы пользовались въ этихъ опытахъ, хотя онѣ обѣ будутъ наэлектризованы, производятъ не во всѣхъ отношеніяхъ такое же дѣйствіе. Дѣйствительно, если я подвѣшу вмѣсто намагниченнаго стержня натертую стеклянную палочку, то окажется, что она другимъ кускомъ наэлектризованнаго стекла отталкивается, тогда какъ кускомъ наэлектризованнаго сургуча притягивается.

Во всѣхъ этихъ случаяхъ мы могли бы сдѣлать тѣ же замѣчанія, что и при разсмотрѣніи дѣйствія магнита на желѣзо,—и то же можемъ мы сдѣлать и по отношенію къ той силѣ, которая вызываетъ паденіе тѣлъ,—*силъ тяжести*, или *силъ притяженія земли*.

Ознакомившись съ нѣкоторымъ числомъ силъ, мы должны избрать исходными пунктами нѣкоторыя общія положенія, или законы природы для нашихъ дальнѣйшихъ разсужденій. Зададимъ себѣ сперва такой вопросъ: что произойдетъ съ тѣломъ, если сила на него вовсе не будетъ дѣйствовать? Естественнo, что тѣло, разъ оно находилось въ покоѣ, не выйдетъ изъ него. Если же тѣло находилось въ движеніи, то оно сохраняетъ это движеніе неизмѣннымъ, т. е. продолжаетъ по прямой линіи двигаться далѣе, и притомъ такъ, что оно проходитъ въ равные промежутки времени одинаковыя разстоянія. Такъ, на примѣръ, если оно въ первую секунду проходитъ разстояніе въ 15 см., то въ каждую слѣдующую секунду будетъ проходить также 15 см., въ полсекунды—7,5 см., въ $\frac{1}{10}$ секунды—1,5 см.

Мы должны помнить, что этотъ законъ выведенъ изъ наблюденія, хотя мы никогда не можемъ обставить опытъ такъ, чтобы выполнить условіе отсутствія дѣйствія какихъ либо силъ на тѣло. Мы, на примѣръ, ударомъ молота приводимъ въ движеніе шаръ, лежащій на горизонтальномъ столѣ. Понятно, что въ моментъ прикосновенія молота къ шару, дѣйствуетъ сила, являющаяся причиною

движенія послѣдняго,—но объ ней мы въ данный моментъ говорить не будемъ. Мы обратимъ вниманіе только на движеніе, которое происходитъ *послѣ* толчка. Мы видимъ, что шаръ движется по прямой линіи, и слѣдовательно первая часть закона оправдалась; что-же касается разстояній, проходимыхъ шаромъ въ каждую послѣдующую секунду, то они становятся все меньше и меньше, и наконецъ, шаръ совершенно останавливается. Едва ли мнѣ нужно говорить о томъ, какъ мы должны разсмотрѣть это явленіе. Всякій знаетъ, что движеніе тѣмъ быстрѣе прекращается, чѣмъ болѣе шероховаты поверхности. Поэтому всякій естественно припишетъ замедленіе движенія тому обстоятельству, что поверхность стола вслѣдствіе шероховатости порождаетъ силу, направленную противоположно направленію движенія, —и вывести заключеніе, что это движеніе никогда не прекратилось бы, если бы мы могли вполне устранить эту силу, силу тренія, путемъ полировки поверхностей шара и стола. Нашъ законъ подтвердился бы, если бы мы только могли выполнить то условіе, о которомъ этотъ законъ говоритъ.

Какъ долго можетъ продолжаться движеніе, если треніе и другія сопротивленія, подлежащія устраненію, достаточно малы, намъ удобнѣе наблюдать на вращающихся тѣлахъ при прямолинейныхъ движеніяхъ. Изъ астрономическихъ наблюденій можно вывести, что промежутокъ времени, въ теченіе котораго земля дѣлаетъ полный оборотъ вокругъ оси (24 часа), навѣрное, въ продолженіи цѣлаго столѣтія не увеличивается даже на одну сотую секунды. Если же когда-либо будетъ обнаружено малѣйшее приращеніе, то оно доказывало бы наличность какого-то сопротивленія, подлежащаго изслѣдованію. x)

Чтобы возвратиться снова къ прямолинейнымъ движеніямъ, и при томъ къ такимъ, при которыхъ тѣло въ равное время проходитъ равныя разстоянія, то есть къ такимъ движеніямъ, которыя происходятъ *безъ* дѣйствія силы, я долженъ ознакомить васъ еще съ нѣкоторыми терминами. Такое движеніе называютъ *равномѣрнымъ* и говорятъ, что оно тѣмъ быстрѣе, чѣмъ большее пространство проходитъ тѣло въ опредѣленный промежутокъ времени. За мѣру скорости мы примемъ разстояніе, которое тѣло проходитъ въ секунду. Поэтому въ вышеприведенномъ примѣрѣ мы можемъ говорить о скорости въ 15 см. въ секунду.

Дальнѣйшіе законы движенія знакомятъ насъ съ величиною скорости, которую пріобрѣтаетъ тѣло при тѣхъ или иныхъ обстоятельствахъ. Законы эти мы выведемъ, конечно, не изъ такихъ опытовъ, которые я въ дѣйствительности произвожу передъ вами, а изъ тѣхъ, которые возможны лишь въ воображеніи и при которыхъ всѣ

x) Такое соображеніе есть: треніе и инерція вѣнны океана о дно ея. Это обуславливаетъ дѣйствительное увеличеніе времени обращенія земли.

условія мы представляемъ насколько возможно благопріятными, а всѣ мѣшающія вліянія, встрѣчающіяся при дѣйствительныхъ опытахъ, вполне устраненными. Вы можете быть увѣрены, что, если бы то, что я сказалъ было невѣрно, то это не замедлило бы обнаружиться при внимательномъ изученіи явленій, происходящихъ въ дѣйствительности.

Мы начнемъ съ того, что *измѣримъ* дѣйствующую на тѣло силу, которая, какъ каждый понимаетъ, можетъ быть больше или меньше. Для этого нужно выбрать *единицу силы*, подобно тому, какъ для измѣренія длины и времени необходимо имѣть единицы длины и времени. Пока имѣетъ мало значенія то, какъ мы произведемъ этотъ выборъ. На первыхъ порахъ можно принять за единицу силы силу притяженія землею какого-нибудь предмета, хотя-бы напримѣръ, куска мѣди опредѣленной величины т. е. *вѣсъ* этого куска металла. Итакъ представьте, что мы имѣемъ нѣсколько кусковъ мѣди, равныхъ по вѣсу этой единицѣ. Намъ нуженъ далѣе измѣрительной инструментъ. Для этого можно взять упругую свернутую въ спираль проволоку, обладающую свойствомъ послѣ растяженія возвращаться къ первоначальной длинѣ, какъ только мы ее снова предоставимъ самой себѣ.

Такую пружину—какія вамъ знакомы по почтовымъ или домашнимъ вѣсамъ—мы градуируемъ, привѣсивая къ ней постепенно одну, двѣ и болѣе изъ нашихъ единицъ вѣса и наблюдая, насколько она каждый разъ вытягивается въ длину. Когда это сдѣлано, я, натягивая пружину рукою, могу изъ величины ея удлиненія заключить о величинѣ оказываемой мною силы. Судить объ этой силѣ возможно не только тогда, когда конецъ пружины укрѣпленъ въ неподвижной точкѣ, но и въ томъ случаѣ, если я прикрѣплю конецъ пружины къ какому-нибудь тѣлу и при помощи нея стану тянуть тѣло, напримѣръ, въ горизонтальномъ направленіи. И тутъ я въ каждый моментъ по величинѣ удлиненія заключаю о величинѣ силы.

Существуютъ приборы, такъ называемые динамометры, которые основаны на этомъ принципѣ, — только пружина въ нихъ другой формы,—и при помощи которыхъ можно измѣрить силу, оказываемую запряженной въ тѣлѣгу лошадыю.

Опыты, которые мы теперь произведемъ мысленно, и законы, изъ нихъ выводимые, слѣдующіе:

I. На одно и тоже тѣло мы заставляемъ силу опредѣленной величины дѣйствовать одинъ разъ болѣе короткое время, другой разъ—болѣе продолжительное. По истеченіи этого времени, т. е. послѣ прекращенія дѣйствія силы, тѣло движется равномерно. Мы измѣряемъ

скорость этого движенія, т. е. скорость, которую тѣло приобрѣло благодаря дѣйствию силы. Оказывается, что эта скорость пропорціональна времени, въ теченіе котораго дѣйствовала сила. Если, напри- мѣръ, извѣстная сила сообщаетъ тѣлу въ *одну* секунду скорость, равную q см., то, дѣйствуя 3 или 5 или 8,5 секунды, она сообщитъ тѣлу $3q$, $5q$ и $8,5q$ см. въ секунду.

Въ данномъ случаѣ мы себѣ представили, что измѣряемъ ско- рость послѣ прекращенія дѣйствія силы, что очень удобно. Но и во время дѣйствія силы, тѣло имѣетъ въ каждое мгновеніе опредѣлен- ную скорость. Предположимъ, что сила дѣйствовала двѣ секунды, и что тѣло получило, по истеченіи этихъ двухъ секундъ, скорость, равную $2q$. Въ такомъ случаѣ въ тотъ моментъ, когда прошла *одна* секунда отъ начала дѣйствія силы, скорость тѣла уже равнялась q . Если бы въ этомъ моментъ прекратилось дѣйствіе силы, то тѣло сохранило бы эту скорость, и мы легко могли бы измѣрить ее. Но во время дѣйствія силы измѣреніе скорости не такъ удобно, потому что, пока мы это сдѣлаемъ, скорость уже измѣнилась.

Поэтому мы можемъ сдѣлать это мысленно. Мы можемъ пред- ставить себѣ, что можемъ улавливать при движеніи тѣла очень ко- роткій промежутокъ времени $\frac{1}{10}$, $\frac{1}{100}$, а если даже въ этотъ про- межутокъ времени движеніе еще слишкомъ сильно измѣняется, то даже въ $\frac{1}{1000000}$ секунды, можемъ наблюдать, насколько тѣло подвинется за это время, а отсюда заключать, какъ далеко оно могло-бы уйти за цѣлую секунду, при такой же скорости. Такимъ образомъ мы получаемъ мѣру скорости въ каждый моментъ неравномѣрнаго или пе- ремѣннаго движенія, и видимъ, что она при дѣйствіи постоянной силы возрастаетъ постоянно и при томъ строго пропорціонально времени.

Принимая это во вниманіе, мы говоримъ о *равномѣрно-уско- ренномъ* движеніи. Такое движеніе должно происходить всегда, если сила постоянна.

Итакъ, если бы кто-нибудь безпрестанно и съ одинаковою силою толкалъ сани, то могъ бы имъ, въ концѣ концовъ, сообщить любую скорость при отсутствіи сопротивленія. Конечно, тотъ, кто толкаетъ, долженъ былъ бы и самъ передвигаться съ такою же ско- ростью.

Согласно сказанному, скорость, которую сила сообщаетъ тѣлу въ одну секунду, или которую она прибавляетъ къ уже при- обрѣтенной тѣломъ скорости, служить мѣриломъ дѣйствія этой силы. Приращеніе скорости въ одну секунду мы называемъ *ускореніемъ*.

II. На одно и то же тѣло мы дѣйствуемъ нѣсколькими силами различной величины въ продолженіи одного и того же промежутка времени и находимъ, что полученная скорость пропорціональна величинѣ силы. Поэтому и ускореніе пропорціонально величинѣ силы.

III. Мы изслѣдуемъ, наконецъ, тотъ случай, когда одна и та же сила дѣйствуетъ поочередно на различныя тѣла. Эти послѣднія пусть будутъ сначала одинаковы по составу, напримѣръ, желѣзныя, и различны по объему, а слѣдовательно и по количеству содержаемаго вещества.

Допустимъ, что одно тѣло вдвое больше другого. Тогда наблюдается, что ускореніе большаго тѣла равно $\frac{1}{3}$ ускоренія меньшаго. Если количества вещества въ тѣлахъ относятся между собой, какъ 4 и 7, то отношеніе между ускореніями ихъ будетъ равно 7 къ 4.

Вообще величины ускореній, вызываемыхъ опредѣленною силою, обратно пропорціональны количеству вещества или *массѣ*.

Если рѣчь идетъ о большей или меньшей легкости, съ которою приводятся тѣла въ движеніе, то принято называть количество вещества именно словомъ *масса*.

Теперь намъ нужно еще сравнить между собою различныя вещества, исходя изъ положенія, что всѣ тѣла въ одномъ и томъ же мѣстѣ падаютъ одинаково быстро, если только можно не обращать вниманія на сопротивленіе воздуха. Въ этомъ мы легко можемъ убѣдиться, наблюдая движеніе маятника.

Простѣйшій маятникъ состоитъ изъ шарика *C*, привѣшеннаго на нити (рис. 2). Если я подыму шарикъ вверхъ, напр., до точки *B*, и затѣмъ выпущу его, то онъ падаетъ по дугѣ *BC*, подымается по другую сторону на ту же высоту, на какой былъ въ точкѣ *B*, возвращается назадъ и качается далѣе такимъ образомъ въ ту и другую сторону и притомъ такъ, что на движеніе отъ *B* къ *C*, отъ *C* къ *D*, отъ *D* до *C* и т. д. требуется одинъ и тотъ же промежутокъ времени. Оказывается, что два маятника одинаковой длины, но съ шариками изъ различнаго вещества, имѣютъ одинаковый ходъ.

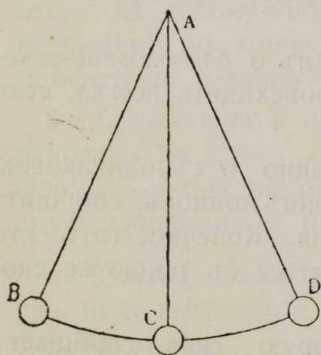


Рис. 2.

Отсюда мы заключаемъ, что различныя тѣла падаютъ по дугѣ *BC* съ одинаковою скоростью, — и вы можете быть твердо убѣждены въ томъ, что тоже самое происходитъ и при

свободномъ паденіи тѣлъ, если только воздухъ не оказываетъ слишкомъ большого сопротивленія.

Предположимъ теперь, что у насъ есть кусокъ желѣза и кусокъ свинца одинаковаго *вѣса*, (въ чемъ мы можемъ убѣдиться на вѣсахъ). Если эти тѣла падаютъ, то они пріобрѣтаютъ одинаковое ускореніе, а то что они одного вѣса и, слѣдовательно, притягиваются землею съ одинаковою силою, показываетъ намъ, что они, благодаря одинаковымъ силамъ, пріобрѣтаютъ одинаковыя ускоренія. Въ такомъ случаѣ и другія, равныя между собою силы, равно какъ и тѣ, которыя я могъ-бы вызвать въ горизонтальномъ направленіи спиральною пружиною, должны сообщать тѣламъ равныя ускоренія. Если я потяну каждое изъ этихъ тѣлъ съ силою, равною одной трети его вѣса, то ускоренія обѣихъ тѣлъ будетъ равна $\frac{1}{3}$ того ускоренія, которое сообщаетъ имъ сила тяжести. Вообще два тѣла равнаго вѣса могутъ быть приводимы въ движеніе одинаково легко, и *это-то* мы и выражаемъ тѣмъ, что приписываемъ имъ равныя массы.

Если я теперь кусокъ желѣза оставлю неизмѣннымъ, а кусокъ свинца замѣню другимъ, вдвое большимъ, то естественно, что прежняя сила сообщить новому куску свинца ускореніе, вдвое меньшее, нежели куску желѣза. Мы въ правѣ поэтому сказать, что этотъ кусокъ свинца имѣетъ *массу*, вдвое большую, нежели желѣзо, и хотя мы теперь сравниваемъ два различныя вещества, опять оказывается, что ускореніе обратно пропорціонально массѣ. Такимъ путемъ мы убѣждаемся въ общей примѣнимости этого закона. На ряду съ этимъ мы узнаемъ, что массы двухъ тѣлъ можно сравнить взвѣшиваніемъ

Вліяніе массы замѣтно при многихъ явленіяхъ. Оно ясно бросается въ глаза, напримѣръ, при колебательныхъ движеніяхъ.

Если бы я могъ прикрѣпить къ шарiku только что описаннаго маятника нѣчто, что не было бы подчинено силѣ тяжести, то, вслѣдствіе увеличенія массы, движеніе отъ *B* къ *C* стало бы медленнѣе, а продолжительность этого движенія, равно какъ и продолжительность цѣлаго колебанія, увеличилась бы отъ этого.

Вещества, не подчиненнаго силѣ тяжести, въ природѣ нѣтъ и потому подобный опытъ не возможенъ; но я могу произвести опытъ, который сводится къ тому же самому. Маятникъ, съ которымъ я произвожу опытъ, состоитъ изъ стержня, вращающагося вокругъ центральной точки и снабженнаго гирею на нижнемъ концѣ.

Маятникъ этотъ имѣетъ опредѣленное время колебаній. Если я теперь по обѣ стороны точки вращенія прикрѣплю двѣ равныхъ

массы, то вы замѣчаете, что время колебанія увеличилось. Вліяніе силы тяжести на верхнюю массу уничтожается вліяніемъ на нижнюю, а замедленіе движенія происходитъ отъ того, что приводится въ движеніе большая масса.

Вамъ извѣстно также, что струны піанино, производящія низкіе звуки, обернуты тонкою металлическою проволокою. Этимъ увеличена масса струны, и уменьшено число колебаній въ секунду, что необходимо для полученія низкаго тона.

Слѣдствіемъ вліянія массы является и то обстоятельство, что при равномъ перевѣсѣ давленія воздухъ медленнѣе вытекаетъ изъ сосуда, нежели свѣтильный газъ. Определенный объемъ послѣдняго имѣетъ меньшую массу, чѣмъ такой же объемъ воздуха, и поэтому приводится тою же силою въ болѣе быстрое движеніе.

Можно привести еще много примѣровъ, кромѣ вышеизложенныхъ, но лучше вернемся къ нашимъ законамъ и, чтобы ими удобнѣе было пользоваться, приведемъ ихъ къ такой краткой формѣ, которую можно выразить математическою формулою. При этомъ намъ нужно будетъ теперь же установить опредѣленные единицы, и я кстати укажу, что выборъ для различныхъ физическихъ величинъ соотвѣтственныхъ единицъ, находящихся въ простой связи другъ съ другомъ и примѣняемыхъ всѣми физиками, оказался въ высшей степени полезнымъ для успѣховъ науки. Поэтому въ 19 столѣтіи установленіе такого рода единицъ въ особенности для величинъ, относящихся къ электрическимъ и магнитнымъ явленіямъ, многократнѣе совѣтовали на международныхъ конгрессахъ и конференціяхъ.

Въ научныхъ изслѣдованіяхъ настоящаго времени употребляють почти исключительно систему сантиметръ-граммъ-секунда (*C. G. S.*). Въ этой системѣ единица длины—сантиметръ; единица времени—секунда; единица массы—граммъ, то есть масса одного кубическаго сантиметра воды при температурѣ 4°C . Единица силы выводится изъ этихъ единицъ. Для этого мы представляемъ себѣ силу, величина которой выбрана такъ, чтобы, дѣйствуя на массу въ одинъ граммъ, она сообщала ей ускореніе, равное единицѣ, то есть сообщала ей въ 1 секунду скорость въ 1 см. въ секунду. Эта сила и будетъ единицею. Мы называемъ ее *диною*.

Формула, которую я имѣю въ виду, получится теперь весьма просто. Мы знаемъ, что сила, равная одной динѣ, дѣйствуя на массу въ одинъ граммъ, сообщаетъ ей единицу ускоренія.

Возьмемъ теперь силу не въ одну дину, а въ K динъ, массу же оставимъ равною одному грамму, тогда ускореніе должно уве-

личиться въ K разъ и можетъ поэтому быть выражено числомъ K . Теперь замѣнимъ массу въ 1 гр. массой въ m граммъ, тогда ускореніе уменьшится въ m разъ. Оно будетъ, слѣдовательно, выражаться числомъ

$$q = \frac{K}{m}$$

или,—словами, — число, выражающеее ускореніе, получается, если мы число, выражающеее силу, раздѣлимъ на число, выражающеее массу. Предыдущую формулу можно, понятно, написать и такимъ образомъ:

$$K = mq,$$

что также легко выразить словами. Эти формулы выписаны мною по той причинѣ, что онѣ даютъ возможность рѣшать простыя задачи безъ лишнихъ словъ. Возьмите вы, напримѣръ, паденіе тѣлъ. Наблюденія показали, что это паденіе, при отсутствіи противодѣйствія воздуха, есть равномѣрно-ускоренное движеніе, причеиъ ускореніе можетъ быть выражено здѣсь въ Лейденѣ по системѣ *C. G. S.*, числомъ 981. Въ другихъ мѣстахъ земли оно можетъ быть нѣсколько больше или меньше.

Примѣнимъ теперь нашу послѣднюю формулу къ падающему тѣлу, масса котораго равна 1 гр., тогда

$$q = 981 \quad m = 1$$

слѣдовательно $K = 981$ динамъ.

Но въ данномъ случаѣ сила, приводящая въ движеніе, есть *вѣсъ* грамма, который равенъ, такимъ образомъ, 981 динамъ, а слѣдовательно, одна дина есть $\frac{1}{981}$ часть вѣса одного грамма, что нѣсколько больше вѣса одного миллиграмма.

Къ сказанному присоединю еще нѣкоторыя замѣчанія.

Изъ того, что паденіе есть равномѣрно-ускоренное движеніе, слѣдуетъ, что во время паденія тѣла сила остается неизмѣнною. Иначе говоря: начинается-ли тѣло падать или оно успѣло уже пройти нѣкоторое разстояніе во время своего паденія, земля все время притягиваетъ*) его съ одинаковой силой. Далѣе, мы легко можемъ вы-

*) Мы не обращаемъ вниманія на то чрезвычайно малое увеличеніе силы тяжести, которое происходитъ при приближеніи тѣла къ землѣ. Вслѣдствіе этого движеніе является не вполнѣ точно равномѣрно-ускореннымъ, но неточность эта ничтожна.

числить, какую скорость тѣло приобретаетъ въ извѣстное время и какое разстояніе оно проходитъ въ это время. Обозначимъ, какъ общепринято, число 981 буквой g .

Въ продолженіи одной секунды скорость паденія увеличивается, слѣдовательно, на g см. въ секунду и такъ какъ она возрастаетъ пропорціонально времени, то, по истеченіи t секундъ отъ начала движенія, она должна достигнуть значенія въ tg см. въ секунду.

Обозначивъ эту скорость по истеченіи t секундъ буквой v , мы получаемъ формулу:

$$v = gt.$$

Количество сантиметровъ, которое тѣло проходитъ въ t секундъ и которое мы обозначимъ буквой h (высота паденія), можетъ быть теперь также легко вычислено. Во время движенія скорость увеличилась съ 0 до v . Можно доказать математически, что при *равномѣрно*-ускоренномъ движеніи тѣло пройдетъ такое разстояніе, какое оно прошло-бы, если-бы въ теченіе всего наблюдаемаго времени имѣло скорость, среднюю между скоростью въ началѣ и скоростью въ концѣ движенія,—иначе говоря, скорость, которая настолько меньше конечной скорости, насколько она больше первоначальной.

Эта средняя скорость въ нашемъ случаѣ равна $\frac{1}{2} v$, а путь, который тѣло при этой скорости пройдетъ въ t секундъ, равенъ $\frac{1}{2} v$. Подставляя вмѣсто v его значеніе, мы получаемъ формулу:

$$h = t \cdot \frac{1}{2} tg = \frac{1}{2} t^2 g.$$

Пусть, напримѣръ, время паденія равно 6 секундамъ, тогда пройденный при паденіи путь:

$$h = \frac{1}{2} 36 \cdot 981.$$

или нѣсколько больше, чѣмъ 17600 см.

Не трудно также вычислить движеніе тѣла, которое было брошено вертикально вверхъ съ извѣстною начальною скоростью. Если при паденіи скорость за каждую секунду увеличивается на количество, обозначенное черезъ g , то теперь она въ каждую секунду на такое же количество уменьшается. Движеніе будетъ *равномѣрно*—*замедленнымъ*. Если первоначальная скорость была v , то для высоты, достигаемой тѣломъ, найдемъ значеніе $\frac{v^2}{2g}$. Скорость, съ которою тѣло падаетъ обратно, равна первоначальной скорости v .

Сила тяжести заслуживаетъ того, чтобы мы нѣсколько подробнѣе ея занялись,—по той причинѣ, что она по истинѣ универсальна. Этой силѣ подчинены всѣ твердыя, жидкія и газообразныя тѣла, окружающія насъ.

На одномъ плечѣ этихъ вѣсовъ привѣшенъ стеклянный шаръ, изъ котораго при помощи воздушнаго насоса выкачанъ весь воздухъ. Вѣсы уравновѣшены съ другой стороны гириями. Открывая кранъ, я впускаю въ шаръ извнѣ воздухъ, и, какъ вы видите, равновѣсіе нарушено. Теперь шаръ сталъ тяжелѣе, и это явленіе убѣждаетъ васъ, что воздухъ притягивается землею, благодаря чему земля и не теряетъ своей атмосферы. Весьма замѣчательно то, что вѣсъ тѣла остается всегда однимъ и тѣмъ же, хотя-бы мы и измѣнили его состояніе.

Нагрѣю ли я нѣкоторое количество воды, заморожу ли его или обращу въ паръ, все это не окажетъ ни малѣйшаго вліянія на величину силы, съ которою это количество воды притягивается землей. Если я растворю кусокъ мѣди въ азотной кислотѣ и получу жидкость зеленого цвѣта, то вы можете быть увѣрены, что общій вѣсъ азотной кислоты и мѣди до опыта равенъ суммѣ вѣса зеленой жидкости и газа, который выдѣлился въ видѣ пузырьковъ. Въ этомъ заключается тотъ важный законъ неизмѣняемости вѣса, который болѣе 100 лѣтъ тому назадъ былъ высказанъ Лавуазье и подтвержденъ точнѣйшими взвѣшиваніями.

Явленія, подобныя вышеприведеннымъ, заставляютъ призадуматься. Потребность нашего духа заставляетъ въ разнообразной смѣнѣ явленій, происходящей вокругъ насъ, искать нѣчто постоянное и неизмѣнное. Этой потребности обязаны своимъ происхожденіемъ *молекулярная и атомистическая теоріи*.

Уже древніе философы высказали ихъ, а новѣйшее естествознаніе доказало, какъ онѣ плодотворны. Согласно имъ всѣ ощущаемыя нами тѣла, лишь кажущимся образомъ заполняютъ сплошь нѣкоторую часть пространства, а въ дѣйствительности состоятъ изъ большого числа отдѣльныхъ частицъ, крайне малыхъ и вслѣдствіе этого невидимыхъ.

Эти частицы находятся другъ отъ друга то на большихъ, то на меньшихъ разстояніяхъ, то прочно связаны, тѣмъ или инымъ способомъ, между собою, то снова обладаютъ большею свободою движенія другъ относительно друга, но, располагаясь вслѣдствіе этого самымъ различнымъ образомъ, неизмѣнно сохраняютъ свои свойства. Съ этой точки зрѣнія, мы и во льдѣ, и въ водѣ, и въ парѣ будемъ видѣть всегда систему такихъ маленькихъ частицъ, но при плавленіи

и, еще больше, при испареніи будемъ считать разрушающимися связи, связывавшія частицы во льдѣ. И, хотя въ нашей зеленой жидкости очевидно нельзя замѣтить ни одного изъ свойствъ твердой мѣди, но тѣмъ не менѣе мы утверждаемъ, что жидкость содержитъ въ себѣ частицы, которыя прежде составляли кусокъ металла, а теперь извѣстнымъ образомъ соединились съ маленькими тѣльцами, образующими азотную кислоту.

Не будемъ останавливаться на томъ, когда эти частицы слѣдуетъ называть атомами и когда—молекулами. Я хотѣлъ бы только указать на то, что неизмѣняемость вѣса станетъ вполне понятна, если мы каждой малѣйшей частицѣ припишемъ нѣкоторый собственный неизмѣнный вѣсъ. Мы вѣдь находимъ совершенно естественнымъ, что общій вѣсъ нѣкотораго количества различныхъ шариковъ, находящихся въ одной коробкѣ, не измѣняется, какъ бы мы ни встряхивали ихъ и какое бы имъ положеніе ни придавали.

Мельчайшія частицы, допускаемая атомистической теоріей, суть частицы различныхъ химически-простыхъ тѣлъ, или элементовъ, изъ которыхъ построены всѣ извѣстныя намъ тѣла.

Мы не можемъ превращать одинъ элементъ въ другой — на примѣръ, мѣдь или другой неблагородный металлъ въ золото, о чемъ мечтали алхимики.

Однако, тотъ фактъ, что всѣ тѣла падаютъ одинаково быстро показываетъ, что нѣтъ полного и рѣзкаго различія между атомами различныхъ элементовъ; наоборотъ, они скорѣе обнаруживаютъ извѣстное сходство, которое тѣмъ не менѣе до сихъ поръ не поддавалось нашему изслѣдованію.

Но оставимъ на время силу тяжести. Выведенныя выше формулы примѣнимы и ко всѣмъ другимъ силамъ. Я оцѣниваю силу притяженія желѣзнаго шара (рис. 1) полюсами этого магнита на разстояніи въ 10 см. въ 35 динъ. Масса шара равна 150 гр. Отсюда мы можемъ вывести, что притяженіе магнита можетъ сообщить въ 1 сек. шару, — предполагая, что разстояніе остается неизмѣннымъ—скорость, равную $\frac{35}{150} = \frac{7}{30}$ см. въ секунду. Такого рода вычисленіе можетъ быть произведено и во всѣхъ другихъ случаяхъ.

Въ законахъ дѣйствія силъ есть еще кое-что, заслуживающее выясненія. Скорость, которая сообщается данному тѣлу опредѣленною силою, зависитъ еще отъ времени, въ теченіе котораго дѣйствуетъ

сила. Если я на одно мгновение приближу полюсъ магнита къ желѣзному шарикѣ, находящемуся на концѣ стержня CD (рис. 1), то шарикъ слегка подвинется. Чтобы придать стержню замѣтное перемѣщеніе, я долженъ предоставить силѣ дѣйствовать нѣкоторое время.

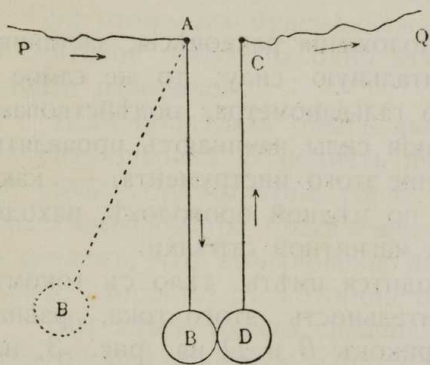


Рис. 3.

Отсюда вытекаетъ, что изъ наблюдаемаго дѣйствія силы, если все остальное извѣстно, можно опредѣлить время ея дѣйствія. Чтобы дать вамъ примѣръ такого опредѣленія, я подвѣсилъ здѣсь (рис. 3) на металлическихъ проволокахъ, укрѣпленныхъ въ точкахъ A и C , два мѣдныхъ шарика B и D . Если, напримѣръ, одинъ шарикъ я подыму до B' и затѣмъ дамъ ему падать по направленію къ другому, то, какъ вы видите, послѣдній при-

водится въ движеніе, между тѣмъ, какъ B приходитъ почти въ состояніе покоя. Теперь спрашивается, какъ долго продолжается при этомъ *ударъ* соприкосновеніе этихъ двухъ тѣлъ.

Въ точкахъ A и C подвѣшивающія проволоки соединены съ мѣдными проволоками P и Q , которыя ведутъ къ гальваническому элементу, то есть къ аппарату, посредствомъ котораго можно пропустить электрическій токъ въ металлическія проволоки. Токъ получается только при соприкосновеніи шаровъ и идетъ тогда по направленію стрѣлки, переходя въ точкѣ касанія съ одного шарика въ другой. Явленіе прекращается, какъ только шарики разъединены.

Чтобы сдѣлать токъ замѣтнѣе, на стѣнной полочкѣ помѣщается гальванометръ. Въ послѣднемъ висить на весьма тонкой нити маленькій магнитный стерженекъ, прикрѣпленный такимъ же образомъ какъ и CD въ фиг. I и какъ этотъ большой магнитный стержень привѣшенъ здѣсь на проволоку.

Вы видите на этомъ большомъ магнитѣ,—и наблюдали всѣ на компасной стрѣлкѣ,—какъ магнитъ принимаетъ опредѣленное положеніе равновѣсія, и какъ, будучи приведенъ въ движеніе онъ колеблется по одну и по другую сторону этого положенія. Ясно, что эти колебанія могутъ быть сравниваемы съ колебаніями маятника, но силы, приводяшія эти тѣла въ положеніе равновѣсія, совершенно различны. На маятникъ вліяетъ сила тяжести, а на магнитный стержень силы, которыя дѣйствуютъ на его полюсы и о которыхъ мы

можемъ составить извѣстное представленіе, если будемъ разсматривать землю какъ большой магнитъ. Если бы я пожелалъ ближе означить васъ съ природою этихъ силъ, то это завело бы насъ слишкомъ далеко, да это и не нужно намъ. Сравненія съ маятникомъ вполне достаточно для нашей цѣли.

Я могу вывести маятникъ изъ положенія равновѣсія, заставивъ дѣйствовать на его шарикъ горизонтальную силу; то же самое я могу сдѣлать съ магнитною стрѣлкою гальванометра, подѣйствовавъ на полюсы надлежащими силами. Такія силы начинаютъ проявляться — и на этомъ основано употребленіе этого инструмента, — какъ только электрическій токъ пройдетъ по мѣдной проволоцѣ, находящейся въ аппаратѣ вблизи маленькой магнитной стрѣлки.

Въ нашемъ опытѣ намъ приходится имѣть дѣло съ токомъ, весьма кратковременнымъ. Продолжительность этого тока, равная продолжительности прикосновенія шариковъ B и D на рис. 3, настолько мала, что магнитникъ не можетъ въ теченіе этого времени замѣтно отклониться изъ положенія равновѣсія.

Мы можемъ сказать, что токъ *миновенно* сообщаетъ стрѣлкѣ, находившейся въ этомъ положеніи, нѣкоторую скорость и что съ этою скоростью отбрасывается она затѣмъ на извѣстный уголъ — подобно тому, какъ маятникъ, находящійся въ покоѣ, если мы ему сообщимъ толчокъ, отбрасывается затѣмъ на одно мгновеніе на опредѣленный уголъ.

Отсюда слѣдуетъ что скорость, сообщенная магниту силами, возбуждаемыми электрическимъ токомъ, будетъ тѣмъ меньше, чѣмъ короче время дѣйствія этихъ силъ. Наравнѣ со скоростью уменьшается и уголъ отклоненія стрѣлки. Такимъ образомъ вамъ должно быть ясно, что мы въ этомъ углѣ имѣемъ нѣкоторую мѣру времени, въ теченіе котораго шарики B и D на рисун. 3, соприкасаются другъ съ другомъ.

Чтобы сдѣлать движеніе магнитной стрѣлки въ гальванометрѣ замѣтнѣй, мы пользуемся средствомъ, примѣняемымъ во многихъ подобныхъ случаяхъ. На магнитной стрѣлкѣ укрѣплено маленькое зеркальце, на которое мы направляемъ пучокъ свѣтовыхъ лучей отъ этой лампы. Зеркальце отражаетъ ихъ на экранъ, давая свѣтовое пятно зайчика, который передвигается въ горизонтальномъ направленіи, какъ только магнитъ съ зеркальцемъ начинаетъ поворачиваться. Мѣсто, на которомъ вы теперь видите пятно, соотвѣтствуетъ положенію равновѣсія стрѣлки. Когда же я къ гальванометру приближаю перочинный ножъ и этимъ привожу стрѣлку въ движеніе, то вы видите, какъ

теперь это свѣтовое пятно колеблется туда и назадъ.

Подождемъ, пока оно опять придетъ въ состояніе покоя, и произведемъ тогда опытъ, состоящій въ томъ, что мы шарикъ *B* подымаемъ вверхъ и затѣмъ выпускаемъ его по направленію къ *D*, заботясь, чтобы послѣ толчка шарики не прикоснулись другъ къ другу. При этомъ мы будемъ каждый разъ обращать вниманіе, насколько свѣтовое пятно на одно мгновеніе отклонилось отъ положенія полного равновѣсія.

Если продѣлать опытъ дважды, съ тою разницею, что въ первый разъ шарикъ *B* поднять на незначительную высоту, а во второй разъ—гораздо выше, то мы найдемъ, что во второй разъ отклоненіе гальванометра будетъ меньше, нежели въ первый. Отсюда мы заключаемъ, что столкновеніе двухъ шариковъ тѣмъ короче, чѣмъ больше скорость, съ которою одинъ ударяется о другой.

Мы здѣсь только сравнили два паденія; но мы могли бы вывести отсюда и самую продолжительность толчка въ каждомъ отдѣльномъ опытѣ, если бы, во первыхъ, измѣрили всѣ относящіяся сюда данныя опыта, а, во-вторыхъ, если бы могли примѣнить больше механики и математическихъ вычисленій, чѣмъ мы имѣемъ теперь въ своемъ распоряженіи.

Результатъ, который мы получили бы, произведя эти вычисленія, можетъ быть выведенъ чисто теоретическимъ путемъ, если известна высота, съ которой падаетъ внизъ шарикъ *B*, величина шарика и свойства металла, изъ котораго онъ сдѣланъ. Одинъ изъ величайшихъ физиковъ, Генрихъ Герцъ, далъ намъ эту возможность сдѣлать такія вычисленія однимъ удивительнымъ своимъ изслѣдованіемъ. Изъ данной имъ формулы мы находимъ, что, когда я поднималъ шарикъ *B* на высоту 12 см., то соприкосновеніе длилось 0.0002 секунды.

Изъ этого числа мы можемъ вывести еще одинъ замѣчательный результатъ. Шарикъ *B*, падая съ вышеупомянутой высоты, приобрѣлъ скорость въ 150 см. въ секунду и передалъ ее почти неизмѣненною шарiku *D* благодаря тому, что дѣйствовалъ на этотъ послѣдній съ нѣкоторою силою. Какъ же велика была эта сила? Она дѣйствовала въ продолженіе 0.0002 секунды и успѣла сообщить въ это время шарiku *D* скорость въ 150 см.

Если бы она дѣйствовала цѣлую секунду, то скорость шарика достигла бы 750,000 см. въ секунду. Такъ какъ масса шарика равна 800 гр., то сила равна 800,750,000 или 600,000,000 динамъ, что почти соотвѣтствуетъ вѣсу въ 600 килогр.

Однако, не надо истолковывать это такъ, что сила отъ начала до конца соприкосновенія остается неизмѣнною. То обстоятельство, что одно тѣло давить на другое, зависитъ отъ того, что они сплющиваются въ точкѣ соприкосновенія и затѣмъ стремятся вновь принять свою первоначальную форму. Этого сплющиванія въ моментъ начала соприкосновенія тѣлъ, конечно, еще нѣтъ. Оно постепенно нарастаетъ, а исчезаетъ лишь въ послѣдній моментъ соударенія. Поэтому и сила сперва увеличивается, а затѣмъ уменьшается, и вышеприведенное число представляетъ собою лишь среднее значеніе этой силы. Отсюда ясно, что она въ моментъ наибольшаго сплющиванія была еще больше. Въ это мгновеніе шарики были такъ сплющены, какъ были бы они, если бы ихъ прижать другъ къ другу этою гораздо большею, чѣмъ 600 кгр., силою.

Въ заключеніе первой части нашего обзора я хочу вамъ указать на большое значеніе тѣхъ сопротивленій, которыя противодействуютъ движенію, и на которыя мы не обращали вниманія при нашихъ мысленныхъ опытахъ. Вслѣдствіе тренія, какъ между твердыми тѣлами, скользящими или катящимися одно по другому, такъ и между двумя скользящими другъ по другу слоями жидкости или газа, движеніе можетъ рано или поздно прекратиться. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ сопротивленіе препятствуетъ даже возникновенію движенія,—напр., когда тѣло лежитъ на шероховатой, наклонной плоскости.

Едва-ли мнѣ нужно вамъ описывать, насколько міръ измѣнилъ бы свою фізіономію, если не существовало бы никакихъ сопротивленій, если бы мы всегда должны были двигаться по зеркально-гладкимъ поверхностямъ, если бы ничто не могло лежать на столѣ (потому что онъ никогда не бываетъ вполнѣ горизонтальнымъ), если бы никакой вихрь не могъ никогда прекратиться, и если бы въ каждой комнатѣ господствовало нестерпимое эхо, потому что разъ вызванныя звуковыя колебанія, непрерывно отражаясь отъ стѣнъ, никогда не прекращались бы.

Вслѣдствіе тренія тѣло только въ томъ случаѣ можетъ двигаться прямолинейно и съ постоянною скоростью, если на него непрерывно дѣйствуетъ сила въ направленіи движенія. Мы настолько привыкли къ этому изъ повседневнаго наблюденія, что для насъ составляетъ нѣкоторый трудъ представить себѣ тѣ условія, которыя предполагаются при формулировкѣ законовъ движенія.

Припомните, напр., еще разъ тѣ сани, съ которыхъ мы начали свое изслѣдованіе. Сперва мы сообщаемъ санямъ ускоренное движе-

ніе. Когда же движеніе достигаетъ извѣстной скорости, то сопротивленіе, вызываемое шероховатостью поверхности, становится равнымъ той силѣ, съ которою мы дѣйствуемъ. Тогда мы имѣемъ на лицо двѣ равныя силы, имѣющія противоположное направленіе и взаимно уничтожающіяся. Въ результатѣ оказывается, какъ будто бы никакая сила не дѣйствовала, и получающееся явленіе при болѣе точномъ разсмотрѣніи представляется въ полномъ соотвѣтствіи съ основнымъ закономъ механики, по которому, при отсутствіи силы, разъ приобрѣтенная скорость сохраняется неизмѣнною.

II.

Криволинейныя движенія.

Сегодняшнюю лекцію мы посвятимъ разсмотрѣнію криволинейныхъ движеній.

Здѣсь намъ придется имѣть дѣло съ явленіями, по существу дѣла болѣе запутанными, чѣмъ при движеніяхъ прямолинейныхъ, которыми мы были преимущественно заняты въ прошлый разъ. И въ этихъ движеніяхъ скорость можетъ или оставаться неизмѣнною, или уменьшаться, или увеличиваться, направленіе же движенія измѣняется непрерывно.

Поэтому къ извѣстнымъ уже намъ законамъ движенія, мы должны будемъ присоединить еще одинъ законъ, дающій понятіе о той зависимости, какая существуетъ между измѣненіемъ направленія и дѣйствующею на тѣло силою.

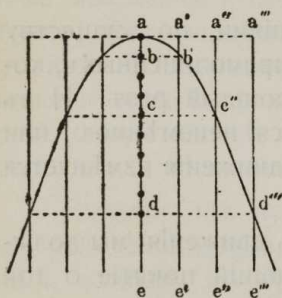
Этотъ законъ мы выведемъ изъ одного простаго явленія, которое мы всѣ весьма часто наблюдали. Мы бросаемъ мячъ вертикально вверхъ и ловимъ его рукой. При нѣкоторомъ упражненіи можно сдѣлать это и во время равномѣрнаго бѣга. Вы подбрасываете мячъ вверхъ тѣмъ же самымъ движеніемъ руки, какъ дѣлали это, стоя на мѣстѣ, и ловите его спустя нѣкоторое время, хотя успѣли уже пробѣжать нѣкоторое разстояніе. Мячъ во время полета вверхъ и внизъ подвинулся въ горизонтальномъ направленіи ровно настолько же, какъ и вы сами, и для этого вамъ ничего особеннаго не пришлось сдѣлать.

Вмѣсто того, чтобы самимъ бѣжать впередъ, мы можемъ себѣ представить равномѣрно движущійся корабль. Вообразите себѣ, что мы сидимъ въ каютѣ съ закрытыми окнами, такъ что не замѣчаемъ

нашего движенія. Мы не замѣтимъ его и по движенію мяча: мы можемъ продѣлывать съ нимъ то же самое, какъ и въ томъ случаѣ, когда корабль стоитъ. Даже если бы мы точно изучали его движеніе по вертикальной линіи отъ пола до потолка каюты, наблюдали бы проходимое имъ разстояніе въ небольшіе послѣдовательные промежутки времени и отсюда выводили бы, какъ отъ одного мгновенія до другого измѣняется скорость, то и тогда мы бы не замѣтили ни малѣйшаго вліянія движенія корабля на все это. Между тѣмъ эта вертикальная линія принимаетъ участіе въ движеніи корабля, и поэтому мы приходимъ къ слѣдующему заключенію: тѣло можетъ подниматься и падать по вертикальной линіи, передвигающейся въ горизонтальномъ направленіи съ постоянною скоростью,—точно такъ же, какъ и по линіи неподвижной. Простой чертежъ покажетъ намъ, какъ въ такомъ случаѣ происходитъ дѣйствительное движеніе тѣла.

Сперва обратимъ вниманіе на паденіе. Пусть будетъ на рис. 4

Рис. 4.



ae вертикальная линія въ томъ положеніи, въ которомъ она находится, когда въ точкѣ a начинается паденіе.

Если бы линія находилась въ покоѣ, то тѣло проходило бы въ послѣдующія секунды или въ нѣкоторые другіе равные промежутки времени все большія и большія разстоянія— ab , bc , cd , и т. д. При этомъ, согласно одной изъ предыдущихъ формулъ, было бы:

$$ac = 4 ab; ad = 9 ab \text{ и т. д.}$$

Пусть теперь эта вертикальная линія передвигается. Въ такомъ случаѣ она въ тѣ моменты, которые мы разсматриваемъ, приметъ положенія $a'e'$, $a''e''$, $a'''e'''$ и т. д., и, такъ какъ движеніе ея равномерно, то горизонтальные отрѣзки aa' , $a'a''$, $a'a'''$ и т. д., будутъ равны между собою.

Тѣмъ не менѣе тѣло приближается къ землѣ такъ же быстро, какъ будто горизонтальнаго движенія не существовало. По прошествіи перваго промежутка времени тѣло достигло высоты b , но уже на линіи $a'e'$, и, слѣдовательно, будетъ въ точкѣ b' , которую мы получаемъ, проведя горизонтальную линію bb' . Точно также мы находимъ, что къ концу втораго промежутка времени оно подходитъ къ точкѣ c'' , послѣ третьяго—къ d''' и т. д.

Проведя теперь черезъ точки a , b' , c'' , d''' , и черезъ другія точки, лежащія между ними и полученныя аналогичнымъ образомъ, кривую линію, мы получимъ *путь тѣла*.

Такимъ же способомъ мы можемъ найти путь, описываемый тѣломъ при подъемѣ.

Вы видите этотъ путь влѣво отъ ae и эта часть линіи, при-
мыкающая въ горизонтальномъ направленіи къ линіи $ab'c'd'''$, легко получается, если перевернуть эту послѣднюю линію вокругъ ae .

Вся линія называется *параболой*, и тѣло можетъ пробѣжать бѣольшую или меньшую часть такой параболы, смотря по обстоятельствамъ.

Допустимъ, что наблюдатель, стоящій неподвижно, слѣдитъ за мячомъ, который подбрасываетъ и ловитъ другое лицо, бѣгущее, или находящееся на кораблѣ. Онъ увидитъ, что мячъ описываетъ именно такой путь. Такое же параболическое движеніе имѣетъ камень, если мы его, *стоя на мѣстѣ*, бросимъ вверхъ въ *косомъ направленіи*. Это же движеніе вамъ хорошо знакомо по виду струи бьющаго ключа. Всѣ капли другъ за другомъ прокладываютъ себѣ именно такой путь.

Если струя не бьетъ вверхъ, а течетъ изъ отверстія въ горизонтальномъ направленіи, то, понятно, намъ приходится наблюдать только половину $ab'c'd'''$ этой кривой линіи.

Какъ же обстоитъ дѣло со скоростью при параболическомъ движеніи? По изслѣдованіи оказывается, что она уменьшается во время поднятія до точки a и вновь увеличивается при паденіи. Первое, какъ вы догадываетесь, соотвѣтствуетъ замедленію при поднятіи по вертикальной линіи, а второе—ускоренію при паденіи.

Когда тѣло находится въ самой верхней точкѣ кривой, то мы не можемъ сказать, что скорость уменьшается или увеличивается. Одно мгновеніе скорость здѣсь остается постоянною. Въ этой точкѣ мячъ имѣетъ только ту скорость, съ какою движется прямая вертикальная линія; направленіе его движенія—горизонтальное и поэтому перпендикулярное къ направленію силы тяжести.

Изъ этого мы заключаемъ, что сила, перпендикулярная къ направленію движенія тѣла, не увеличиваетъ и не уменьшаетъ его скорости. Слѣдствіемъ ея дѣйствія является лишь *искривленіе* пути.

Сила тяжести производитъ только то, что мячъ отъ точки a не продолжаетъ свой путь въ горизонтальномъ направленіи по ли-

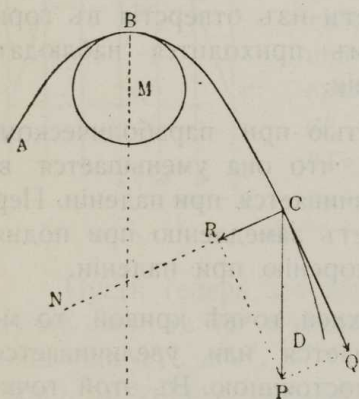
нии $aa'a''a'''$ съ прежнею скоростью, а уклоняется отъ этого направления. Это измѣненіе направленія тѣмъ замѣтнѣе, чѣмъ больше сила. Если бы мы могли увеличить силу тяжести, то парабола, описанная изъ точки a , еще болѣе уклонилась бы отъ прямой линіи, была бы еще болѣе искривлена въ точкѣ a , чѣмъ прежняя.

Если извѣстны величина скорости и сила, дѣйствующая на тѣло перпендикулярно къ ней, то можно вычислить кривизну пути. Чтобы пояснить формулу, необходимую для этого вычисленія, я долженъ предпослать вамъ одно геометрическое опредѣленіе.

Весьма малый отрѣзокъ каждой кривой можно разсматривать приблизительно, какъ дугу круга; ошибка при этомъ тѣмъ меньше, чѣмъ меньше взять отрѣзокъ. Кругъ, къ которому принадлежитъ этотъ отрѣзокъ, называется *кругомъ кривизны* нашей линіи въ разсматриваемой точкѣ, а радіусъ его называется *радіусомъ кривизны линіи*. Длина этого радіуса можетъ намъ служить мѣрою для кривизны, и при томъ въ томъ смыслѣ, что кривизна, отклоненіе отъ прямой линіи, тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе длина радіуса кривизны.

Чтобы пояснить это, я изобразилъ на рис. 5 кругъ кривизны въ

Рис. 5.



вершинѣ B параболы; M —его центръ. Этотъ кругъ наиболѣе близко подходитъ къ параболѣ, нежели всякій другой, проходящій черезъ точку B . У круговъ кривизны во всѣхъ другихъ точкахъ параболы радіусы больше MB ; напр., у круга, соприкасающагося съ параболою въ точкѣ C , центръ находится на продолженіи линіи CN , приблизительно на разстояніи 13 см. отъ точки C .

Если скорость, которую имѣетъ тѣло въ вершинѣ параболы, равна v см. въ секунду, масса тѣла равна m гр. и сила притяженія его землею равна K динамъ, то радіусъ кривизны r въ вершинѣ даетъ формула:

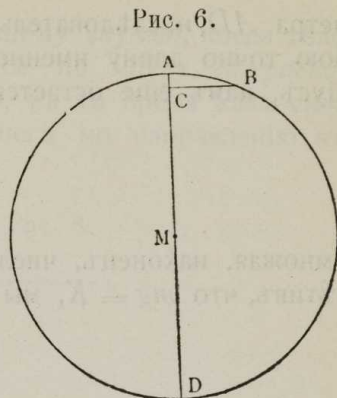
$$r = \frac{m \cdot v^2}{K}.$$

Такъ какъ мы будемъ примѣнять эту формулу во многихъ важныхъ случаяхъ, то стоитъ потрудиться, чтобъ доказать это уравненіе. Для этого отдадимъ себѣ отчетъ въ томъ, что K есть та самая

сила, которая сообщает тѣлу при свободномъ паденіи ускореніе въ g (981) см. въ секунду, и что, слѣдовательно, согласно нашей основной формулѣ (см. стр. 11),

$$K = mg.$$

Затѣмъ рассмотримъ рис. 6, въ которомъ AB представляетъ весьма малую часть параболы, идущую вправо отъ вершины A , и на которомъ вы видите кругъ кривизны съ центромъ M ; AB —часть этого круга. Расстояние AM , слѣдовательно, равно r см.



Опустимъ изъ точки B перпендикуляръ на вертикальный діаметръ AD этого круга.

Припомнимъ сказанное относительно рис. 4., мы видимъ, что отръзокъ AC можетъ быть разсматриваемъ, какъ расстояние, на которое падаетъ тѣло въ то время, какъ прямая линия, по которой происходитъ паденіе, перемѣщается въ горизонтальномъ направленіи на отръзокъ BC .

Пусть время, необходимое для прохожденія дуги AB , будетъ t секундъ,—это t будетъ весьма малая дробь,—тогда получается, что $CB = tv$, а по одной изъ предыдущихъ формулъ $AC = \frac{1}{2}t^2g$.

Примѣнимъ теперь одно геометрическое предложеніе. Длина линіи CD получается, если число, выражающее длину BC , возвести въ квадратъ, и результатъ раздѣлить на число, выражающее длину AC . Возведя tv въ квадратъ, получимъ t^2v^2 , а раздѣливъ t^2v^2 на $\frac{1}{2}t^2g$, мы получимъ послѣ нѣкотораго упрощенія:

$$\frac{t^2v^2}{\frac{1}{2}t^2g} = \frac{v^2}{\frac{1}{2}g} = \frac{2v^2}{g}.$$

Эта формула будетъ выражать длину CD , но не вполне точно. Дуга AB параболы не вполне совпадаетъ съ окружностью, какъ мы предположили; для уменьшенія ошибки нужно все болѣе и болѣе уменьшать длину дуги и, слѣд., все болѣе и болѣе приближать точку B къ A . При этомъ и точка C все болѣе и болѣе приближается къ точкѣ A .

Такимъ образомъ найденный результатъ для значенія CD становится тѣмъ точнѣе, чѣмъ меньше эта линія отличается отъ діа-

метра AD , и, слѣдовательно, этотъ результатъ долженъ выражать собою точно длину именно *этой послѣдней линіи*. Чтобы найти радіусъ, намъ еще остается раздѣлить на 2,—и тогда получается:

$$r = \frac{v^2}{g}.$$

Умножая, наконецъ, числителя и знаменателя этой дроби на m и замѣтивъ, что $mg = K$, мы приходимъ къ выше приведенной формулѣ:

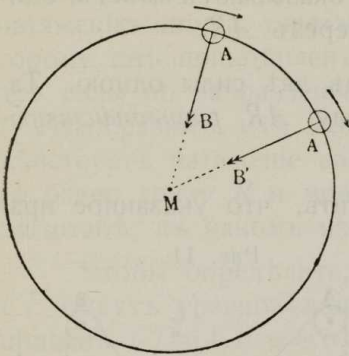
$$r = \frac{m v^2}{K}.$$

Отсюда мы видимъ, что r , какъ уже было сказано, уменьшается, а, слѣдовательно, кривизна увеличивается съ увеличеніемъ силы K . Если же сила K остается тою же, то кривизна уменьшается съ увеличеніемъ скорости. На быстро движущееся тѣло сила, дѣйствующая перпендикулярно къ направленію движенія, оказываетъ меньшее вліяніе въ смыслѣ перемѣны его направленія, нежели на тѣло съ малою скоростью. Сравните движеніе пули съ движеніемъ мяча или движеніе двухъ струй воды, которыя вытекаютъ изъ одного сосуда въ горизонтальномъ направленіи съ различною скоростью.

Мы пришли къ этой формулѣ, рассматривая тотъ особенный случай, когда дѣйствующею силою была сила тяжести, и когда тѣло находилось какъ разъ въ вершинѣ параболы. Но полученный результатъ пригоденъ во всѣхъ случаяхъ. Всякій разъ, когда какая нибудь сила дѣйствуетъ на движущееся тѣло перпендикулярно къ направленію его движенія, величина его скорости не измѣняется, но путь искривляется и притомъ такъ, что радіусъ кривизны можно опредѣлить по этой формулѣ.

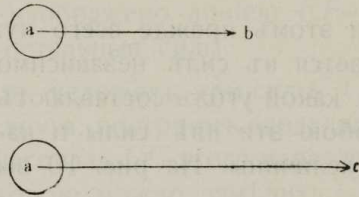
Если сила дѣйствуетъ перпендикулярно къ направленію движенія не только въ *одной* точкѣ, какъ при параболѣ, а постоянно, то скорость остается неизмѣнною все время. При этомъ можетъ случиться, что сила съ теченіемъ времени измѣняетъ свою величину. Тогда и кривизна пути будетъ измѣняться въ каждый моментъ, а путь будетъ имѣть иногда весьма запутанный видъ. Если же сила, дѣйствующая перпендикулярно къ направленію движенія, остается неизмѣнною, тогда r не должно мѣнять своей величины. Такое движеніе въ одной плоскости возможно только въ томъ случаѣ, если путь представляетъ собою окружность. Такимъ образомъ мы подхо-

Рис. 7.



димъ къ тому важному случаю, когда тѣло A (рис. 7) движется по кругу съ *равномерною скоростью*, въ то время какъ сила K дѣйствуетъ на него по направленію къ центру.

Рис. 8.

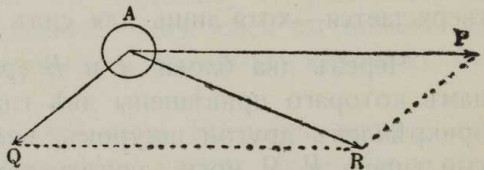


Этимъ движеніемъ по кругу мы, главнымъ образомъ, и займемся сегодня. Однако, мы здѣсь на минуту перервемъ нить нашихъ размышленій, чтобы потолковать объ одномъ пунктѣ изъ ученія о силахъ, который будетъ намъ въ дальнѣйшемъ очень полезенъ.

Часто происходитъ, что на тѣло дѣйствуетъ не одна, а одновременно двѣ и болѣе силъ, которыя, предположимъ, имѣютъ различныя направленія. Чтобы въ такомъ случаѣ получить ясное представленіе о силахъ, мы пользуемся геометрическими чертежами, въ которыхъ направленіе и величина силъ изображаются направленіемъ и величиною прямыхъ линій.

На рис. 8 стрѣлка ac вдвое больше стрѣлки ab ; это должно обозначать, что въ первомъ случаѣ дѣйствуетъ сила, вдвое большая, чѣмъ во второмъ. Если установлено, какой длины должна быть линія, изображающая силу въ 1 дину, то для изображенія силъ въ 3, 10, 100 динъ и т. д. должны служить линіи въ 3, 10, или 100 разъ большія.

Рис. 9



Средствомъ, которымъ мы пользуемся для опредѣленія совмѣстнаго дѣйствія двухъ силъ, служитъ теорема о *параллелограммѣ силъ*. Положимъ, что двѣ силы, дѣйствующія на тѣло A (рис. 9), изображены линіями AP и AQ ; въ такомъ случаѣ построимъ на этихъ линіяхъ, какъ на сторонахъ, параллелограммъ, проведя QR параллельно AP , и PR параллельно AQ . Линія, которая соединяетъ точку A съ вершиною противолежащаго угла, то есть діагональ параллелограмма

AR , представляет по своему направленію и по своей величинѣ опредѣленную силу, и дѣйствіе, которое AP и AQ оказываютъ вмѣстѣ, одинаково съ дѣйствіемъ силы, обозначенной черезъ AR .

Такимъ обрааомъ, мы можемъ замѣнить двѣ силы одною. Такую замѣну мы называемъ *сложеніемъ*, а силу AR *равнодѣйствующею* двухъ силъ AP и AQ .

При этомъ прежде всего нужно замѣтить, что указанное правило остается въ силѣ независимо отъ того, какой уголъ составляютъ между собою эти двѣ силы и какой онѣ величины. На рис. 10 вы

Рис. 10.

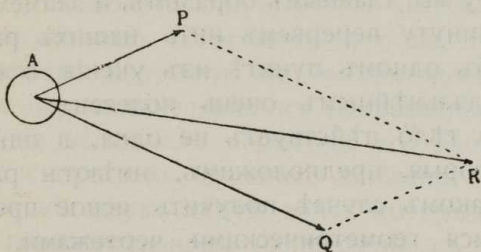
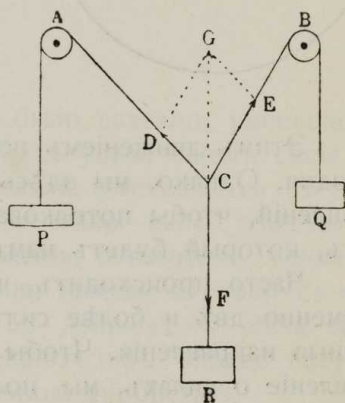


Рис. 11.



видите параллелограммъ силъ другой формы, нежели предыдущій, и такихъ параллелограммовъ вы можете и сами нарисовать сколько угодно. Если вы, напримѣръ, возьмете двѣ силы одинаковой величины, но одна изъ нихъ будетъ очень мало отклонена отъ продолженія другой, то найдете, что онѣ почти вполнѣ уничтожаютъ другъ друга; онѣ даютъ нѣкоторую небольшую равнодѣйствующую, которая почти перпендикулярна къ направленію самихъ силъ.

Это положеніе получено опытнымъ путемъ, и поэтому я имѣю право показать вамъ одинъ опытъ, посредствомъ котораго оно подтверждается—хотя лишь для силъ опредѣленной категоріи.

Черезъ два блока A и B (рис. 11) перекинуть шнуръ, къ концамъ котораго привѣшены двѣ гири P и Q , а въ точкѣ C къ нему прикрѣпленъ другой шнурокъ, висящій вертикально внизъ и натянутый гирею R . Я могу двигать точку C , какъ вы видите, вправо и влево, но, если предоставлю я этотъ приборъ самому себѣ, то точка C и шнуры принимаютъ опредѣленное положеніе. Въ такомъ случаѣ мы получаемъ *равновѣсіе*—и при помощи параллелограмма силъ мы можемъ найти, какія условія должны быть выполнены при этомъ.

Дѣйствительно, если одинъ конецъ шнура, перекинутого черезъ блокъ, натянуть опредѣленною силою, то другой конецъ, благодаря натяженію шнура, тянетъ съ такою же силою тотъ предметъ, къ которому онъ прикрѣпленъ. На точку C дѣйствуютъ такимъ образомъ двѣ силы по направленіямъ CA и CB , равныя вѣсамъ грузовъ P и Q . Изобразимъ ихъ линіями CD и CE . Кромѣ того, на точку C дѣйствуетъ натяженіе висящаго снизу шнурка. Натяженіе послѣдняго равно грузу R и можетъ быть изображено линіею CF —въ томъ масштабѣ, въ какомъ изображены остальные силы.

Чтобы опредѣлить, при какихъ условіяхъ три силы, CD , CE , и CF , будутъ уравновѣшивать другъ друга, построимъ параллелограммъ, принявъ CD и CE за его стороны. Діагональ CG этого параллелограмма представляетъ именно ту силу, которою можно замѣнить CD и CE .

Эта сила должна, слѣдовательно, также уравновѣшивать CF , что, очевидно, возможно только въ томъ случаѣ, если она одной величины съ CF , но направлена въ діаметрально-противоположную отъ нея сторону, то есть, если она направлена вертикально вверхъ. Нашъ приборъ, въ которомъ на дощечкѣ подъ шнурками изображенъ этотъ чертежъ, показываетъ вамъ, что это дѣйствительно такъ, и этимъ доказывается теорема о параллелограммѣ силъ.

Этою теоремою можно пользоваться не только для замѣны двухъ силъ одною, но и для разложенія одной силы на двѣ другихъ, что часто бываетъ цѣлесообразно при разсмотрѣніи ихъ дѣйствія. Допустимъ, напримѣръ, что намъ дана (на рис. 9) сила AR . Направленія AP и AQ мы можемъ выбрать произвольно, но такъ, чтобы AR лежала между ними, и затѣмъ провести RQ параллельно PA и RP параллельно QA и такимъ образомъ построить параллелограммъ, діагональю котораго будетъ AR . Стороны этой фигуры, AP и AQ , представляютъ силы, которыя совмѣстно могутъ замѣнить AR . То, что мы теперь сдѣлали, называется *разложеніемъ* силы, и силы AP и AQ называются *слагающими* AR . Понятно, что разложить силу можно самымъ различнымъ образомъ, такъ какъ вы можете начертить сколько угодно параллелограммовъ, діагональю которыхъ будетъ AR .

Вотъ еще примѣненіе разложенія силъ. Если оба шнура, которые (на рис. 11) наклонно поднимаются кверху, были бы не перекинуты черезъ блоки, а укрѣплены за верхніе концы, то мы могли бы опредѣлить, съ какою силою натягиваются они грузомъ R , ибо ихъ совмѣстное натяженіе должно было бы поддерживать этотъ грузъ. Поэтому они должны дать равнодѣйствующую, направленную вер-

тикально вверхъ и равную CF . Пусть эта сила будетъ CF . Если мы при помощи параллелограмма разложимъ CG на CD и CE , то получимъ натяженія обоихъ шнурковъ.

Быть можетъ, будетъ яснѣе, если начать съ того, что вѣсь CF разложить на двѣ силы, изъ которыхъ одна дѣйствуетъ по продолженію AC , а другая—по продолженію BC . Одна изъ этихъ слагающихъ натягиваетъ шнуръ AC , а другая— BC .

Поучительно начертить подобный чертежъ также для того случая, когда точка C выбрана нѣсколько выше, между тѣмъ какъ точки A и B остаются на прежнихъ мѣстахъ. Тогда окажется, что натяженіе шнурковъ, направленныхъ къ A и B , больше R ; если же точка C находится лишь немного ниже линіи AB (на этой линіи точка C никогда не можетъ находиться), то натяженіе шнуровъ будетъ значительно больше R . Каждый знаетъ, какъ сильно нужно натянуть горизонтальный канатъ для того, чтобы привѣшенный по срединѣ его грузъ не сильно провисалъ.

Если къ срединѣ шнурка никакой грузъ не привѣшенъ, то вѣсь самого шнурка препятствуетъ тому, чтобы онъ былъ натянутъ по прямой линіи, такъ что въ этомъ случаѣ натяженіе шнурка должно быть тѣмъ больше, чѣмъ прямѣе его желательно натянуть. Теорія этого случая нѣсколько затруднительнѣе, но основана на тѣхъ же принципахъ. Если, напр., телеграфная или телефонная проволока укрѣплена на двухъ столбахъ, удаленныхъ другъ отъ друга на 100 метровъ и если по срединѣ она провисла на 0.5 м. (такое провисаніе вы можете замѣтить, проѣзжая по желѣзной дорогѣ), тогда натяженіе на концахъ, то есть та сила, съ которою проволока тянетъ столбы, въ 25 разъ болѣе вѣса самой проволоки. Если въ зимній день проволока покрывается толстымъ слоемъ льда (изморозь), то къ указанному натяженію прибавляется еще въ 25 разъ большій вѣсъ, зависящій отъ вѣса льда, и вамъ хорошо извѣстны примѣры, когда проволока подъ этимъ грузомъ разрывалась.

Я попрошу васъ теперь вернуться къ рис. 5 и обратить ваше вниманіе на тотъ моментъ, когда тѣло, описывающее параболу, находится въ точкѣ C . Пусть CP изображаетъ силу тяжести. Эту послѣднюю мы разлагаемъ на силу CQ по направленію движенія, и на силу CR , перпендикулярную къ нему. Вліяніе силы тяжести на движеніе мы можемъ описать, сказавъ, что сила CQ увеличиваетъ скорость (причемъ это увеличеніе зависитъ отъ величины этой составляющей и отъ массы тѣла), а что искривленіе пути происходитъ за

счетъ силы CR . Радиусъ кривизны опредѣляется по формулѣ (на стр. 24), если подставить вмѣсто K величину силы CR и вмѣсто v —скорость, которую тѣло имѣетъ въ точкѣ C .

Я опасуюсь, что при всѣхъ этихъ разъясненіяхъ, я слишкомъ злоупотреблялъ вашимъ терпѣніемъ, но зато мы изучили всѣ принципы, на основаніи которыхъ математикъ вычисляетъ,—а въ затруднительныхъ случаяхъ, по крайней мѣрѣ, пытается вычислить,—движеніе тѣла подъ вліяніемъ данныхъ силъ. Сила можетъ быть всегда разложена на двѣ слагающихъ, изъ которыхъ одна совпадаетъ съ направленіемъ пути, а другая перпендикулярна къ нему, причемъ первая всегда опредѣляетъ измѣненіе скорости, а вторая — измѣненіе направленія движенія.

Какъ далеко заходятъ въ такихъ вычисленіяхъ, мы сейчасъ увидимъ, а пока выберемъ себѣ болѣе простой случай.

Мы уже видѣли, что тѣло можетъ описывать (рис. 7) кругъ, если дѣйствующая на него сила направлена къ центру. Такая сила дѣйствительно необходима, и она должна имѣть вполне опредѣленную величину, которую мы можемъ вывести изъ первой формулы на стр. 24.

Умноживъ на K , мы получаемъ:

$$Kr = mv^2,$$

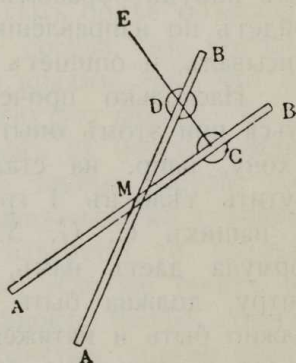
а слѣдовательно

$$K = \frac{mv^2}{r}.$$

Столькимъ динамъ должна быть равна сила, если m изображаетъ массу въ граммахъ, r —радиусъ въ сантиметрахъ и v —скорость въ сантиметрахъ въ секунду.

Если бы сила, дѣйствующая по направленію къ центру, отсутствовала, то тѣло двигалось бы по прямой линіи, касательной къ кругу. Если бы сила была меньше вышеуказанной, то путь во всякомъ случаѣ уклонился бы отъ прямой линіи, но меньше, чѣмъ уклоняется наша окружность. Тѣло въ такомъ случаѣ удалилось бы нѣсколько далѣе отъ центра. Если же, напротивъ, сила была бы больше, чѣмъ требуется для движенія по кругу, то путь тѣла оказался бы внутри круга.

Рис. 12.



Теперь мы сможемъ понять рядъ явленій, наблюдаемыхъ при вра-

щательныхъ движеніяхъ. Здѣсь, напр., у меня есть пруть AB (рис. 12), который можно быстро вращать въ горизонтальной плоскости вокругъ его середины M . По пруту можетъ двигаться шарикъ C съ отверстіемъ.

Обратите теперъ вниманіе на то, что шарикъ вслѣдствіе вращенія удаляется отъ центра и устремляется къ концу B этого прута. Это легко объяснить.

Въ этомъ явленіи мы можемъ видѣть подтвержденіе закона, что, тѣло, разъ оно приобрѣло скорость, движется впередъ по прямой линіи, если нѣтъ силы, препятствующей этому. Если пруть приведенъ въ движеніе въ то время, какъ шарикъ находится въ C , то послѣдній, принимая участіе во вращеніи, приобретаетъ скорость по направленію CE . По этой линіи шарикъ движется впередъ и, при положеніи прута A_1B_1 , достигаетъ точки D . Легко видѣть, что разстояніе шарика отъ центра увеличилось.

Представьте себѣ, что шарикъ прикрѣпленъ шнуркомъ къ центру M прута AB . Тогда бы онъ снова началъ удаляться отъ M , но очень скоро долженъ былъ бы остановиться. Шнурокъ растянулся бы и вслѣдствіе своей упругости сталъ бы дѣйствовать на шарикъ съ нѣкоторою силою по направленію къ M . Эта сила будетъ увеличиваться наравнѣ съ растяженіемъ, пока не достигнетъ величины, выражаемой нашею формулою. Послѣ этого она окажется вполне достаточною, чтобы заставить тѣло двигаться по кругу. Тогда тѣло не будетъ болѣе удаляться отъ центра, а шнурокъ не будетъ далѣе растягиваться.

Точно такъ же, какъ въ этомъ примѣрѣ, будетъ натянутъ шнурокъ и въ томъ случаѣ, когда мы одинъ конецъ его держимъ въ рукѣ, а къ другому прикрѣпимъ шарикъ и станемъ вращать его въ вертикальной плоскости извѣстнымъ движеніемъ руки. Если мы какимъ нибудь образомъ выпустимъ шарикъ, какъ изъ пращи, то онъ пойдетъ по направленію касательной того круга, который онъ ранѣе описывалъ, и опишетъ подъ вліяніемъ тяжести параболу.

Насколько проченъ долженъ быть шнурокъ, чтобы не порваться при этомъ опытѣ, мы можемъ вычислить по той же формулѣ. Я хочу, напр. на стальной проволоцѣ въ одинъ метръ длиною, крутить тѣло въ 1 гр. со скоростью 10 метр. въ секунду. Тогда въ нашихъ $C. G. S.$ единицахъ $m=1000$; $v=1000$; $r=100$,—и формула даетъ намъ, что сила, дѣйствующая по направленію къ центру, должна быть равна 10,000,000 динамъ. Такъ же велико должно быть и натяженіе проволоки. Допустимъ, что стальная проволока въ 1 кв. мм. въ сѣченіи можетъ выдержать грузъ максимумъ въ 80 кгр., что соотвѣтствуетъ силѣ приблизительно въ 80,000,000

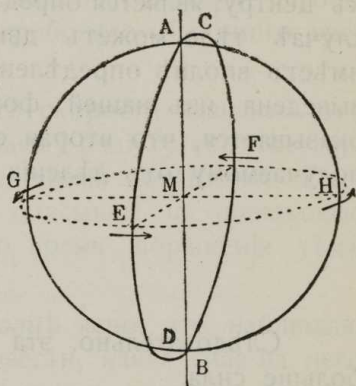
динъ. Въ такомъ случаѣ оказывается, что минимумъ поперечнаго сѣченія нашей проволоки долженъ равняться $\frac{1}{8}$ кв. мм.,—иначе она разорвется.

Также точно можно вычислить быстроту вращенія, необходимую для разрыва проволоки опредѣленной толщины, а также и быстроту движенія, при которой маховое колесо разлетится въ куски. Послѣднее вычисленіе только нѣсколько труднѣе.

При помощи аппарата, которымъ мы только что пользовались, я могу вамъ показать два другихъ примѣра того же явленія, то есть, что все тѣло или его части удаляются отъ оси вслѣдствіе приобретенной скорости.

На вертикально вращающейся оси AB я укрѣплю два металлическихъ обруча $CGDH$ и $CEDF$ (рис. 13) и начинаю ихъ вращать. Части G , E , H и F получаютъ скорости, которыя обозначены стрѣлками, я вслѣдствіе этого удаляются отъ оси. Обручи удлиняются въ горизонтальномъ направленіи, пока сила сопротивленія металла не помѣшаетъ дальнѣйшему ихъ растяженію.

Рис. 13.



Растяженіе сопровождается укорачиваніемъ вертикальнаго діаметра, и вы видите явленіе, которымъ иногда пользуются для объясненія приплюснутости земли. Безъ сомнѣнія сплющиваніе произошло отъ вращенія земли вокругъ оси въ то время, когда она не была еще тверда, но только силы, помѣшавшія дальнѣйшему растяженію земли у экватора, зависѣли отъ другихъ причинъ.

Едва ли мнѣ нужно вамъ показывать, а тѣмъ болѣе объяснять, какъ вращеніе вокругъ оси цилиндрическаго сосуда, въ который налита вода, вызываетъ поднятіе жидкости по краямъ, такъ что поверхность послѣдней принимаетъ красиво изогнутую форму. То же самое произойдетъ съ воздухомъ, заключеннымъ въ наглухо закрытомъ цилиндрическомъ сосудѣ. При вращеніи такого сосуда, воздухъ вблизи оси будетъ разрѣжаться и направляться къ стѣнкамъ цилиндра. Если въ этихъ стѣнкахъ имѣются отверстія, то воздухъ будетъ выходить въ окружающее пространство; если же такихъ отверстій нѣтъ, то онъ будетъ сгущаться у стѣнокъ. Чтобы обнаружить разрѣженіе въ центральной части пространства, можно соединить его съ верхнимъ концомъ вертикальной трубочки, нижній ко-

нецъ которой находится въ сосудѣ съ водой. При вращеніи прибора жидкость устремляется вверхъ по трубкѣ.

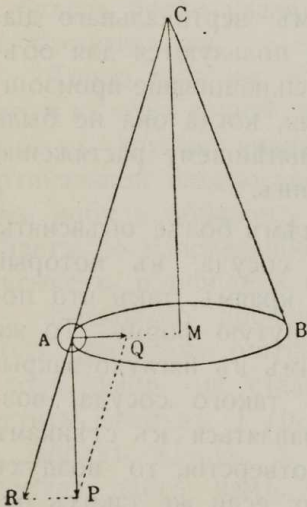
До сихъ поръ мы придавали разсматриваемымъ тѣламъ опредѣленную скорость вращенія. Вслѣдствіе этого шнурокъ, напр., получалъ нѣкоторое натяженіе, которое имѣетъ величину, требуемую нашею формулою. Такимъ образомъ, сила опредѣлялась скоростью движенія.

Но можетъ, однако, случиться, что сила, притягивающая тѣло къ центру, является опредѣленною обстоятельствами опыта. Въ этомъ случаѣ тѣло можетъ двигаться по кругу только тогда, когда оно имѣетъ вполне опредѣленную скорость. Эта скорость можетъ быть выведена изъ нашей формулы. Изъ перваго равенства на стр. 29 оказывается, что вторая степень скорости должна быть равна числу, получаемому отъ дѣленія Kr на m . что выражается уравненіемъ:

$$v = \sqrt{\frac{Kr}{m}}$$

Слѣдовательно, эта скорость должна быть тѣмъ больше, чѣмъ больше сила.

Рис. 14.



Для выясненія сказаннаго можетъ служить маятникъ, которымъ мы уже пользовались въ прошлый разъ. Мы снова поднимаемъ шарикъ A (рис. 14) на извѣстную высоту, но, выпуская его, мы ему сообщимъ нѣкоторую скорость въ направленіи, перпендикулярномъ къ плоскости качанія. Если сообщенная скорость велика, то шарикъ описываетъ путь, имѣющій форму удлиненаго эллипсиса, и при этомъ удаляется отъ положенія равновѣсія еще дальше, чѣмъ отстоитъ отъ него точка A . При сообщеніи же малой скорости, форма пути остается тою же, но тѣло подходит къ положенію равновѣсія ближе точки A . Наконецъ, сообщая шарiku требуемую скорость, я могу достигнуть того, что онъ будетъ двигаться по кругу, центромъ котораго будетъ точка M .

Намъ не придется искать ту силу, которая тянетъ тѣло къ центру и безъ которой невозможно движеніе по кругу. Она возникаетъ изъ земного притяженія, и величина ея получается при помощи

простого чертежа. Съ помощью представленнаго на чертежѣ параллелограмма разлагаемъ вѣсъ шарика AP на слагающую AR по продолженію шнура и на слагающую AQ , направленную къ точкѣ M . Первая слагающая натягиваетъ шнуръ и не оказываетъ никакого вліянія на движеніе. Вторая слагающая заставляетъ тѣло двигаться по кругу, и если въ послѣдней формулѣ вмѣсто k подставимъ ея величину, то найдемъ скорость, которую мы должны были бы сообщить тѣлу для того, чтобы оно двигалось по кругу.

Производить вычисленія мы не будемъ,—не потому, чтобы оно было трудно, а потому что оно потребовало бы много времени.

Величина получающейся въ результатѣ скорости зависитъ отъ того, какой радіусъ я придамъ кругу. Каждому радіусу соответствуетъ опредѣленная скорость и опредѣленное время обращенія. Если я заставлю два близко висѣщихъ маятника описывать не одинаковые по величинѣ круги, то вы замѣтите, что время обращенія тѣмъ меньше, чѣмъ болѣе радіусъ я выбралъ.

Изъ предыдущаго вамъ, надѣюсь, вполне ясно, что, наблюдая, какое движеніе имѣетъ тѣло, мы можемъ вывести, какая сила на него дѣйствуетъ. Самый замѣчательный примѣръ такого вычисленія дали намъ астрономы, которые, наблюдая движенія небесныхъ тѣлъ, вычислили силы, которымъ они подвержены. То обстоятельство, что путь многихъ небесныхъ тѣлъ приближается къ кругу, даетъ намъ возможность познакомиться съ изслѣдованіями въ этой области и съ чрезвычайно скромными математическими средствами достигнуть результатовъ, чрезвычайно важныхъ для нашего познанія природы.

Начнемъ съ ближайшаго къ намъ небеснаго тѣла, луны. Она описываетъ кругообразный путь вокругъ земли и поэтому должна находиться подъ вліяніемъ силы, направленной къ землѣ. Никто не будетъ сомнѣваться въ томъ, что эту силу нужно приписать вліянію земли. Поэтому мы ее можемъ со спокойнымъ сердцемъ назвать притяженіемъ земли.

Но тутъ возникаетъ важный вопросъ. Мы уже знаемъ, что всѣ тѣла на поверхности земли притягиваются нашею планетою и при томъ въ вертикальномъ направленіи, то есть къ центру земли. Того же ли рода это притяженіе съ тѣмъ, которое дѣйствуетъ на луну или нѣтъ? Можно ли, напр., его приписать такимъ же измѣненіямъ состоянія той среды, которая окружаетъ землю, или это—нѣчто, совершенно иное?

На первый взглядъ можно было бы подумать, что эти вопросы нельзя разрѣшить, пока мы не познакоимся, съ одной стороны, съ механизмомъ паденія камня, притягиваемаго землею, а съ другой — съ тѣмъ, какимъ образомъ вліяетъ земля на луну, — а отъ этого мы еще къ сожалѣнію очень далеки. Однако, при ближайшемъ изученіи, мы находимъ средство рѣшить этотъ вопросъ. Дѣйствіе земли, приписываемое нѣкоторой основной, вполне опредѣленной причинѣ, должно съ удаленіемъ отъ земли убывать по тому или иному строго опредѣленному правилу. Если силы, дѣйствующія на луну и на падающій камень, — одного рода, тогда мы должны ожидать, что между силами и разстояніями отъ центра земли существуетъ зависимость, можетъ быть, даже очень простая. Если же эти силы совершенно различнаго происхожденія, то мы не можемъ разсчитывать на существованіе такой зависимости и если бы даже она имѣла мѣсто, то мы бы не могли ее уловить. Допытываясь, существуетъ ли вышеупомянутая связь, мы провѣряемъ такимъ образомъ гипотезу о средствѣ силъ.

Для этого мы должны вычислить величину силы, вліяющей на луну, при помощи формулы

$$K = \frac{m v^2}{r}.$$

Разстояніе луны отъ центра земли (то есть радіусъ ея пути) въ 60.3 раза больше радіуса земли, а послѣдній мы знаемъ, такъ какъ извѣстно, что окружность земли равна 40 милліонамъ метрамъ. Отсюда мы находимъ: $r = 384.10^8$ см. ¹⁾.

Далѣе наблюденіе показываетъ, что луна пробѣгаетъ свой путь въ 27.3 сутокъ. Такъ какъ по радіусу мы можемъ вычислить окружность круга, то, зная время обращенія, мы можемъ опредѣлить скорость движенія. Результатъ таковъ: $v = 102,300$ см. въ секунду.

Мы еще не знаемъ массы m луны, но наша гипотеза содержитъ въ себѣ предположеніе, что земля на одинъ граммъ массы луны оказываетъ такую же силу, какой подчиняется каждый граммъ и на земной поверхности.

Поэтому мы вычисляемъ не ту силу, которая дѣйствуетъ на всю луну, а только ту, которая дѣйствуетъ на *одинъ* граммъ этого небеснаго тѣла, и сравниваемъ ее съ силою, дѣйствующею на *одинъ* граммъ, находящійся на земной поверхности.

¹⁾ Это число обозначаетъ величину, въ которой послѣ цифръ 384 слѣдуетъ 8 нулей.

Предполагая теперь, что $m=1$ и принимая за v и r данныя выше числа, мы найдемъ, что сила, дѣйствующая на каждый граммъ массы луны, равна 0.272 динамъ, т. е. въ 3610 разъ меньше той силы, которая дѣйствуетъ на одинъ граммъ на земной поверхности и которая равна 981 динъ. Отношеніе же разстояній этихъ тѣлъ отъ центра земли равно 60.3. Если я это число возведу въ квадратъ, то получу $60.3 \cdot 60.3 = 3640$. Это число почти равняется тому, которое мы только что нашли, для отношенія между притяженіями.

Намъ остается только допустить, что разница происходитъ отъ обстоятельствъ, которыхъ мы не принимаемъ во вниманіе при вычисленіи. Справедливость этого предложенія я еще докажу, и тогда мы можемъ считать подтвердившеюся гипотезу объ однородности этихъ двухъ силъ, такъ какъ мы нашли весьма простую зависимость. Вмѣстѣ съ тѣмъ мы приходимъ къ заключенію, что притяженіе земли обратно пропорціонально квадрату разстоянія тѣла отъ центра ея. Такъ какъ мы нашли, что, при разстояніи въ 60 разъ бѣльшемъ притяженіе въ 60^2 разъ меньше, то слѣдуетъ ожидать, что, если разстояніе въ a разъ больше, то притяженіе будетъ въ a^2 разъ слабѣе.

Этими разсужденіями мы сдѣлали первый шагъ къ знаменитому, основанному Ньютономъ, ученію о всеобщемъ тяготѣніи. О дальнѣйшемъ развитіи его теоріи и о томъ тщательномъ сравненіи ея со старыми и новыми наблюденіями, которое производилось въ теченіе болѣе, чѣмъ двухъ столѣтій, я разскажу вамъ лишь вкратцѣ. Для этого я въ нѣсколькихъ словахъ обращаю ваше вниманіе на то, что такъ же точно, какъ мы сравнивали движеніе луны съ паденіемъ тѣла, мы можемъ сравнивать между собою и движеніе двухъ или болѣе,—какъ напр., у Юпитера,—спутниковъ. И эта задача, имѣющая нѣкоторое сходство съ вышеразобраннмъ вопросомъ о томъ, какъ должна измѣняться скорость движенія маятника, чтобы онъ описывалъ то большую, то малую окружности,—опять таки можетъ быть разрѣшена при помощи нашихъ формулъ.

Если сила, какъ училъ Ньютонъ, обратно пропорціональна квадрату разстоянія, то оказывается, что наиболѣе отдаленный спутникъ долженъ обладать наименьшею скоростью, а именно: квадратъ скорости долженъ быть обратно пропорціоналенъ радіусу его орбиты.

Движеніе спутниковъ Юпитера вполне согласуется въ дѣйствительности съ этимъ закономъ, и это служитъ доказательствомъ того, что и притяженіе Юпитеромъ ближайшихъ къ нему тѣлъ слѣдуетъ закону Ньютона. Подтвержденіемъ въ еще бѣльшемъ масштабѣ служитъ движеніе планетъ вокругъ солнца. Скорости земли и Юпите-

ра, напр., относятся между собою, какъ $2:28:1$, а разстоянія ихъ отъ солнца относятся какъ $1:5:20$. Между тѣмъ $5:20 = 2:28 \times 2:28$ —и, слѣд., оказывается, что законъ Ньютона касательно зависимости притяженія отъ разстоянія примѣнимъ также и къ дѣйствіямъ, оказываемымъ солнцемъ.

Если бы я не долженъ былъ въ изложеніи придерживаться тѣсныхъ рамокъ, то я долженъ былъ бы поразсказать вамъ объ истинномъ видѣ планетныхъ орбитъ.

Не удивительно, что послѣднія болѣе или менѣе уклоняются отъ круга. На извѣстномъ разстояніи отъ солнца можетъ быть только одна опредѣленная скорость, при которой тѣло описываетъ кругъ, а каждое отклоненіе отъ этой скорости должно дать другую орбиту. Когда я желаю заставить маятникъ описывать окружность, я легко могу сообщить ему болѣе или меньшую скорость, чѣмъ слѣдуетъ, и получаю тогда вмѣсто кругообразнаго движенія орбиту, тѣмъ болѣе похожую на эллипсисъ, чѣмъ меньше маятникъ удаленъ отъ положенія равновѣсія.

Такъ же точно планета, притягиваемая солнцемъ съ силою обратно пропорціальною квадрату разстоянія, описываетъ эллипсисъ, какъ только ея скорость уклонится отъ той, которая требуется для движенія по кругу. Разница между движеніемъ маятника и движеніемъ планетъ вокругъ солнца—та, что у маятника положеніе равновѣсія находятся въ центрѣ эллипсиса, солнце же находится не въ центрѣ орбиты, а въ нѣкоторомъ отдаленіи отъ него. Изъ принциповъ механики можно вывести, какъ обстоитъ дѣло въ этомъ случаѣ, и узнать, какимъ образомъ измѣняется съ теченіемъ времени скорость при эллиптическомъ движеніи. Всѣ эти частности подтверждаются наблюденіемъ, или вѣрнѣе, Кеплеръ вывелъ ихъ изъ наблюденія еще прежде, чѣмъ Ньютонъ далъ ключъ къ ихъ объясненію.

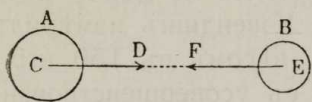
Въ своей наиболѣе общей формѣ законъ Ньютона представляетъ великое обобщеніе. Согласно ему *каждыя двѣ частицы* массы притягиваютъ другъ друга силою, обратно пропорціальною квадрату разстоянія. Законъ этотъ не ограничивается уже притяженіемъ, исходящимъ изъ небеснаго тѣла, какъ одного цѣлаго, но проникаетъ гораздо глубже и разсматриваетъ это притяженіе, какъ равнодѣйствующую безчисленнаго множества силъ, производимыхъ отдѣльными частицами тѣла. Этотъ законъ ставитъ математикѣ задачу: опредѣлить равнодѣйствующую всѣхъ этихъ элементарныхъ дѣйствій.

Отвѣтъ гласитъ, что равнодѣйствующая притяженій всѣхъ частицъ шара, масса котораго равномерно распредѣлена по его объему, направлена къ его центру и обратно пропорціональна квадрату разстоянія отъ этой точки. Этимъ оправдывается то, что мы, при разсмотрѣніи движенія камня и луны, производили всѣ вычисленія надъ разстояніями ихъ отъ центра земли.

Законъ Ньютона идетъ еще въ другомъ отношеніи далѣе тѣхъ соображеній, которыя я вамъ сообщилъ. Онъ утверждаетъ, что оба тѣла притягиваютъ другъ друга. Дѣйствительно, у двухъ тѣлъ никогда не наблюдается односторонняго, но всегда двустороннее дѣйствіе, проявляющееся на обоихъ тѣлахъ. Если одно тѣло оказываетъ на другое какимъ бы то ни было образомъ нѣкоторое дѣйствіе опредѣленнаго направленія и опредѣленной величины, то оно, въ свою очередь, испытываетъ со стороны второго дѣйствіе той же величины, но обратнаго направленія. Это правило не имѣетъ исключеній.

Гири, лежащая на столѣ, давитъ на него внизъ, но со стороны дерева, которое при этомъ нѣсколько деформируется, испытываетъ, въ свою очередь, такой же величины давленіе вверхъ. Два сталкивающиеся шарика, разсмотрѣнные выше, давятъ *другъ на друга*, а кусокъ желѣза притягиваетъ магнитный полюсъ въ такой же мѣрѣ, въ какой самъ притягивается имъ.

Представимъ себѣ, что сила, съ которою тѣло *A* притягиваетъ тѣло *B*, изображена стрѣлкою *EF* (рис. 15) тогда мы должны были бы дѣйствіе *B* на *A* изобразить стрѣлкою *CD* такой же величины.



Если этотъ чертежъ изображаетъ всеобщее тяготѣніе или силу тяжести, то съ удвоеніемъ массы *B* удваивается и сила *EF*, какъ намъ уже извѣстно изъ наблюденія надъ падающими тѣлами и какъ это подтверждено наблюденіями надъ тѣлами небесными. Равенство нашихъ двухъ силъ требуетъ и удвоенія *CD*. Увеличимъ теперь массу *A*, положимъ, въ 3 раза, тогда каждая сила увеличится тоже въ 3 раза и станетъ, слѣдъ, въ 6 разъ больше первоначальной. Такимъ образомъ, мы находимъ, что взаимное притяженіе тѣлъ пропорціонально, какъ массѣ одного тѣла, такъ и массѣ другого,—другими словами, пропорціонально произведенію чиселъ, выражающихъ эти двѣ массы.

Это мнѣ нужно было прибавить, чтобы выяснитъ вамъ открытіе Ньютона въ его полномъ объемѣ и познакомитъ васъ съ тѣмъ оружіемъ, при помощи котораго астрономы, какъ извѣстно, достигли блестящихъ успѣховъ въ своихъ изслѣдованіяхъ движенія небесныхъ тѣлъ. Я зашелъ бы слишкомъ далеко, если бы захотѣлъ утверждать, что они разгадали всѣ загадки. Такъ въ движеніи планеты Меркурія остались еще нѣкоторыя отступленія отъ теоріи, которыя пока не удалось объяснить. Разницу же между числами 3610 и 3640, которою мы пренебрегли при нашемъ разсмотрѣніи, оказалось возможнымъ вполне удовлетворительно объяснить, принявъ во вниманіе истинное движеніе луны и точную форму земли. Придерживаясь этой теоріи, оказалось также возможнымъ съ все возрастающею точностью вычислять величину тѣхъ небольшихъ отступленій отъ эллиптическаго движенія, которыя происходятъ вслѣдствіе взаимнаго притяженія *всѣхъ* тѣлъ солнечной системы.

Такимъ образомъ, теоретическая астрономія стала самымъ блестящимъ образцомъ отрасли знанія, которая умѣетъ *предсказывать* явленія, и въ справедливости закона всеобщаго тяготѣнія мы настолько убѣждены, что никому даже въ мысль не приходитъ, что солнечное затмѣніе—напр., то, къ наблюденію котораго въ Нидерландской Индіи готовятся теперь здѣшніе ученые,—можетъ наступить минутою раньше или позже.

Вамъ понятно, что должно было явиться желаніе подтвердить непосредственными наблюденіями то утвержденіе закона тяготѣнія, въ силу котораго взаимно притягиваются какія угодно тѣла, наприкладъ, два куска металла. Это удалось осуществить на дѣлѣ, хотя наблюдаемыя силы крайне слабы. Уже давно Кэвендишъ измѣрилъ притяженіе, производимое свинцовымъ шаромъ, вѣсомъ въ 150 кгр., а различные физики повторили этотъ опытъ съ усовершенствованными средствами нашего времени. Я упомяну только объ изслѣдованіи, произведенномъ *Бойсомъ* между 1892 и 1895 г. Къ маленькому и легкому горизонтальному стерженьку, подвѣшенному на тонкой кварцовой нити, прикрѣплены по концамъ два золотыхъ шарика, грамма въ два каждый, какъ это наглядно изображено на рис. 1. На нѣкоторомъ разстояніи отъ этихъ шариковъ находились свинцовые шары, килограммовъ по семь, которые были такъ установлены, чтобы вліяніе ихъ притяженія на положеніе золотыхъ шариковъ было возможно больше. И дѣйствительно эти условія дали возможность силѣ притяженія измѣнить положеніе стерженька на ничтожную, но все-таки еще хорошо измѣримую величину. Мнѣ, ко-

нечно, не нужно вамъ готорить, сколько таланта и терпѣнія необходимо было для этихъ наблюдений, которыя дѣлались невозможными при малѣйшемъ колебаніи почвы или при слабѣйшемъ движеніи воздуха около стерженька.

Этотъ опытъ далъ слѣдующіе результаты: два шарика въ 1 гр., центры которыхъ находятся на разстояніи 1 см., притягиваются другъ къ другу силою въ $\frac{6 \cdot 66}{10^8}$ дины.

Зная это, можно вычислить при помощи закона Ньютона притяженіе между двумя массами данной величины, находящимися на данномъ разстояніи другъ отъ друга. Точно также, если даны сила притяженія, величина одной изъ массъ и взаимное ихъ разстояніе, можно вывести величину другой массы. Такъ, можно опредѣлить, какую массу должна имѣть земля, чтобы притягивать къ своей поверхности одинъ граммъ силою въ 981 дину. Если произвести это вычисленіе и принять во вниманіе объемъ земли, то мы найдемъ, что масса ея въ 5·53 раза больше массы того же объема воды.

III.

Колебательныя движенія. Свѣтовые лучи.

Два органа чувствъ, которые чаще и лучше другихъ даютъ намъ представленіе объ окружающемъ насъ мірѣ—органъ слуха и органъ зрѣнія,—получаютъ впечатлѣнія вслѣдствіе того, что они воспринимаютъ быстрыя колебательныя движенія, приходящія къ нимъ извнѣ. Поэтому ученіе о колебаніяхъ важно для каждого, кто хочетъ дать себѣ отчетъ въ томъ, какимъ образомъ мы ощущаемъ, и въ тѣхъ выводахъ, которые мы можемъ извлекать изъ нашихъ ощущеній. Для физика же это ученіе важно по обилію явленій, по изяществу законовъ и по единству въ существѣ вещей, которыя оно намъ обнаруживаетъ.

Приступая теперь къ этому отдѣлу физики, хотя бы большею частью въ видѣ бѣлаго его обзора, мы тотчасъ же оставляемъ явленія видимыхъ движеній и вступаемъ въ область, гдѣ нами должны будутъ руководить сила воображенія и теорія.

Но этотъ переходъ можно все-таки совершить постепенно. Мы уже говорили о качаніи маятника и колебаніи магнитной стрѣлки и

замѣтили между ними аналогію. Въ обоихъ случаяхъ есть положеніе равновѣсія и есть сила, которая возвращаетъ тѣло въ это положеніе, какъ только тѣло выходитъ изъ него. Этою силою въ первомъ случаѣ является сила тяжести, а во второмъ—магнитная сила; но ясно, что колебанія могли бы такъ же хорошо происходить, если бы сила была совершенно другого рода. Во всѣхъ случаяхъ, когда тѣло (или его часть, или цѣлая система тѣлъ) находится въ такихъ условіяхъ, что только при одномъ положеніи оно можетъ находиться въ равновѣсіи, и когда оно, будучи выведено изъ этого положенія, является подчиненнымъ дѣйствию силы, которая стремится возвратитъ его въ это положеніе, и которую мы, для краткости, назовемъ *возвращающею силою*,—во всѣхъ такихъ случаяхъ можетъ происходить движеніе туда и назадъ, или колебательное движеніе.

Отклонимъ, напримѣръ, такое тѣло на извѣстное разстояніе отъ положенія равновѣсія и предоставимъ его самому себѣ. Мы увидимъ, что оно возвращается въ положеніе равновѣсія и при томъ ускореннымъ движеніемъ, такъ какъ возвращающая сила дѣйствуетъ по направленію движенія. Положенія равновѣсія достигаетъ оно поэтому съ извѣстною скоростью и не можетъ сразу остановиться. Оно проходитъ черезъ положеніе равновѣсія и тогда сейчасъ же подпадаетъ подъ вліяніе силы, противодѣйствующей движенію.

Вслѣдствіе этого движеніе замедляется, совершенно прекращается, становится обратнымъ, такъ что тѣло снова проходитъ черезъ положеніе равновѣсія, удаляется отъ него, затѣмъ опять возвращается и т. д. Вы очень легко можете уловить суть этого явленія движенія и тотчасъ увидите, что для болѣе глубокаго его изученія должно прежде всего обратить вниманіе на *время* или *продолжительность колебанія*. Такъ мы называемъ время, необходимое для полного колебанія, то есть для прохожденія пути въ ту и въ другую сторону.

Если намъ нужно вычислить это время, называемое еще *періодомъ*, то надо знать—и это является общимъ весьма важнымъ правиломъ—величину возвращающей силы и величину массы тѣла. Мы уже раньше видѣли, что прибавленіемъ массы, неподчиненной силѣ тяжести, можно сдѣлать колебанія болѣе медленными. Такое же вліяніе оказываетъ увеличеніе массы, если возвращающая сила остается неизмѣнною. Съ увеличеніемъ же этой послѣдней движеніе къ положенію равновѣсія ускоряется. Что колебанія вслѣдствіе этого будутъ быстрые, я могу вамъ легко показать, заставляя компасную стрѣлку,

изображеніе которой вы видите на экранѣ, стремиться въ положеніе равновѣсія не только подѣ вліяніемъ земного магнетизма, но еще и подѣ вліяніемъ магнита, который я приближаю.

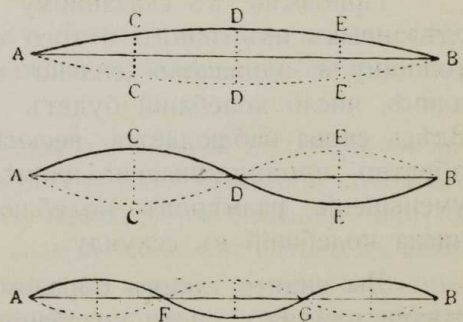
Приведу еще нѣсколько примѣровъ колебанія подѣ вліяніемъ силы тяжести. Вотъ здѣсь два шарика привѣшены въ различныхъ мѣстахъ веревки, концы которой укрѣплены на равной высотѣ. Здѣсь я могу въ *U*-образной трубкѣ привести нѣкоторое количество воды въ движеніе такъ, что она попеременно будетъ стоять выше то въ одномъ, то въ другомъ колѣнѣ. Эти колебанія можно сравнить съ тѣми, которыя можно вызвать въ сосудѣ съ нѣкоторымъ количествомъ воды и при которыхъ жидкость стоитъ выше всего то у правой стѣнки, то у лѣвой.

Въ иныхъ случаяхъ колебанія возбуждаются вслѣдствіе пружинности или упругости тѣла. Подѣ этимъ терминомъ мы разумѣемъ всѣ силы, дѣйствующія между молекулами и стремящіяся возстановить положеніе равновѣсія въ тѣхъ случаяхъ, когда измѣнена форма тѣла и, когда слѣд., его частицы смѣщены другъ относительно друга.

Кому неизвѣстны, напримѣръ, колебанія доски, которая подперта въ двухъ мѣстахъ и можетъ прогибаться между ними внизъ и вверхъ, или же колебанія упругой металлической пластинки, подобной вотъ этой, которой одинъ конецъ крѣпко завинченъ? Или же кому неизвѣстны музыкальные инструменты вродѣ этого, которые состоятъ изъ ряда укрѣпленныхъ въ двухъ мѣстахъ деревянныхъ или металлическихъ пластинокъ, по которымъ ударяютъ молоточкомъ. Колебанія пластинокъ и колоколовъ имѣютъ съ ними сходство, бросающееся въ глаза безъ дальнѣйшихъ разъясненій.

Болѣ простыя состоянія движенія мы встрѣчаемъ въ натянутыхъ шнурахъ, напримѣръ, въ струнныхъ инструментахъ. На этихъ послѣднихъ мы можемъ наблюдать, что одно и то же тѣло можетъ колебаться различнымъ образомъ, смотря по обстоятельствамъ, то съ бѣльшимъ, то съ меньшимъ періодомъ колебанія. Натянутая струна можетъ прежде всего колебаться всею своею длиною. Тогда одно изъ ея крайнихъ положеній можетъ быть изображено сплошною линіею *ADB*, (рис. 16), а другое—пунктирною *AD'B*. Точки *C*, *D*, *E*, струны колеблются по прямымъ линіямъ *CC'*, *DD'*, *EE'* перпенди-

Рис. 16.



кулярнымъ къ ея длинѣ. Какова въ данномъ случаѣ возвращающая сила, легко обнаружить. Разсмотримъ, напримѣръ, среднюю часть струны, въ томъ положеніи, которое изображено сплошною линіею, и мы увидимъ, что она будетъ стремиться внизъ вслѣдствіе натяженія частей, лежащихъ вправо и влѣво отъ нея. Равнодѣйствующая этихъ двухъ силъ возвращаетъ среднюю часть въ положеніе ея равновѣсія.

При второмъ способѣ движенія струна дѣлится на двѣ части, изъ которыхъ каждая колеблется такъ точно, какъ въ первомъ случаѣ колебалась вся струна, причемъ обѣ части струны отклоняются одновременно въ противоположныя стороны. Этотъ способъ движенія представленъ на второмъ чертежѣ. Средняя точка струны остается въ покоѣ, и это легко представить себѣ, если подумать о томъ, что натяженія обѣихъ половинъ струны дѣйствуютъ на нее съ равными силами по противоположнымъ направленіямъ.

Всякая такая точка, которая остается на своемъ мѣстѣ при колебаніи тѣла, называется *узломъ*, а мѣста *C* и *E*, въ которыхъ наблюдается наибольшее движеніе,—*пучностями*.

Третій чертежъ изображаетъ тотъ способъ движенія, при которомъ струна дѣлится на 3 части и образуетъ 2 узловыхъ точки, *F* и *G*, и 3 пучности. Такимъ образомъ мы можемъ пойти еще дальше и нарисовать чертежи съ 3, 4, 5 и болѣе узловыми точками. Во всѣхъ этихъ случаяхъ струна имѣетъ видъ *волновой линіи*.

Что же будетъ въ этихъ случаяхъ со временемъ колебанія и съ числомъ ихъ въ секунду? Ясно, что все это можно вычислить, если даны длина струны, масса ея и сила, съ которой она натянута. Я могу вамъ уже не повторять, какое вліяніе имѣетъ масса, а вы, кромѣ того, сами сообразите, что число колебаній въ секунду возрастаетъ, если струну натянуть сильнѣе, потому что тогда частицы ея съ большею силою направляются къ положенію равновѣсія.

Прибавлю къ сказанному еще слѣдующее: у двухъ струнъ, сдѣланныхъ изъ одного и того же матеріала, имѣющихъ одинаковую толщину и одинаково сильно натянутыхъ, но различающихся по длинѣ, число колебаній будетъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше длина. Здѣсь снова наблюдается весьма простой законъ: число колебаній обратно пропорціонально длинѣ. Слѣдуетъ замѣтить, что вообще уменьшеніе размѣровъ колеблющагося тѣла ведетъ къ увеличенію числа колебаній въ секунду.

Вы видите такимъ образомъ, что мы можемъ различными средствами измѣнять число колебаній въ секунду, а отъ этого числа за-

виситъ способность струны звучать. Колебанія длинной, слабо натянутой веревки, мы можемъ *видѣть*, но наше ухо ничего не ощутитъ отъ этого.

Только тогда, когда число колебаній въ секунду станетъ больше 15, они, проникая черезъ воздухъ въ наше ухо, начинаютъ вызывать ощущеніе звука, и это продолжается до тѣхъ поръ, пока число ихъ не возрстетъ приблизительно до 36000 въ секунду. Къ болѣе частымъ колебаніямъ ухо снова перестаетъ быть воспріимчивымъ. Такимъ образомъ числа колебаній каждаго звука, воспринимаемаго нами, находятся между названными границами.

Если правильныя колебанія одного и того же періода непрерывно слѣдуютъ другъ за другомъ, получается музыкальный *тонъ*. Этотъ тонъ будетъ тѣмъ *выше*, чѣмъ *больше* число колебаній въ секунду.

Каждая струна даетъ только одинъ опредѣленный тонъ,—*основной тонъ*,—если она колеблется всею своею длиною, образуя *одну* пучность. Мы регулируемъ высоту этого тона, то есть *настраиваемъ* струну, измѣняя ея натяженіе. Но эта же самая струна можетъ колебаться двумя половинами. Тогда оказывается, что каждая половина колеблется сама по себѣ, какъ будто она представляетъ собою самостоятельную струну, колеблющуюся всею своею длиною. Число колебаній каждой половины должно быть въ этомъ случаѣ вдвое больше, чѣмъ число колебаній при основномъ тонѣ. Это такъ называемый первый обертонъ струны.

Второй, третій, четвертый и т. д. обертоны получаютъ, когда струна колеблется тремя, четырьмя, пятью и т. д. отдѣльными частями. Число колебаній этихъ тоновъ равно числу колебаній основного тона, умноженному на 3, 4, 5 и т. д. Въ музыкѣ первый обертонъ называется октавою основного тона, второй—квинтою октавы; третій—октавою октавы и т. д.

Эти различные тоны я могу дать вамъ услышать, дергая либо свободно натянутую струну, либо нажавъ правильно избранныя мѣста ея.

Въ вопросѣ о высотѣ производимыхъ тоновъ наблюдается замѣчательное и весьма важное правило. Простой маятникъ, которымъ мы такъ часто пользовались, можетъ качаться по большой или по малой дугѣ и совершаетъ при этомъ, если колебанія не слишкомъ велики, полное колебаніе какъ разъ въ тотъ же самый промежутокъ времени. Вы это видите на двухъ маятникахъ одинаковой длины, которые

идуть одинаковымъ ходомъ, хотя одинъ изъ нихъ отклоненъ вдвое больше отъ положенія равновѣсія, нежели другой.

Законъ этотъ называется «*изохронизмомъ*» («равновременностью») большихъ и малыхъ колебаній; мы могли бы его вывести изъ основныхъ законовъ механики, но я ограничусь краткимъ поясненіемъ.

Если маятникъ выведенъ изъ своего положенія равновѣсія, то вы можете силу тяжести, дѣйствующую на шарикъ, разложить на двѣ слагающихъ, изъ которыхъ одна направлена по продолженію нити, а другая—перпендикулярно къ ней, то есть по направленію дуги, по которой движется маятникъ. Изъ соотвѣтствующаго чертежа можно видѣть, что эта послѣдняя слагающая,—а она, именно, въ данномъ случаѣ является возвращающею силою,—будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше уголъ, образованный маятникомъ и вертикальною линіею. Если я подниму два одинаковыхъ маятника на неравную высоту, то, конечно, шарикъ одного изъ нихъ предстоитъ пройти большій путь до положенія равновѣсія, но вслѣдствіе дѣйствующей на него большей силы онъ пріобрѣтетъ и большую скорость. Одно уравниваетъ другое, а потому время колебанія обоихъ маятниковъ оказывается одинаковымъ.

Возвращающая сила, вообще говоря, увеличивается по мѣрѣ удаленія отъ положенія равновѣсія. Такъ, на примѣръ, чѣмъ больше смѣщены частицы упругаго тѣла, тѣмъ сильнѣе возбуждается сила его упругости. Это увеличеніе возвращающей силы наблюдается во всѣхъ вышеупомянутыхъ случаяхъ, у звучащихъ же тѣлъ это проявляется въ такой мѣрѣ, что, если движеніе не слишкомъ энергично, то большія или меньшія колебанія производятся въ одно и то же время. Тонъ остается одинаковой высоты, независимо отъ того, на какомъ протяженіи колеблются частицы, или, какъ говорятъ, какова величина *амплитуды* ихъ колебанія, а, слѣд., и *сила* производимаго тона.

Мы можемъ, безъ преувеличенія сказать, что это—необходимое условіе для нашей музыки. Не будь этой особенности, каждый тонъ на піанино или на органѣ можно было бы производить только съ *одною* опредѣленною силою, и, если бы дали какому нибудь тону медленно замирать, то измѣнялась бы и его высота.

Мнѣ нужно еще вамъ показать, что струна, на которой я только что вызвалъ различные обертоны, дѣйствительно производила тѣ движенія, которыя изображены на вышеприведенныхъ чертежахъ. Для этого можно помѣстить на струну маленькіе кусочки бумаги и за-

тѣмъ заставить ее колебаться. Тогда упадутъ всѣ бумажки, за исключеніемъ тѣхъ, которыя находятся на узловыхъ точкахъ.

Такъ какъ видѣть это издали трудно, то я лучше приведу въ такія же колебанія длинную слабо натянутую нить. Если взять бечевку, то ее можно привести въ колебаніе, двигая одинъ изъ ея концовъ рукою взадъ и впередъ, но я, вмѣсто руки, воспользуюсь камертономъ. Одинъ конецъ нитки прикрѣпленъ къ одной ножкѣ камертона, а другой конецъ ея перекинутъ черезъ блокъ и къ нему привѣшенъ грузъ. Когда я ударяю по камертону, то пучности и узлы нити ясно видны.

Самъ камертонъ, которымъ мы сейчасъ пользовались, двигался такимъ образомъ, что обѣ его ножки то сходились, то расходились другъ съ другомъ. Кривизна средней части этого *U*-образнаго стальнаго стержня при этомъ то увеличивается, то уменьшается, и вызывающая сила вызывается, главнымъ образомъ, упругостью этой средней части.

Колебанія камертона можно сдѣлать видимыми при помощи такъ называемаго *графическаго метода*, который часто примѣняется при изученіи движеній. Этотъ цилиндръ, ось котораго горизонтальна, обернуть листомъ бумаги, покрытымъ сажею при помощи коптящаго пламени. Цилиндръ можно вращать вокругъ оси. Я укрѣплю на одной изъ ножекъ камертона тоненькій штифтъ, на примѣръ, щетинку и приставляю камертонъ къ цилиндру такимъ образомъ, чтобы конецъ штифтика соприкасался съ закопченною поверхностью и колебался вмѣстѣ съ камертономъ въ горизонтальномъ направленіи вдоль цилиндра.

Если во время вращенія цилиндра штифтъ находится въ покоѣ, то онъ по пути снимаетъ съ закопченной бумаги сажу и такимъ образомъ чертитъ линію, обхватывающую цилиндръ въ видѣ круга. Если же штифтъ во время вращенія цилиндра колеблется, то онъ отклоняется отъ этой линіи то въ одну, то въ другую сторону, и мы получимъ волновую линію, которую вы можете затѣмъ разсмотрѣть вблизи. Я могу заранѣе отбросить вамъ на экранъ подобную желнію, которую я получаю, двигая надъ закопченною стекляною пластинкою, колеблющійся камертонъ. Получающійся при этомъ чертежъ нѣсколько напоминаетъ слѣдъ, оставляемый путникомъ, который во время ходьбы двигаетъ палкою по песку то вправо, то влѣво.

На линіи, которую чертитъ колеблющійся камертонъ на вращающемся цилиндрѣ, мы можемъ изучать различныя особенности движенія. Сосчитавъ волны, мы можемъ найти, сколько колебаній

было совершено во время одного оборота цилиндра. Отсюда, зная скорость движенья цилиндра, можно вывести число колебаній въ секунду. Величина волнъ показываетъ намъ, настолько велика была амплитуда. У меня здѣсь, на примѣръ, есть линія, на которой вы можете видѣть, что штифтикъ (на этотъ разъ приведенный въ движеніе не камертономъ, а другимъ звучащимъ тѣломъ) попеременно совершалъ то сильныя, то слабыя колебанія.

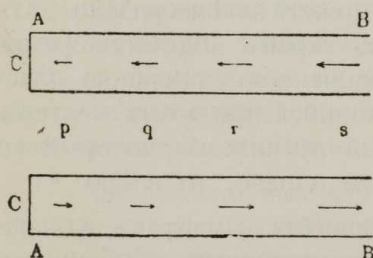
На этой линіи можно наблюдать даже незначительныя особенности въ способѣ колебанія. Если, на примѣръ, штифтикъ во время одной половины колебанія переходилъ не непрерывно изъ одного крайняго положенія въ другое, а по пути на одинъ мигъ пошелъ обратно и только затѣмъ продолжалъ свое движеніе, то это можно будетъ замѣтить по формѣ волновой линіи, какъ вы это можете легко себѣ представить.

Графическій методъ оказываетъ большія услуги и при другихъ движеніяхъ. Физиологи, на примѣръ, *регистрируютъ* движенія дыханія и удары пульса, передавая такъ или иначе эти движенія пишущему штифтику, который прикасается къ вращающемуся цилиндру.

Этимъ способомъ можно графически изобразить и весьма медленныя движенія, но для этого надобно и цилиндръ медленно вращать при помощи часового механизма. На многихъ метеорологическихъ станціяхъ получаютъ такимъ образомъ кривыя, записывающія, на примѣръ, постепенное измѣненіе съ теченіемъ времени высоты барометра.

Познакомивъ васъ съ движеніемъ камертона, я нахожу умѣстнымъ сообщить вамъ теперь же, какъ колеблется воздухъ въ резонаторномъ ящикѣ, на которомъ укрѣпленъ камертонъ. Этотъ резонаторъ есть открытый на одномъ концѣ четырехугольный ящикъ,—и дви-

Рис. 17.



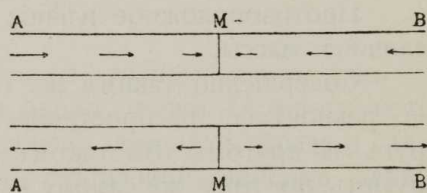
женіе, происходящее въ немъ, заключается попросту въ томъ, что воздухъ идетъ попеременно то внутрь, то наружу вдоль ящика. Поясненіемъ можетъ служить рис. 17. Стрѣлки на немъ изображаютъ скорости частицъ воздуха и показываютъ, что послѣднія сперва имѣютъ направленіе, обозначенное на верхней части рисунка, а затѣмъ послѣ полуколебанія измѣняютъ это направленіе на обратное. Кромѣ того изъ этого рисунка видно, что скорость воздуха

въ s будетъ наибольшею и мало-по-малу уменьшается по направленію къ p . Вопросъ о томъ, какъ передается движеніе колеблющагося камертона воздуху, мы оставимъ открытымъ. Я хочу только разъяснить, что служитъ возвращающею силою для воздушнаго столба. Она порождается тѣмъ, что сжатый воздухъ производитъ большее давленіе, а разрѣженный—меньшее, чѣмъ первоначально.

Дѣйствительно, если частицы воздуха окажутся смѣщенными тѣмъ или инымъ образомъ съ ихъ положенія равновѣсія по направленію внутрь резонатора, то воздухъ въ замкнутомъ концѣ резонатора окажется сжатымъ. Возросшее вслѣдствіе этого давленіе стремится возвратитъ частицы въ ихъ положеніе равновѣсія. Съ другой стороны движеніе частицъ наружу непремѣнно поведетъ за собою разрѣженіе воздуха въ закрытомъ концѣ. Давленіе станетъ тамъ меньше сравнительно съ давленіемъ наружнаго воздуха, который и будетъ гнать частицы назадъ.

Воздухъ можетъ колебаться также внутри трубки, открытой съ обѣихъ сторонъ по направленію ея длины. Примѣръ такого колебанія данъ на рис. 18. Въ серединѣ M находится узелъ, и воздухъ движется, какъ обозначено стрѣлками, попеременно то съ обѣихъ сторонъ по направленію къ узлу, то въ обѣ стороны отъ послѣдняго. Мнѣ не нужно ужъ объяснять, что въ самой узловой точкѣ въ первомъ случаѣ происходитъ сжатіе, а во второмъ—разрѣженіе воздуха, и что въ этомъ случаѣ возвращающею силою снова является разнища въ давленіи.

Рис. 18.



Я не буду также останавливаться надъ сложными способами колебанія, возможными въ столбѣ воздуха. Укажу только на то, что въ органныхъ трубахъ и во всѣхъ духовыхъ инструментахъ мы имѣемъ дѣло съ колеблющимися столбами воздуха. Если извѣстно, какъ измѣняется давленіе при сжатіи и разрѣженіи воздуха, то можно во всѣхъ этихъ случаяхъ вычислить быстроту колебанія. Вычисленіе начинается при этомъ всегда съ уравненія, которое показываетъ, какъ измѣняется скорость нѣкоторой массы воздуха при опредѣленной разности давленія.

Позвольте мнѣ на этомъ покончить съ примѣрами колебательныхъ движеній и заняться нѣсколько подробнѣе *распространеніемъ*

колебаний и, вообще, нарушеній положенія равновѣсія. Распространеніе колебаний можетъ происходить въ твердыхъ, жидкихъ и газообразныхъ тѣлахъ. Оно всегда состоитъ въ томъ, что если ограниченная часть тѣла первоначально выведена изъ положенія равновѣсія, то возвращеніе къ нему сопровождается смѣщеніемъ сосѣдней части въ ту же самую сторону, въ какую была смѣщена первая часть. Эти новыя приведенныя въ движеніе части передаютъ его такимъ же образомъ слѣдующимъ частямъ, и этимъ путемъ нарушеніе равновѣсія распространяется въ мѣста, все болѣе и болѣе удаленныя отъ исходной точки колебанія.

Скорость распространенія мы измѣряемъ разстояніемъ, на которое распространяется нарушеніе равновѣсія въ одну секунду. Скорость эта зависитъ отъ величины силъ, возвращающихъ смѣщенныя частицы къ положенію равновѣсія, и отъ величины массъ, приводимыхъ въ движеніе. Чѣмъ больше эти силы, тѣмъ быстрѣе происходитъ возвращеніе къ положенію равновѣсія и въ тѣмъ меньшее время успѣютъ разыгратъ тѣ же явленія.

Противоположное вліяніе и въ этомъ случаѣ будетъ оказывать величина массы.

Совершенно такимъ же образомъ, какъ и одиночное нарушеніе равновѣсія, распространяется и рядъ нарушеній, слѣдующихъ другъ за другомъ. Въ такомъ случаѣ, каждое изъ нихъ слѣдуетъ за другимъ по тому же самому направленію. Мы приводимъ, на примѣръ, въ колебательное движеніе одну часть тѣла какою нибудь силою. Тогда и каждой сосѣдней части сообщается такое же колебательное движеніе, потому что она по очереди получаетъ вызываемыя нами перемѣщенія въ противоположныхъ направленіяхъ.

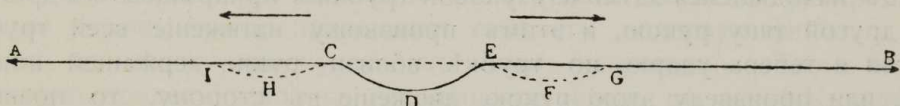
Все это можно пояснить простыми и по большей части хорошо извѣстными вамъ примѣрами. Возвращающею силою для обыкновенныхъ волнъ, которыя мы можемъ видѣть на поверхности воды, служитъ сила тяжести. Если я какимъ нибудь способомъ подыму часть воды на нѣкоторую высоту и, когда поверхность остальной жидкости станетъ горизонтальною, отпущу поднятую воду, то она подѣйствіемъ силы тяжести падаетъ внизъ. Такъ какъ эта вода должна гдѣ нибудь оставаться, то это имѣетъ слѣдствіемъ поднятіе ближайшихъ частей воды, такъ что образуется маленькій кольцеобразный волновой гребень. Когда этотъ гребень исчезаетъ, то на смѣну ему поднимается жидкость, лежащая нѣсколько дальше. При этомъ мы замѣчаемъ, что окружность этого гребня постепенно увеличивается. Точно такъ же первоначальное углубленіе нѣкоторой части водной

поверхности имѣть результатомъ образованіе кольцеобразной волновой долины, распространяющейся по всѣмъ направленіямъ.

И если я въ какомъ нибудь мѣстѣ поверхности, буду приводить воду въ движеніе вверхъ и внизъ, то я произведу рядъ чередующихся гребней и долинъ волнъ, какіе мы наблюдаемъ, бросивъ камень на поверхность спокойной воды. Если гдѣ нибудь на поверхности воды будетъ кусокъ дерева, то вы увидите, что самъ онъ движется вверхъ и внизъ, а подъ нимъ равномерно скользятъ гребни и долы волнъ. Такимъ образомъ становится яснымъ, что движеніе волнъ значительно отличается отъ движенія самихъ частицъ воды.

Нѣсколько болѣе простое явленіе, нежели поверхность воды, представляетъ намъ натянутая веревка. Представьте себѣ, что я въ

Рис. 19.



точкѣ D сообщаю такой веревкѣ (рис. 19) толчокъ внизъ, такъ что она образуетъ изгибъ CDE . Частицы около точки D оттягиваются вверхъ вслѣдствіе натяженія частей веревки, лежащихъ справа и слѣва отъ D , но сами тянутъ ихъ внизъ. Въ слѣдующій моментъ первое уклоненіе исчезло, но зато появились два изгиба IHC и EFG . Эти послѣдніе распространяются все дальше и дальше, вправо и влѣво.

Замѣчательно при этомъ, что частицы, лежащія около D , возвращаются въ положеніе равновѣсія, не переходя по ту сторону его. Это происходитъ вслѣдствіе того, что онѣ не оттягиваются постоянно къ положенію равновѣсія, какъ, напр., точки колеблющейся струны. Когда часть D приблизилась къ положенію равновѣсія, то сосѣднія частицы веревки (около E и C) уже ушли внизъ болѣе, чѣмъ возвращающаяся вверхъ часть D , и своимъ натяженіемъ дѣйствуютъ въ направленіи, препятствующемъ дальнѣйшему движенію этой части. Такимъ образомъ движеніе къ положенію равновѣсія, начавшееся съ возрастающею быстротою, вскорѣ начинаетъ замедляться, и скорость изсякаетъ какъ разъ въ тотъ моментъ, когда будетъ восстановлена прямая линія CE .

Слѣдующія, лежащія вправо и влѣво, части веревки, получивъ на одинъ моментъ нѣкоторое отклоненіе, непосредственно затѣмъ становятся снова прямыми и остаются далѣе таковыми.

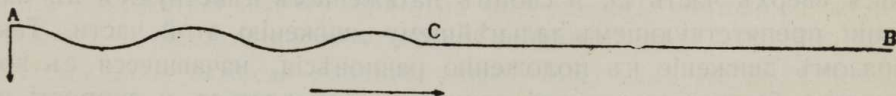
Достойно примѣчанія еще то обстоятельство, что изъ волнъ *IHC* и *EFG*, одна распространяется только вправо, а другая только влѣво, и что ни одна изъ нихъ не обнаруживаетъ склонности къ распространенію нарушенія равновѣсія въ обратномъ направленіи. Я не стану объяснять вамъ все это подробно, какъ это даютъ возможность объяснить основные законы механики, но я считалъ своимъ долгомъ, по крайней мѣрѣ, обратить на это ваше вниманіе, чтобы вы получили правильное представленіе о сущности этихъ явленій. Конечно, далеко не всегда явленія происходятъ такъ просто, какъ въ описанномъ случаѣ (то есть такъ, что нарушеніе равновѣсія тѣла проходитъ безслѣдно), но большинство разсматриваемыхъ нами случаевъ именно таковы.

Вмѣсто того, чтобы приводить веревку въ движеніе по срединѣ, я могу продѣлать это на одномъ изъ ея концовъ. Одинъ конецъ находящейся здѣсь каучуковой трубки я прикрѣпляю къ крючку, а другой тяну рукою, и этимъ произвожу натяженіе всей трубки. Если я теперь ударю по трубкѣ вблизи руки, держащей конецъ ея, или произведу этою рукою движеніе въ сторону, то появится изгибъ и пробѣжитъ по трубкѣ. Я полагаю, что это явленіе вамъ всѣмъ одновременно прекрасно видно. Впрочемъ, каждый изъ васъ легко можетъ самъ произвести этотъ же опытъ съ веревкою.

Въ этомъ опытѣ вы можете наблюдать, что скорость распространенія, согласно теоріи, увеличивается съ натяженіемъ веревки, и что нарушеніе равновѣсія, подойдя къ закрѣпленному концу, возвращается обратно. Если, можетъ быть, отраженная волна не ясно видна, то, по крайней мѣрѣ, можно чувствовать, какъ она возвращается къ рукѣ и даже неоднократно, пробѣгая назадъ и впередъ по веревкѣ.

Теперь перейдемъ къ распространенію колебаній вдоль веревки. Чтобы возбудить послѣднія, я двигаю равномерно рукою туда и

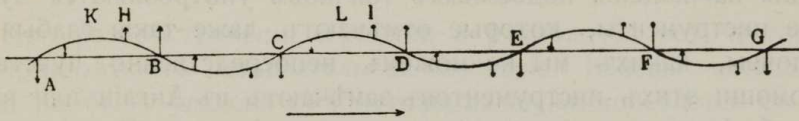
Рис. 20.



сюда. При этомъ я вызываю явленіе, до чрезвычайности похожее на гребни и доли волнъ на водяной поверхности. На рис. 20 изображено, что я произвелъ лишь нѣсколько волнъ отъ А до С. Если я буду продолжать движеніе, то волнистая линія будетъ распространяться все болѣе и болѣе вправо.

Какъ только она достигнетъ закрѣпленнаго конца, то явленіе становится болѣе запутаннымъ, вслѣдствіе встрѣчи падающихъ волнъ, бѣгущихъ вправо, съ отраженными, бѣгущими влѣво. Чтобы избѣжать этой запутанности, представимъ себѣ, что веревка уходитъ

Рис. 21.



вправо въ бесконечность. Тогда мы получимъ волнистую линію неопредѣленной длины вродѣ той, которая изображена на рис. 21. Маленькія стрѣлки на этомъ рисункѣ обозначаютъ скорости. Что онѣ правильно начерчены, вы можете сами легко убѣдиться. Чтобы получить видъ веревки на мгновеніе позже, если движеніе распространяется вправо, нужно представить себѣ эту волновую линію, сдвинутую на нѣкоторый кусокъ въ этомъ направленіи. Точка Н, въ которую придетъ вершина, находящаяся теперь въ точкѣ К, должна, слѣд., дѣйствительно пойти вверхъ, какъ обозначено стрѣлкою.

Предположимъ теперь, что бесконечно длинная веревка замѣнена такимъ же бесконечнымъ стержнемъ изъ упругаго вещества, напримѣръ, изъ дерева, стекла или металла. Сообщимъ ему короткій ударъ молоткомъ по концевой поверхности. Первымъ слѣдствіемъ этого явится сжатіе части стержня, непосредственно лежащей у концевой поверхности. Расширяясь, эта часть приводитъ въ движеніе сосѣднія частицы, сжимаетъ ихъ и такимъ образомъ сжатіе пробѣгаетъ черезъ весь стержень. То же самое можетъ произвести и уменьшеніе плотности, которое можно вызвать, потянувъ внезапно свободный конецъ стержня наружу. Точно также могутъ распространяться правильныя колебанія вдоль стержня не только въ томъ случаѣ, когда частицы послѣдняго колеблются по направленію его длины, но и въ томъ, когда направленіе ихъ колебанія перпендикулярно этой длинѣ.

Отъ стержня мы можемъ перейти къ твердому тѣлу, простирающемуся по всѣмъ направленіямъ. Если въ какомъ нибудь мѣстѣ этого тѣла частицы будутъ приведены въ движеніе, тогда нарушеніе равновѣсія,—конечно, постепенно ослабѣвая,—распространится по всѣмъ направленіямъ.

Это распространеніе колебаній въ твердыхъ тѣлахъ можно часто наблюдать. Приложивъ ухо къ концу стержня, мы можемъ не

только слышать тиканіе карманныхъ часовъ, приставленныхъ къ другому его концу, но даже слѣдить мысленно за каждымъ „тикъ-такъ“ на всемъ пути черезъ стержень. Ударъ или толчокъ въ стѣну зданія распространяется во всѣ стороны черезъ камень, а подземный толчокъ передается громадной части земной поверхности.

Для наблюденія подземныхъ толчковъ употребляются чувствительные инструменты, которые отмѣчаютъ даже такія слабыя колебанія почвы, какихъ мы не можемъ непосредственно чувствовать. При помощи этихъ инструментовъ замѣчаютъ въ Англіи или въ Италіи колебаніе почвы, вызванное землетрясеніемъ въ Японіи, и находять скорость, можетъ быть, въ нѣсколько километровъ въ секунду, съ которою оно пробѣжало этотъ длинный путь.

Если скорость распространенія колебаній въ твердыхъ тѣлахъ такъ велика, то для тѣлъ, размѣры которыхъ незначительны, легко получить впечатлѣніе, что смѣщеніе, сообщаемое какой-нибудь одной точкѣ, распространяется моментально по всему тѣлу. Производя давленіе на середину стеклянаго диска, я сгибаю его на всемъ протяженіи, и при этомъ весьма трудно замѣтить, что для передачи смѣщенія до точекъ, лежащихъ съ края, необходимо было извѣстное время. Если же сквозь этотъ дискъ пролетитъ пуля съ такою быстротою, что ея сила будетъ дѣйствовать на стекло чрезвычайно короткое время, то онъ можетъ остаться цѣлымъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ точки прицѣла, потому что стекло въ этомъ мѣстѣ не успѣло испытать никакихъ измѣненій за то короткое время, которое нужно пулѣ для прохожденія сквозь него. Отсюда являются рѣзкія границы отверстія, сдѣланнаго пулею въ стеклянномъ дискѣ.

Я могъ бы вамъ сообщить еще и о другихъ случаяхъ, напримѣръ, о распространеніи такъ называемыхъ пульсовыхъ волнъ въ артеріяхъ, но уже пора заняться распространеніемъ колебаній въ газообразныхъ тѣлахъ, обыкновенныхъ посредникахъ звука. Много говорить объ этомъ мнѣ, конечно, не придется. Если столбъ воздуха заключенъ въ длинную трубку, то въ немъ такъ же, какъ и въ упругомъ стержнѣ, о которомъ была рѣчь выше, могутъ происходить сжатія и расширенія.

Обратите теперь вниманіе на колебанія, исходящія, напримѣръ, отъ камертона. Когда одна изъ ножекъ его отклоняется наружу, то въ воздухѣ, непосредственно съ нею соприкасающемся, получается сгущеніе, и это сгущеніе распространяется прямолинейно по всѣмъ направленіямъ. Спустя нѣкоторое время, оно достигаетъ до извѣстной кривой поверхности, которая принимаетъ все большіе и боль-

шіе размѣры. За сжатіемъ слѣдуетъ разрѣженіе, когда ножка камертона идетъ вовнутрь, затѣмъ снова сжатіе и т. д. Если бы мы могли *видѣть* воздухъ, то мы видѣли бы рядъ перемежающихся сгущенныхъ и расширенныхъ слоевъ, соотвѣтствующихъ гребнямъ и доламъ на водяной повсрхности. То же самое мы видѣли бы вокругъ всякаго звучащаго тѣла.

При распространеніи сгущеній и разрѣженій всѣ частицы воздуха приобрѣтають колебательное движеніе. Каждая частица, какъ бы она ни была удалена отъ источника звука, колеблется съ такимъ же точно періодомъ, какъ самъ источникъ звука, независимо отъ того, получаютъ ли эти колебанія непосредственно отъ него или, только пройдя большее или меньшее пространство. Даже, если колебанія будутъ перехвачены какимъ-нибудь легко подвижнымъ предметомъ, такъ что этотъ послѣдній подъ ихъ вліяніемъ самъ придетъ въ движеніе, то періодъ, являющійся указателемъ высоты тона, все-таки останется неизмѣннымъ.

Мы раньше представили себѣ, что мы стоимъ вблизи водяной поверхности, пришедшей въ волновое движеніе, и наблюдаемъ за плавающимъ по водѣ предметомъ. Какъ глазомъ мы наблюдаемъ видимыя явленія, такъ точно барабанною перепонкою, отдѣляющею наружное ухо отъ внутри лежащихъ частей его, мы слѣдимъ за проходящими мимо насъ послѣдовательными сгущеніями и разрѣженіями воздуха. При каждомъ сгущеніи барабанная перепонка вдавляется внутрь уха, а при слѣдующемъ за нимъ разрѣженіи снова возвращается наружу такъ, что совершаетъ ровно столько же колебаній, сколько мимо насъ проходитъ сгущеній,—я могъ бы сказать, гребней волнъ.

Исходя изъ этого, мы произведемъ маленькое вычисленіе. Скорость распространенія звука въ воздухѣ при одинаковой температурѣ одинакова для всѣхъ тоновъ, а именно: при 15° С. она равна 34,000 см. въ секунду. Представьте себѣ теперь идущую отъ какого нибудь звучащаго тѣла прямую линію, которая прорѣзываетъ всѣ эти слѣдующіе одинъ за другимъ, сгущенные слои, и прослѣдите, сколько этихъ сгущеній проходитъ въ секунду черезъ опредѣленную точку данной линіи. Это, очевидно, будутъ тѣ сгущенія, которыя находятся на линіи въ 34,000 см. длиною. Какъ велико ихъ число, зависитъ отъ того, на какихъ разстояніяхъ находятся они другъ отъ друга. Если разстояніе двухъ слѣдующихъ одно за другимъ сгущеній, равняется 75 см., то мы найдемъ, что ихъ число равно

$$\frac{34000 \text{ см.}}{75 \text{ см.}} = 453.$$

Слѣдовательно, какъ часто барабанная перепонка будетъ перемѣщаться въ ту и другую сторону,—таково будетъ въ одну секунду число ея колебаній, а, по сказанному, и число колебаній звукового источника.

Разстояніе одного сгущеннаго слоя отъ другого, равное въ нашемъ примѣрѣ 75 см., называется *длиною волны*. Слѣдовательно, число колебаній въ секунду получается, если раздѣлить пространство, на которое распространилось колебаніе въ теченіе одной секунды, на длину волны. Пусть число колебаній въ секунду равно N , длина волны— l см., а скорость распространенія движенія— v см.

въ секунду; въ такомъ случаѣ $N = \frac{v}{l}$.

Эта формула примѣнима не только къ звуковымъ колебаніямъ, но и ко всякому распространенію колебаній безразлично, если понимать подъ длиною волны l то разстояніе, на которое нужно продвинуться въ направленіи распространенія, чтобы снова встрѣтить такое же состояніе движенія, какое наблюдалось въ исходномъ пунктѣ. На водяной глади l есть разстояніе между вершинами двухъ сосѣднихъ гребней волнъ, а у веревки на рис. 21 подъ l надо разумѣть разстояніе отъ K къ L , а также разстояніе AC или BD .

Тѣ соображенія, посредствомъ которыхъ мы пришли къ этой зависимости, можно въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ повторить въ томъ же самомъ или подобномъ видѣ. Возможно также облечь ихъ и въ нѣсколько иное одѣяніе. Если колеблется камертонъ, то мы обращаемъ вниманіе, напр., на то, что продолжительность его полного колебанія равна $\frac{1}{N}$ секунды,—на то, что такимъ образомъ

спустя $\frac{1}{N}$ секунды послѣ перваго сгущенія, произведеннаго одною ножкою, образовалось второе. Въ то мгновеніе, когда вблизи камертона образуется второе сгущеніе, первое уже прошло извѣстный путь, и такъ какъ этотъ путь проходится въ $\frac{1}{N}$ часть секунды, то его можно вычислить, раздѣливъ на N путь, проходимый въ одну

секунду. Такимъ образомъ мы находимъ, что разстояніе между двумя сгущенными слоями, то есть длина волны, равна

$$l = \frac{v}{N},$$

что, очевидно, сводится къ тому же самому, какъ и вышенаписанное уравненіе.

Воспользуемся этою формулою въ ея послѣднемъ видѣ для вычисленія длины волнъ по данному числу колебаній. Числа колебаній этихъ двухъ камертоновъ равны 256 и 512 въ секунду. Отсюда слѣдуетъ, что длина волны въ воздухѣ для перваго тона равна $34000 \text{ см.} : 256 = 133 \text{ см.}$, а для второго тона— $34000 \text{ см.} : 512 = 66.5 \text{ см.}$, то есть вдвое меньше, чѣмъ для перваго тона.

Длины воздушныхъ волнъ для различныхъ тоновъ піанино находятся приблизительно въ предѣлахъ 1100 и 10 см., а для тона съ 36000 колебаніями въ секунду, то есть на верхнемъ предѣлѣ слышимыхъ тоновъ—длина волны не достигаетъ и одного сантиметра. Если бы мы могли видѣть воздухъ, то онъ представилъ бы намъ зрѣлище, напоминающее порою большія водяныя волны, съ далеко лежащими другъ отъ друга гребнями, порою—рябь зеркальной поверхности воды.

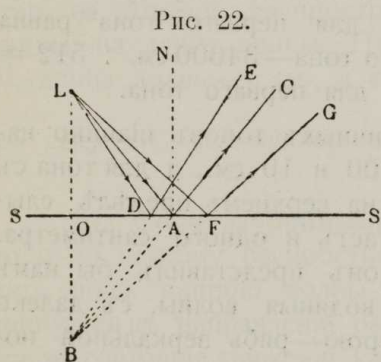
Замѣчательнымъ показалось бы вамъ еще слѣдующее: вы знаете, какъ волнообразные круги, образованные двумя брошенными въ воду камнями, пересѣкаютъ другъ друга, не нарушая въ то же время правильности своего распространенія. Гребни волнъ одной системы набѣгаютъ на гребни и долины другой, а долины первой системы углубляются въ долины и гребни второй системы. Въ воздухѣ мы видѣли бы точно такъ же, какъ пересѣкались бы другъ съ другомъ сгущенные и разрѣженные слои. Вы можете представить себѣ сперва разрѣженія и сгущенія, производимыя однимъ звуковымъ источникомъ, и затѣмъ представить, что въ этомъ измѣнившемъ уже повсюду плотность воздухѣ другой источникъ звука съ своей стороны вызываетъ такія же увеличенія или уменьшенія плотности, какія онъ возбуждалъ бы, если бы первый источникъ отсутствовалъ. Вслѣдствіе этого воздухъ можетъ передавать всѣ тона оркестра, голоса одновременно говорящихъ людей и вообще какой угодно звукъ — и все это до тончайшихъ особенностей колебанія,—и вы можете быть увѣрены, что, сколько бы ни было уже въ наличности звуковъ, все таки самый нѣжный толчокъ одного предмета о другой уже про-

изводитъ въ воздухѣ цѣлую систему волнъ, хотя бы мы этого и не замѣтили.

Разсмотрѣніемъ свѣтовыхъ колебаній мы займемся въ слѣдующій разъ, но я хочу еще сегодня познакомить васъ съ нѣкоторыми простыми явленіями и законами или только напомнить, если знакомить васъ съ этимъ не приходится.

Вы уже знаете, что лучъ свѣта распространяется по прямой линіи, пока движется по матерьялу, имѣющему повсюду одни и тѣ же свойства.

Другой пунктъ, который мнѣ нужно только затронуть, это—законъ отраженія лучей.



Пусть (рис. 22) SS —зеркало, стоящее перпендикулярно къ плоскости рисунка, а LA —свѣтовой лучъ, падающій на него; лучъ этотъ отразится по направленію AC , которое съ перпендикуляромъ AN къ зеркалу (такъ называемымъ „отвѣсомъ паденія“), образуетъ уголъ NAC , *уголъ отраженія*, равный *углу паденія*, то есть углу LAN , образуемому падающимъ лучемъ и перпендикуляромъ въ точкѣ паденія.

На чертежѣ изображено нѣсколько свѣтовыхъ лучей LD , LA , LF , которые всѣ исходятъ изъ одной точки L и падаютъ на зеркало. Они отразятся согласно вышеприведенному закону, и пойдутъ по направленіямъ DE , AC и FG . Если всѣ эти линіи продолжить за зеркало, то они, какъ вы видите, проходятъ черезъ одну и ту же точку B , которую можно найти, если опустить на зеркало изъ точки L перпендикуляръ LO и отложить на его продолженіи кусокъ OB , равный LO . Наблюдатель, которому попадаетъ въ глазъ отраженные лучи, получаетъ впечатлѣніе, какъ будто всѣ они исходятъ изъ точки B . Ему будетъ казаться, что онъ видитъ *изображеніе* B свѣтового источника за зеркаломъ.

Преломленіе свѣта, то есть измѣненіе направленія лучей при переходѣ изъ одной прозрачной среды въ другую, слѣдуетъ также простому закону. Прежде всего замѣтимъ, что при этомъ свѣтовой лучъ обыкновенно распадается на нѣсколько лучей, производящихъ на глазъ впечатлѣніе различныхъ цвѣтовъ.

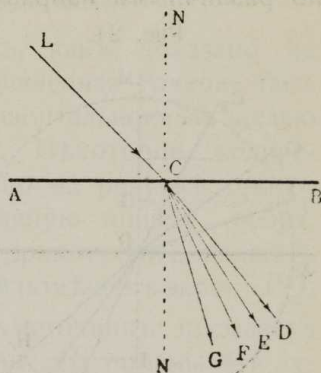
Пусть плоскость AB (на рис. 23), перпендикулярная къ поверхности рисунка, будетъ поверхностью раздѣла двухъ средъ, и допустимъ что верхняя среда—воздухъ, а нижняя—стекло. Пусть по направленію линии LC падаетъ лучъ „бѣлаго свѣта“ (свѣтъ солнечный, электрическій или свѣтъ газовый); тогда въ стеклѣ получается нѣсколько лучей, которые лежатъ внутри нѣкотораго угла DCG и изъ которыхъ на рисункѣ изображено четыре: CD , CE , CF и CG .

Всѣ эти лучи отклоняются отъ первоначальнаго направленія, но въ разной степени. Лучи, преломленные менѣе всѣхъ остальныхъ и находящіеся вблизи CD , производятъ впечатлѣніе «краснаго», и поэтому ихъ для краткости можно назвать красными. Затѣмъ идутъ, по направленіямъ къ G , лучи оранжевые, желтые, зеленые, голубые, синіе и, наконецъ, фіолетовые.

Это разложеніе бѣлаго свѣта было открыто Ньютономъ, который показалъ, что, если снова соединить лучи различныхъ цвѣтовъ и направить ихъ вмѣстѣ въ глазъ, то получается снова впечатлѣніе бѣлаго свѣта. Этимъ путемъ онъ дошелъ до представленія, подтвержденнаго всѣми позднѣйшими наблюденіями, что бѣлый свѣтъ представляетъ собою сложное явленіе, и что лучи различныхъ цвѣтовъ такъ или иначе уже содержатся въ бѣломъ лучѣ LC . Стекло отдѣляетъ ихъ другъ отъ друга, такъ какъ они преломляются различнымъ образомъ и расходятся вслѣдствіе этого по разнымъ путямъ. Эти разноцвѣтные лучи, въ противоположность бѣлому свѣту, дѣйствительно заслуживаютъ названіе *простыхъ*, такъ какъ каждый изъ этихъ лучей, если его обособить и заставить проходить изъ одной среды въ другую, то онъ, преломляясь, не будетъ разлагаться на новые цвѣта. Такой лучъ имѣетъ еще одно вполне определенное свойство, а именно: какъ бы его ни отражали и ни преломляли, онъ всегда при переходѣ изъ воздуха въ стекло, обнаруживаетъ ту же самую преломляемость.

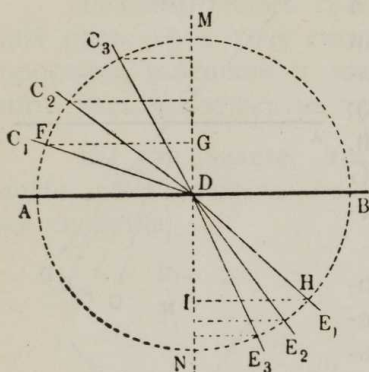
Законъ преломленія былъ открытъ Лейденскимъ профессоромъ Снелліусомъ. Рис. 24 можетъ послужить намъ для ознакомленія съ этимъ закономъ. Пусть AB снова будетъ поверхностью раздѣла, надъ которою опять находится воздухъ, а внизу стекло. Сравнимъ теперь нѣсколько свѣтовыхъ лучей, каждый изъ которыхъ пусть бу-

Рис. 23.



детъ простымъ и одинаковымъ съ остальными, на которые падаютъ по различнымъ направленіямъ C_1D , C_2D , C_3D . Всѣ они преломляются такъ, что образуютъ съ перпендикуляромъ MN къ поверхности раздѣла меньшіе углы въ стеклѣ, чѣмъ въ воздухѣ, и ихъ путями являются линіи C_1DE_1 , C_2DE_2 , C_3DE_3 .

Рис. 24.



Опишемъ теперь вокругъ точки D , какъ центра, окружность любого радиуса; она пересѣчетъ всѣ лучи. Изъ точки F пересѣченія съ этой окружностью одного изъ падающихъ лучей и точки пересѣченія H соответствующаго преломленнаго луча опустимъ перпендикуляры FG и HI на линію MN и раздѣлимъ длину перваго перпендикуляра на длину

второго. Мы получимъ опредѣленное число, величина котораго, конечно, не измѣняется отъ увеличенія или уменьшенія радиуса нашей окружности. Законъ Снелліуса и говоритъ, что отношеніе длинъ этихъ двухъ перпендикуляровъ остается постояннымъ, какъ бы ни измѣнилось направленіе падающаго луча. На нашемъ рисункѣ, напр., разстоянія отъ MN точекъ пересѣченія линій C_2D и DE_2 съ окружностью относятся другъ къ другу, какъ FG къ HI .

Это отношеніе, остающееся такимъ образомъ неизмѣннымъ, пока мы имѣемъ дѣло съ одною и тою же средою и опредѣленнымъ простымъ свѣтомъ, называется *показателемъ* преломленія. Многіе физики занимались измѣреніемъ показателя преломленія для различныхъ средъ. Въ нашемъ примѣрѣ со стекломъ и воздухомъ показатель преломненія для краснаго цвѣта 1,53, а для синяго 1,55.

Если извѣстенъ показатель преломленія, то можно вычислить ходъ свѣта при переходѣ изъ одной среды въ другую. Такимъ образомъ, законъ Снелліуса легъ въ основу всей теоріи чечевицъ и оптическихъ инструментовъ, телескоповъ, микроскоповъ, которыми мы приходимъ на помощь нашей способности зрѣнія. Въ нашу программу не входитъ подробное ознакомленіе съ этими инструментами. Мы будемъ говорить, главнымъ образомъ, о различныхъ видахъ свѣта и о разницѣ между ними.

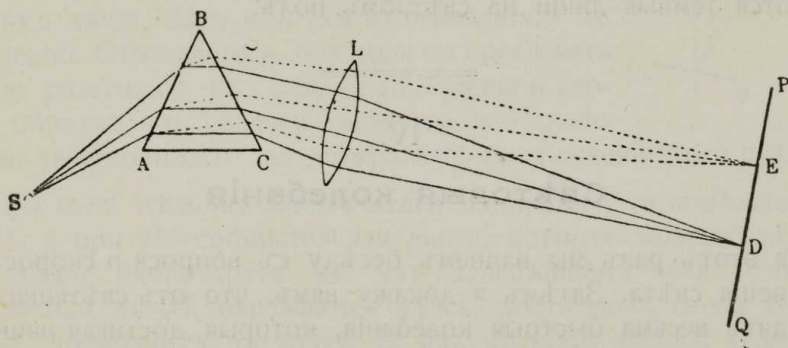
Если на тѣло одновременно падаютъ разные лучи, то они, какъ уже было сказано, при каждомъ преломленіи отдѣляются другъ отъ друга. Чтобы надлежащимъ образомъ получить это раздѣленіе и въ томъ случаѣ, когда источникъ свѣта посылаетъ пучки лучей по

всѣмъ направлѣніямъ, какъ это бываетъ въ дѣйствительности, мы должны прибѣгнуть къ соотвѣствующимъ средствамъ.

Мы можемъ поступить, на примѣръ, такъ, какъ показано на рис. 25. Сестъ вертикальная узкая щель, обозначенная точкою, такъ какъ мы предполагаемъ плоскость рисунка горизонтальною. За щелью вы должны представить себѣ источникъ свѣта. Нѣкоторое количество лучей, изъ которыхъ нѣсколько обозначено на рисункѣ, проходить черезъ щель и падаетъ на трехгранную стеклянную призму, ребра, которой A, B, C , стоятъ вертикально. Пройдя эту призму, они попадаютъ на линзу L , въ нѣкоторомъ отдаленіи отъ которой помѣщенъ экранъ PQ .

На этомъ рисункѣ предполагается, что источникъ посылаетъ простые лучи двухъ родовъ. До боковой грани AB призмы эти лучи идутъ совмѣстно, но затѣмъ, различно преломившись, они направляются по разнымъ путямъ. Лучи, преломившіеся болѣе, идутъ по направленію сплошныхъ линій, а менѣе преломившіеся—по направленію пунктирныхъ. Первые собираются на экранѣ въ точкѣ D , вторые—въ F . Если все установлено правильно, то въ этихъ двухъ мѣстахъ видны свѣтлыя линіи, расположенныя вертикально, какъ щель и какъ грани призмы. Разстоянія между этими лучами, конечно, тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе наши два рода свѣта различаются по преломляемости.

Рис. 25.



Примѣромъ источника, дающаго два рода свѣта, можетъ служить пламя, окрашенное нѣкоторымъ количествомъ поваренной соли. Желтый свѣтъ этого пламени мы разлагаемъ способомъ, который въ существенныхъ чертахъ совпадаетъ съ изображеннымъ на рис. 25. Разница заключается только въ томъ, что мы пропускаемъ свѣтъ послѣдовательно черезъ 4 призмы и пользуемся большимъ числомъ линзъ. Кромѣ того, мы не отбрасываемъ лучи на экранъ, а смотримъ на нихъ

въ зрительную трубу, такъ что экраномъ служить собственно сѣтчатая оболочка глаза наблюдателя. Смотри въ трубу, вы увидите двѣ желтыхъ линіи, лежащія близко другъ къ другу и обусловливаемыя присутствіемъ двухъ разныхъ родовъ свѣта.

Я хочу воспользоваться этимъ случаемъ, чтобы показать вамъ еще одно явленіе, со значеніемъ котораго мы познакомимся въ слѣдующій разъ. Позади пламени, окрашеннаго поваренною солью въ желтый цвѣтъ, я помѣстилъ сильный источникъ свѣта (Друммондовъ свѣтъ) такимъ образомъ, что лучи послѣдняго падаютъ на щель, лишь пройдя черезъ это пламя. Если бы пламени здѣсь не было, то вы увидѣли бы поле зрѣнія зрительной трубы заполненнымъ разноцвѣтнымъ свѣтомъ. Но стоитъ только поставить на пути Друммондова свѣта натровое пламя, какъ на этомъ свѣтломъ фонѣ появятся двѣ тонкихъ *темныхъ* линіи.

Замѣчательно при этомъ то обстоятельство, что эти темныя линіи находятся въ тѣхъ самыхъ мѣстахъ поля зрѣнія, что и свѣтлыя линіи, вызываемыя свѣтомъ одного только пламени съ поваренною солью. Въ этомъ можно убѣдиться, если между фонаремъ съ Друммондовымъ свѣтомъ и пламенемъ поставить непрозрачный экранъ, держать глазъ у трубы и тогда убрать экранъ. Тогда въ трубу сперва попадаютъ лишь желтые лучи пламени поваренной соли, и видны двѣ свѣтлыя линіи. При удаленіи же экрана на ихъ мѣстахъ появляются темныя линіи на свѣтломъ полѣ.

IV.

Свѣтотыя колебанія.

На этотъ разъ мы начнемъ бесѣду съ вопроса о скорости распространенія свѣта. Затѣмъ я докажу вамъ, что отъ свѣтящагося тѣла исходятъ весьма быстрыя колебанія, которыя, достигая нашей сѣтчатой оболочки, вызываютъ зрительное ощущеніе.

Теорія, связанная съ именемъ Христіана Гюйгенса, раскроетъ намъ сущность многихъ явленій, наблюдаемыхъ нами ежедневно, равно какъ и такихъ, на слѣдъ которыхъ напали лишь благодаря искусству наблюдать, доведенному до высокаго совершенства.

Большое затрудненіе при измѣреніи скорости распространенія свѣта является въ томъ, что эта скорость поразительно велика. Что звукъ для того, чтобы достигъ до насъ, требуетъ нѣкотораго вре-

мени, вы можете убѣдиться всякій разъ, какъ видите въ нѣкоторомъ отдаленіи паденіе сваебитной бабы или ударъ молота. Свѣтъ же въ такихъ случаяхъ, да и при всѣхъ нашихъ обычныхъ наблюденіяхъ, наоборотъ, распространяется въ одно мгновеніе, и это вы найдете вполнѣ понятнымъ, если я вамъ скажу, что въ одну секунду онъ можетъ болѣе семи разъ обѣжать вокругъ земли. Разрѣшить указанную задачу впервые оказалось возможнымъ благодаря астрономическимъ явленіямъ, происходящимъ на громадныхъ разстояніяхъ. Впослѣдствіи все-таки французскіе физики Физо и Фуко измѣрили время, необходимое свѣту для прохожденія извѣстнаго разстоянія на землѣ.

При помощи рис. 26 я могу вамъ объяснить принципъ одного изъ примѣненныхъ для этого методовъ. На этомъ рисункѣ L есть свѣтящаяся точка, а SS плоское зеркало, которое чрезвычайно быстро вращается по направленію стрѣлки вокругъ оси, проходящей черезъ точку A перпендикулярно къ плоскости чертежа. Лучи, исходящіе изъ точки L , падаютъ на зеркало и, если послѣднее занимаетъ положеніе, указанное на чертежѣ, отражаются по направленію линіи AC и другихъ линій, мало отъ нея отличающихся по направленію. Отразившись, они должны пробѣжать большое разстояніе въ этомъ направленіи и вернуться обратно,—и задачею является измѣреніе времени, необходимаго для двукратнаго прохожденія этого пути.

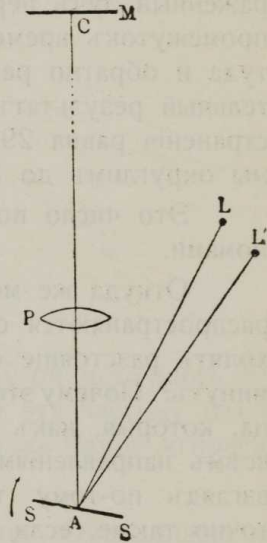


Рис. 26.

Для этой цѣли въ концѣ этого длиннаго пути помѣщается зеркало M , а при P —собирающая линза, которая должна сдерживать лучи другъ около друга на ихъ дальнѣйшемъ пути. Такъ они направляются къ M , отражаются здѣсь, достигаютъ снова зеркала S и вновь собираются въ точкѣ L , изъ которой вышли, если только зеркало находится въ томъ-же положеніи, въ какомъ оно было при первомъ отраженіи лучей. Но—и на этомъ то основанъ весь методъ, —пока свѣтъ пробѣжитъ путь отъ SS до M и обратно, зеркало успѣетъ немного повернуться, а такъ какъ каждое измѣненіе въ направленіи зеркала вліяетъ на направленіе отраженныхъ лучей, то свѣтъ возвратится не въ точку L , а въ точку L' , лежащую немного въ сторону отъ нея.

Если измѣрить это большое разстояніе отъ A до C , разстоя-

ніе AL и маленькое смѣщеніе LL' изображенія и опредѣлить скорость вращенія зеркала, то всѣ необходимыя данныя будутъ на лицо.

Вотъ нѣкоторыя числа, заимствованныя изъ опытовъ американскаго физика Майкельсона. Когда зеркало дѣлало 256·9 оборота въ секунду, разстояніе LL' было равно 13·78 см., такъ что, какъ вы видите, оно вполне измѣримо. Отсюда, вводя въ расчетъ еще длину AL , которая приблизительно равнялась 10 м., Майкельсонъ вычислилъ, что зеркало совершало въ одну 240,000-ую секунды тотъ небольшой поворотъ, который былъ необходимъ для того, чтобы отраженный лучъ перевести изъ направленія AL въ AL' . Этотъ малый промежутокъ времени свѣтъ употребилъ на то, чтобы пробѣжать туда и обратно разстояніе отъ A къ C , равное 62,450 см. Окончательный результатъ Майкельсона былъ тотъ, что скорость распространенія равна 2998. 107 см. въ секунду. Это число для удобства мы округлимъ до $3000 \cdot 10^7$ или $3 \cdot 10^{10}$ см. въ секунду.

Это число почти одинаково съ числомъ, полученнымъ астрономами.

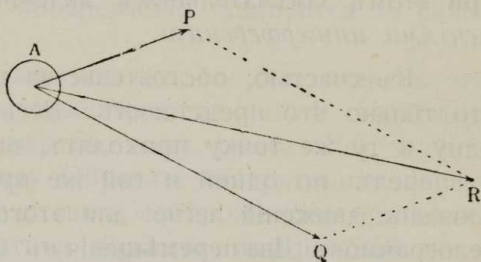
Откуда же мы узнали, что свѣтъ—именно *колебанія*, которыя распространяются съ такою именно скоростью и, на примѣръ, проходятъ разстояніе отъ солнца до земли приблизительно въ восемь минутъ? Почему это не—маленькія, летящія съ такою скоростью тѣльца, которыя, какъ думали прежде, солнце посылаетъ отъ себя по всѣмъ направленіямъ? Мы не имѣемъ права отбросить послѣдній взглядъ по-тому только, что онъ намъ кажется страннымъ. Вѣдь точно также, если слышишь впервые о колебаніяхъ, обладающихъ вышеуказанною скоростью распространенія, то тоже получается впечатлѣніе чего-то необыкновеннаго. Такія впечатлѣнія не должны въ концѣ концовъ имѣть никакого вліянія на наше сужденіе. Мы должны искать отвѣта въ наблюденіяхъ. И если мы въ настоящее время объясняемъ явленіе свѣта колебаніями, то только потому, что въ свѣтовыхъ лучахъ наблюдаются явленія, случающіяся только при колебательныхъ движеніяхъ, и выяснитъ ихъ возможно лишь при помощи методовъ, примѣняемыхъ при изученіи этихъ движеній.

О подобныхъ явленіяхъ при волнахъ на водѣ и при звуковыхъ колебаніяхъ мы уже вкратцѣ говорили, но теперь полезно еще разъ вернуться къ этому. Я имѣю въ виду,—чтобы говорить теперь только о звукѣ,—одновременное существованіе въ воздухѣ колебаній, производимыхъ различными звуковыми источниками. Мы разъ уже мысленнымъ взоромъ обозрѣвали эти сгущенные и разрѣженные слои воздуха и представляемъ себѣ, какъ они пересѣкаютъ другъ друга,

не мѣшая при этомъ другъ другу въ своемъ распространѣніи,—и получили такимъ образомъ картину всего воздушнаго пространства, въ которомъ происходятъ эти движенія.

Позвольте теперь, для опредѣленности, остановить ваше вниманіе на одной точкѣ и на маломъ количествѣ воздуха, которое находится вокругъ нея и которое мы для краткости будемъ называть воздушною частицею. При полномъ отсутствіи звуковъ, эта частица будетъ находиться на одномъ опредѣленномъ мѣстѣ A (рис. 27). Если же она настигнута колебаніями, исходящими изъ какого нибудь источника звука (представьте себѣ сначала только *одинъ* звуковой источникъ), то она оставляетъ это мѣсто и въ опредѣленный моментъ находится, положимъ, въ точкѣ P .

Рис. 27.



Подобнымъ же образомъ какой нибудь другой источникъ звука, если бы онъ одинъ вибрировалъ, вывелъ бы эту частицу изъ ея положенія равновѣсія. Допустимъ, что онъ въ то же самое мгновеніе перенесъ бы частицу въ точку Q .

Правило «сложенія колебаній» очень просто. Оно должно напомнить вамъ параллелограммъ силъ. Соединимъ точку A съ P и Q и построимъ на этихъ линіяхъ AP и AQ , какъ на сторонахъ, параллелограммъ. Четвертая вершина и есть то положеніе, которое займетъ частица подъ одновременнымъ вліяніемъ обѣихъ причинъ движенія. Діагональ AR указываетъ, въ какомъ направленіи она перемѣстилась при этомъ и насколько она удалилась отъ положенія равновѣсія. Намъ нужно было бы нарисовать чертежъ въ несравненно меньшихъ размѣрахъ, если бы мы пожелали представить эти перемѣщенія въ натуральную величину. Конечно, кромѣ того рисунокъ этотъ относится лишь къ *одному* мгновенію, и, если мы его рисуемъ для другихъ моментовъ, то онъ будетъ каждый разъ выходить иначе. Наконецъ, для каждой частицы можно было бы нарисовать особый чертежъ, но мы не станемъ въ это углубляться. Сказаннаго достаточно для того, чтобы вамъ дать представленіе о принципѣ, на основаніи котораго складываются колебанія.

Не трудно также теперь объяснить, что происходит при совмѣстномъ дѣйствиіи не только двухъ или трехъ, но и любого количества звуковыхъ источниковъ, потому что никто не мѣшаетъ намъ движеніе, которое мы получимъ отъ сложенія двухъ колебаній, соединить такимъ же точно образомъ съ третьимъ, а найденное съ четвертымъ, и т. д. Понятно также, что эти выводы примѣнимы ко всѣмъ колеблющимся системамъ. Въ общемъ, мы теперь знаемъ, какъ одновременно можетъ происходить много колебаній и имѣемъ въ распоряженіи средство для пониманія нѣкоторыхъ происходящихъ при этомъ замѣчательныхъ явленій, называемыхъ, обыкновенно, *явленіями интерференціи*.

Къ счастью, обстоятельства не всегда такъ запутаны, какъ я это только что представилъ. Весьма часто случается, что черезъ одну и ту же точку проходятъ два колебанія, двигающія ее назадъ и впередъ по одной и той же прямой линіи, а въ этомъ случаѣ сложеніе движеній легче: для этого не нужно даже строить параллелограммовъ. Два перемѣщенія въ одну и ту же сторону образуютъ вмѣстѣ одно перемѣщеніе, равное ихъ суммѣ. Если же точка выведена изъ положенія равновѣсія двумя силами противоположнаго направленія, то истинное перемѣщеніе ея равно разности перемѣщеній, которыя она претерпѣла бы подъ вліяніемъ каждой изъ этихъ силъ въ отдѣльности, а направленіе перемѣщенія совпадаетъ съ направлениемъ бѣльшей силы. Если, на примѣръ, одна сила перемѣщаетъ точку на пять единицъ длины вправо, а другая—на двѣ такихъ же единицы влѣво, то мы получимъ перемѣщеніе въ три единицы вправо.

Если два колебанія отклоняютъ точку въ одну и ту же сторону, то принято говорить, что эти колебанія—*одинаковой фазы*; если же отклоняютъ въ разныя стороны, то ихъ называютъ *колебаніями противоположныхъ фазъ*. Такимъ образомъ ясно, что два колебанія одной и той же фазы взаимно усиливаются, а два колебанія противоположной фазы, наоборотъ, ослабляютъ другъ друга. Если въ этомъ послѣднемъ случаѣ оба перемѣщенія, которыя намъ нужно сложить, одинаково велики, то точка, находящаяся подъ ихъ вліяніемъ, остается въ покоѣ. Въ этомъ случаѣ оба колебанія взаимно уничтожаются.

То обстоятельство, что два колебанія, смотря по обстоятельствамъ, могутъ усиливать или ослаблять другъ друга, и представляетъ характерную особенность явленій интерференціи. Это, конечно, легче всего обнаружить, если у насъ будетъ возможность сравнивать между собой

эти усиленія и ослабленія такъ, чтобы наше вниманіе было обращено на противоположность между ними. Для этого я намѣренъ познакомить васъ съ однимъ звуковымъ явленіемъ, при которомъ наблюдаемая нами интенсивность явленія попеременно то увеличивается, то уменьшается.

Эти два камертона издають приблизительно одинъ и тотъ же тонъ, такъ что при колебаніи каждаго изъ нихъ въ отдѣльности вы не замѣтите никакой разницы въ тонѣ. Небольшая разница между ними, однако, есть, и вслѣдствіе этого, если я ударю ихъ оба сразу, вы услышите тонъ, который попеременно становится то сильнѣе, то слабѣе.

Объясненія этого явленія искать недолго,—и оно станетъ въ особенности ясно, если я буду основываться на числѣ колебаній этихъ камертоновъ. Для одного камертона оно равно 256, а для другого, положимъ,—252 въ секунду. Обратите теперь вниманіе на вашу барабанную перепонку и представьте себѣ, что она при колебаніи одного только перваго камертона подается внутрь 256 разъ въ секунду, а при колебаніи одного втораго—252 раза. Предположимъ теперь, что въ какой-нибудь опредѣленный моментъ оба звуковые источника двигаютъ барабанную перепонку внутрь. Тогда вы будете ощущать усиленіе тона, и это будетъ продолжаться и при ближайшихъ послѣдующихъ колебаніяхъ. Но скоро наступитъ нѣчто иное. Спустя $\frac{1}{8}$ секунды послѣ этого перваго момента первая причина будетъ снова двигать вашу барабанную перепонку внутрь, такъ какъ въ $\frac{1}{8}$ секун-

ды отъ перваго тона произошло $\frac{256}{8} = 32$ полныхъ колебанія. Ко-

лебаній же, вызванныхъ за это самое время вторымъ камертономъ, произошло $\frac{252}{8} = 31\frac{1}{2}$. Если бы существовали только эти коле-

банія, то барабанная перепонка въ послѣдній моментъ направлялась бы наружу. Такимъ образомъ черезъ $\frac{1}{8}$ секунды послѣ перваго мгновенія мы имѣемъ противоположныя фазы колебанія и, вслѣдствіе

этого, ослабленіе наблюдаемаго звука. Еще черезъ $\frac{1}{8}$ секунды бу-

дутъ совершены соотвѣтственно 64 и 63 колебанія, если считать отъ начальнаго момента, и, слѣдовательно, такъ же, какъ въ началѣ, получатся одинаковыя фазы, результатомъ чего явится усиленіе звука. Я думаю, что излишне продолжать это разсмотрѣніе для того, чтобы сдѣлать вамъ понятнымъ такое правильное чередованіе болѣе слабого и болѣе сильнаго звука.

Въ этомъ заключаются такъ называемыя *біенія*, наблюдаемыя всякій разъ, когда одновременно звучать два тона съ небольшою разницею въ числѣ колебаній. При этомъ быстрота чередованія усиленій и ослабленій звука слѣдуетъ простому правилу. Въ нашемъ примѣрѣ усиленіе звука происходитъ черезъ каждую $\frac{1}{4}$ секунды, такъ что число біеній въ секунду равно 4, т. е. какъ разъ тому же числу, которому равна разность чиселъ колебаній нашихъ двухъ звуковъ,—и это всегда такъ.

Если я надѣну на ножки камертона, издающаго болѣе низкій звукъ, пару маленькихъ каучуковыхъ колець, то онъ, вслѣдствіе увеличенія массы, будетъ колебаться медленнѣе. Теперь число его колебаній еще болѣе отличается отъ числа колебаній другого камертона, и вы слышите, что колебанія въ силѣ звука быстрѣе слѣдуютъ одно за другимъ. Увеличеніе массы другого камертона производитъ противоположный эффектъ.

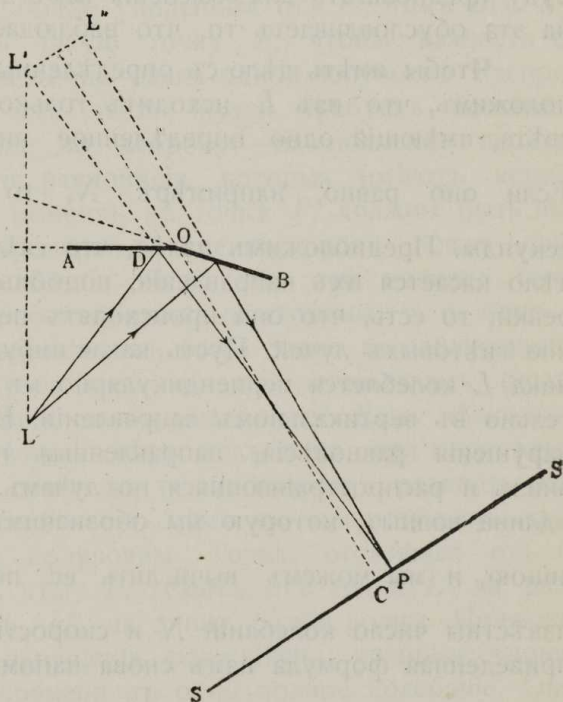
Графическое изображеніе колебательнаго движенія съ біеніями я уже показывалъ вамъ въ предыдущій разъ. Припомните волнообразную линію, волны которой имѣли попеременно то большую, то меньшую амплитуду. Въ дѣйствительности она была получена при помощи мембраны, которая приводилась въ колебаніе двумя мало отличающимися другъ отъ друга тонами и которая была снабжена пишущимъ штифтомъ. Имѣя въ виду дальнѣйшія примѣненія, я уже теперь позволю себѣ замѣтить, что движеніе этой мембраны—или барабанной перепонки, когда мы *слышимъ* біенія,—можно описать двумя совершенно различными способами. Во-первыхъ, я могу сказать, что перепонка производитъ колебаніе, амплитуда котораго подвержена періодическимъ измѣненіямъ; во-вторыхъ, что она одновременно совершаетъ два колебательныхъ движенія, которыя имѣютъ нѣсколько различныхъ числа колебаній, но каждое изъ которыхъ имѣетъ постоянную амплитуду. И то, и другое сводится къ одному. Не подлежитъ никакому сомнѣнію, что колеблющееся тѣло, амплитуда котораго измѣняетъ свою величину, вызываетъ въ окружающей средѣ такія же явленія, какъ если бы мы имѣли дѣло съ системою двухъ колебаній.

Я довольно долго остановился на біеніяхъ по тому, что они, съ одной стороны, сами по себѣ этого заслуживаютъ, а съ другой, по тому, что они могутъ послужить намъ очень хорошимъ первымъ примѣромъ явленія интерференціи. Но то, что мы сейчасъ будемъ наблюдать въ свѣтѣ, представляетъ явленіе нѣсколько иного рода.

Лучи свѣта, усиливающіе и ослабляющіе другъ друга, будутъ имѣть одинаковое число колебаній. Поэтому не можетъ быть и рѣчи о томъ, чтобы въ одной опредѣленной точкѣ наши два колебанія были попеременно то въ одинаковыхъ, то въ противоположныхъ фазахъ. И съ нашею барабанною перепонкою это было бы невозможно въ томъ случаѣ, если бы она колебалась подъ вліяніемъ двухъ звуковыхъ колебаній одинаковой высоты. Разъ фазы обоихъ движеній одинаковы, то онѣ никогда не могутъ стать противоположными—такъ точно, какъ два маятника съ равнымъ періодомъ колебанія никогда не пойдутъ на встрѣчу другъ другу, если одновременно отклонить ихъ вправо.

Чтобы наблюдать чередованіе бѣльшей и меньшей интенсивности звука двухъ тоновъ равной высоты, надобно было бы переходить изъ одной точки пространства въ другую. Дѣйствительно, два звука одного и того же числа колебаній, выходящіе изъ различныхъ точекъ, прекрасно могутъ въ одномъ мѣстѣ усиливать другъ друга, а въ другомъ—ослаблять.

Рис. 28.



Опытъ, который мы сейчасъ намѣрены произвести, былъ придуманъ Френелемъ еще въ началѣ прошлаго столѣтія. AO и OB (рис. 28) — два вертикально (перпендикулярно къ плоскости рисунка) стоящія зеркала, находящіяся почти, но не совсѣмъ въ одной плоскости. L — свѣтящаяся точка, или собственно говоря, освѣщенная вертикальная щель, лучи отъ которой послѣ отраженія попадаютъ на экранъ SS . Въ извѣстной точкѣ этого послѣдняго могутъ сойтись два луча, изъ кото-

рыхъ одинъ отраженъ отъ зеркала AO , а другой—отъ зеркала OB . Съ интерференціею колебаній этихъ-то лучей и придется намъ имѣть дѣло.

Прослѣдимъ сперва ихъ ходъ, пользуясь для этого «изображеніями» L' и L'' свѣтящейся точки, получающимися въ нашихъ двухъ зеркалахъ. Эти точки обозначены на рисункѣ и, если мы желаемъ знать, какіе лучи попадаютъ на ту или другую точку P экрана, то мы соединяемъ ее прямыми линіями съ L' и L'' , а точки пересѣченія этихъ линій съ зеркалами AO и OB соединяемъ съ нашею свѣтящеюся точкою. Такимъ образомъ на рисункѣ получается путь сначала отъ L къ D , затѣмъ отъ D къ P , по которому отраженный отъ AO свѣтъ достигаетъ точки P . Такъ какъ $LD=L'D$, то этотъ путь равенъ по длинѣ прямой линіи $L'P$. Точно также путь, проходимый свѣтомъ, если онъ падаетъ сначала на второе зеркало, равенъ прямой линіи $L''P$. Мы говоримъ о длинѣ этихъ путей, ибо, если свѣтъ есть, дѣйствительно, колебательное движеніе, какъ я это буду предполагать для выясненія вамъ этого опыта, то именно длина эта обуславливаетъ то, что наблюдается на экранѣ.

Чтобы имѣть дѣло съ опредѣленнымъ простымъ случаемъ, предположимъ, что изъ L исходитъ только *одинъ* сортъ однороднаго свѣта, имѣющій одно опредѣленное число колебаній въ секунду. Если оно равно, на примѣръ, N , то время колебанія равно $\frac{1}{N}$ секунды. Предположимъ далѣе, что свѣтовые колебанія, поскольку дѣло касается ихъ направленія, подобны колебаніямъ натянутой веревки, то есть, что они происходятъ перпендикулярно къ направленію свѣтовыхъ лучей. Пусть какая нибудь свѣтящаяся частица источника L колеблется перпендикулярно къ плоскости рисунка, слѣдовательно въ вертикальномъ направленіи. Вслѣдствіе этого образуются нарушенія равновѣсія, направленныя попеременно то вверхъ, то внизъ и распространяющіяся по лучамъ. При этомъ распространеніи «длина волны», которую мы обозначимъ черезъ l , является постоянною, и мы можемъ вычислить ее по формулѣ $l = \frac{v}{N}$, если намъ извѣстны число колебаній N и скорость распространенія v . Вышеприведенная формула намъ снова напоминаетъ, что l есть путь, который свѣтъ пробѣгаетъ въ $\frac{1}{N}$ секунды, т. е. въ то время, въ которое совершается *одно* полное колебаніе. На каждомъ лучѣ свѣтового источника L на разстояніяхъ, равныхъ длинѣ волны, находятся на-

рушенія равновѣсія, одинаково направленныя и вышедшія изъ свѣтящейся точки черезъ промежутки времени, равные періоду колебанія. Наоборотъ, въ двухъ точкахъ, удаленныхъ другъ отъ друга на половину длины волны, одновременно происходятъ противоположныя перемѣщенія, вышедшія изъ свѣтящейся точки одно послѣ другого черезъ половину періода колебанія.

Разсмотримъ теперь на экранѣ точку C (на линіи SS есть только одна такая точка), равно удаленную отъ L' и L'' . Оба пути, ведущіе отъ L къ этой точкѣ, равны между собою и будутъ поэтому пройдены свѣтомъ въ одинаковые промежутки времени. Въ точку C придутъ перемѣщенія, которыя вышли изъ источника L въ одно и то же время и будутъ, слѣд., оба направлены либо вверхъ, либо внизъ. Такія два нарушенія равновѣсія должны другъ друга усилить.

Иначе обстоитъ дѣло вправо и влѣво отъ C . Передвигаясь вправо, мы находимъ мѣста, болѣе удаленныя отъ L' , чѣмъ отъ L'' , и мы можемъ выбрать здѣсь такую точку P , чтобы разность ея разстояній отъ L' и L'' была точно равна одной полуволнѣ. Распространеніе свѣта по первому изъ этихъ путей требуетъ большаго времени, чѣмъ распространеніе по второму,—на половину періода колебанія. Поэтому нарушенія равновѣсія, которыя имѣютъ встрѣтиться въ одинъ и тотъ же моментъ въ точкѣ P , должны быть вызваны источникомъ L разновременно, а именно: одно позже другого на половину періода колебанія. Ясно, что они должны быть направлены непремѣнно въ противоположныя стороны, т. е. одно—вверхъ, а другое—внизъ. Результатомъ всего этого въ наблюдаемой точкѣ явится ослабленіе, а, такъ какъ по обстоятельствамъ опыта амплитуды колебаній одинаковы, то—и *затемнѣніе*. Еще нѣсколько далѣе вправо мы снова встрѣтимъ свѣтъ, такъ какъ, при перемѣщеніи наблюдаемой точки еще далѣе въ ту же сторону, разность нашихъ двухъ путей становится больше, чѣмъ въ предыдущемъ случаѣ, слѣдовательно, больше полуволны. Точка, отстоящая отъ C приблизительно вдвое далѣе, чѣмъ P , лежитъ отъ точки L' на разстояніи болѣемъ, чѣмъ отъ L'' , на длину одной волны. Понятно, что здѣсь встрѣчаются тѣ нарушенія равновѣсія, которыя вышли изъ L съ промежуткомъ времени въ одно полное колебаніе. Они имѣютъ одно и то же направленіе и усиливаютъ другъ друга.

Легко понять, къ чему приведетъ разсмотрѣніе еще болѣе удаленныхъ отъ C точекъ, равно какъ и тѣхъ, которыя лежатъ влѣво

отъ нея. Мы можемъ ожидать, что свѣтъ и темнота будутъ попеременно наблюдаться въ цѣломъ рядѣ точекъ на SS . Это предположеніе оправдывается опытомъ, и такъ какъ мы этотъ опытъ никакъ иначе не можемъ объяснить, то онъ даетъ намъ неопровержимое доказательство существованія свѣтовыхъ колебаній.

Прибавлю еще, что явленіе интерференціи не измѣняется при любомъ направленіи колебаній *), и что пользуясь вертикальною щелью и вертикально поставленнымъ зеркаломъ, мы получимъ на экранѣ свѣтлыя и темныя *интерференціонныя полосы* также вертикальными.

Конечно, этотъ опытъ производили надъ различными сортами простого свѣта, напримѣръ, сначала надъ краснымъ, затѣмъ надъ синимъ, и т. д. При этомъ оказалось, что всѣ цвѣта даютъ свѣтлыя и темныя интерференціонныя полосы, но что разстояніе ихъ другъ отъ друга мѣняется съ измѣненіемъ цвѣта источника.

Въ точкѣ C , согласно теоріи, всегда получается свѣтъ, но первая темная полоса P при синемъ цвѣтѣ ближе къ C , чѣмъ при красномъ. Отсюда мы заключаемъ, что длина волны синяго свѣта меньше, чѣмъ—краснаго. И дѣйствительно, въ каждомъ изъ этихъ двухъ опытовъ половина волны будетъ выражаться разностью разстояній PL и PL'' , а эта разность для синяго свѣта меньше, чѣмъ для краснаго, такъ какъ въ этомъ случаѣ точка P лежитъ ближе къ C .

Теперь мы можемъ предсказать, что намъ придется увидѣть при изслѣдованіи бѣлаго, то есть сложнаго свѣта. Мы должны себѣ представить, что каждый цвѣтъ даетъ свою собственную интерференціонную картину, и что эти картины сливаются въ одну общую картину. Въ точкѣ C мы получимъ всѣ цвѣта вмѣстѣ, слѣдовательно, снова бѣлый цвѣтъ. Но вправо и влево отъ точки C полосы одного цвѣта не будутъ совпадать съ полосами другого. Въ томъ мѣстѣ, напримѣръ, гдѣ, благодаря интерференціи, синій цвѣтъ уничтожается, другіе цвѣта будутъ еще на лицѣ, и мы получимъ общее впечатлѣніе уже не бѣлаго цвѣта, а какого нибудь другого.

Поэтому неудивительно, что по обѣ стороны бѣлой свѣтлой полосы появится нѣкоторое количество разноцвѣтныхъ. Я попрошу васъ подходить по одному и разсматривать эти полосы. Наша уста-

*) Уголъ между линіями $L'P$ и $L''P$, въ дѣйствительности, настолько малъ, что колебанія и въ томъ случаѣ, если они въ точкѣ P перпендикулярны къ лучамъ, но находятся въ плоскости рисунка, будутъ почти противоположны другъ другу и могутъ вслѣдствіе этого почти совершенно уничтожать другъ друга.

новка опыта нѣсколько отклоняется отъ описанной, но это не важно. Я не буду входить въ подробности; точно также мы не будемъ ограничиваться наблюденіями въ свѣтѣ одного опредѣленнаго цвѣта. Если держать на пути лучей красное или синее стекло, то вы можете сразу замѣтить, что въ первомъ случаѣ полосы болѣе удалены другъ отъ друга, нежели во второмъ.

За трудъ, потраченный нами на объясненіе и наблюденіе явленій интерференціи, мы будемъ вознаграждены полученнымъ весьма удовлетворяющимъ насъ общимъ взглядомъ на сущность свѣтовыхъ явленій. Теперь не только устранено всякое сомнѣніе относительно существованія свѣтовыхъ колебаній, но мы узнали также, въ чемъ состоитъ разница между составными частями бѣлаго свѣта. Эту разницу мы теперь усматриваемъ въ длинѣ волны и знаемъ, что послѣдняя является наибольшею для наименѣе преломляемыхъ, то есть для красныхъ лучей, и постепенно уменьшается по направленію къ фіолетовымъ.

Наравнѣ съ длиною волны измѣняется и число колебаній. Скорость распространенія свѣта въ воздухѣ мы можемъ считать одинаковою для всѣхъ цвѣтовъ—и тогда изъ формулы на стр. 54 видно, что малой длинѣ волны соотвѣтствуетъ большое значеніе для N . Слѣдовательно число колебаній или *частота* ихъ увеличивается, если итти къ фіолетовому цвѣту. Такимъ образомъ разница между свѣтомъ различныхъ цвѣтовъ—та же, что и между тонами различной высоты у звука.

Останавливаться на этихъ общихъ соображеніяхъ не стоитъ, а потому постараемся лучше изобразить отличительные признаки различныхъ цвѣтовъ опредѣленными числами. Въ опытѣ Френеля можно измѣрить относительное положеніе щели, зеркалъ и экрана SS , равно какъ и положеніе точекъ C и P . Изъ этихъ данныхъ можно вывести длину $L'P$ и $L''P$, а удвоенная разность этихъ линій равна длинѣ волны.

Такого рода измѣренія, которыя могутъ быть еще болѣе точно произведены при помощи другихъ методовъ, основанныхъ на томъ же принципѣ, показываютъ намъ, что длина свѣтовой волны чрезвычайно мала не только въ сравненіи съ длиною волны звука, но и со всѣми разстояніями, съ которыми намъ обычно приходится имѣть дѣло. Она равна приблизительно 0.00008 см. для крайняго краснаго свѣта, находящагося въ солнечномъ свѣтѣ, и 0.00004 см. —для крайняго фіолетоваго.

Воспользуемся теперь формулою $N = \frac{v}{\lambda}$ и вычислимъ при ея помощи частоту этихъ невидимыхъ колебаній. Вслѣдствіе большой скорости распространенія и малой длины волны, число колебаній въ секунду весьма велико. Для краснаго свѣта оно равно 375 билліонамъ, а для фіолетоваго равно 750 билліонамъ.

Вы, должно быть, уже сами задаете себѣ вопросъ: въ какой же средѣ распространяются эти колебанія? Они приходятъ къ намъ съ отдаленнѣйшихъ небесныхъ свѣтилъ, и поэтому должна же въ міровомъ пространствѣ и внѣ планетныхъ атмосферъ существовать какая то среда, передающая намъ свѣтоты колебанія. Эта среда, представляющая по своимъ свойствамъ все еще великую загадку естествознанія (хотя мы и не совсѣмъ безсильны въ ея разрѣшеніи), есть всепроникающій эфиръ. Я говорю «всепроникающій» по тому, что мы должны представлять себѣ, что эфиръ находится и въ газахъ, и въ жидкостяхъ, и въ твердыхъ тѣлахъ, короче говоря, во всѣхъ видахъ матеріи.

Я надѣюсь, что вы примете это на вѣру и удовлетворитесь однимъ простымъ доказательствомъ, которое относится къ присутствію эфира въ воздухѣ. Скорость распространенія свѣта, какъ уже было упомянуто, была опредѣлена и изъ астрономическихъ наблюденій, и изъ измѣреній на земной поверхности. Найденные въ обоихъ случаяхъ результаты оказались тождественными, или, лучше сказать, опредѣленія были недостаточно точны, чтобы обнаружить небольшую разность между ними.

Такъ какъ найденная астрономами скорость есть, конечно, скорость распространенія въ небесномъ пространствѣ, то согласіе обоихъ результатовъ было бы совершенно необъяснимымъ, если бы воздухъ не содержалъ эфира, и если бы мы имѣли такимъ образомъ дѣло съ распространеніемъ свѣта въ двухъ совершенно различныхъ средахъ. Мы должны предположить, что при распространеніи свѣтового луча въ воздухѣ эфиръ играетъ главную роль, и что лишь незначительное измѣненіе скорости распространенія—и то полученное не прямыми измѣреніями, а косвеннымъ путемъ изъ вычисленій, — должно быть приписано воздушнымъ частицамъ.

Если уже звуковыя колебанія показали намъ много разнообразія, то теперь міръ, окружающій насъ, сталъ для насъ еще богаче, еще поразительнѣе. И не нужно намъ обращаться къ неизмѣримому небесному пространству, пронизываемому лучами свѣта без-

численныхъ солнцъ, лучами, колебанія которыхъ требуютъ много лѣтъ для достиженія нашего глаза. Здѣсь, вокругъ насъ мы находимъ миллионы миллионовъ свѣтовыхъ волнъ, которыя бѣгутъ по всѣмъ направленіямъ другъ за другомъ и которыя имѣютъ такую тонкую организацію, что, напримѣръ, въ волнахъ, которыя въ этомъ залѣ идутъ слѣва направо, заключаются всѣ тѣ особенности, которыя мы могли бы отмѣтить у нихъ на лѣвой сторонѣ зала.

Иногда различныя составныя части бѣлыхъ лучей, каждая изъ которыхъ имѣетъ свой собственный періодъ колебанія, распространяются совмѣстно, и свѣтъ вслѣдствіе этого остается бѣлымъ; въ другихъ случаяхъ, наоборотъ, эти составныя части разъединяются, и тогда происходятъ всевозможныя цвѣтотыя явленія. Иногда эти явленія получаются вслѣдствіе неодинаковой преломляемости различныхъ лучей, какъ, напримѣръ, въ стеклянной призмѣ или въ тѣхъ дождевыхъ капляхъ, которыя совмѣстнымъ дѣйствіемъ производятъ радуго. Случается и такъ, что не вполне прозрачное тѣло *сгнбаетъ* или *поглощаетъ* изъ проходящаго луча одинъ цвѣтъ болѣе остальныхъ. Тогда происходитъ явленіе, которое мы должны себѣ представлять такъ, что свѣтотыя колебанія переходятъ въ движеніе другого рода и теряются для свѣтовыхъ ощущеній. Если стеклянная пластинка пропускаетъ красныя лучи лучше другихъ, то не удивительно, что сквозь нее мы видимъ все окрашеннымъ въ красный цвѣтъ. Цвѣта, которые мы видимъ въ падающемъ свѣтѣ,—какъ, напримѣръ, цвѣтъ этой зеленой скатерти,—возникаютъ также благодаря поглощенію.

Опытъ Френеля уже показалъ намъ, какимъ образомъ получаютъ цвѣта, если нѣкоторыя составныя части свѣта уничтожаются изъ-за интерференціи. Этому явленію вы должны приписать также всѣмъ извѣстныя яркіе цвѣта мыльныхъ пузырей.

Тонкая шарообразная пленка пузыря отражаетъ падающіе лучи, какъ отъ своей внутренней, такъ и отъ своей наружной поверхности, и потому въ какой нибудь точкѣ нашей сѣтчатки могутъ сойтись два движенія, пути которыхъ разнятся на извѣстную величину, а именно на удвоенную толщину стѣнки пузыря. Въ результатъ—интерференція, которая изъ за разницы въ длинѣ волнъ, усиливаетъ лучи одного цвѣта и ослабляетъ другіе, а отъ этого, въ свою очередь, появляется окраска, измѣняющаяся въ зависимости отъ толщины стѣнки и отъ угла паденія.

Другіе тонкіе прозрачныя слои, какъ, напр., плавающая на водѣ масляная пленка, производятъ тѣ же явленія, и теорія свѣтовыхъ ко-

лебаній даетъ полное объясненіе, какъ всѣхъ этихъ явленій, такъ и многихъ другихъ, которыя я не могу даже привести.

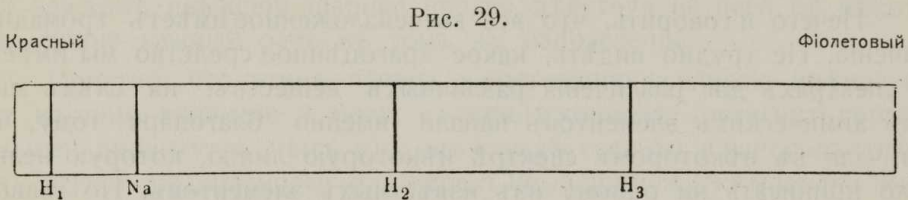
Быть можетъ, васъ удивляетъ, почему мы лишь немногія явленія интерференціи видимъ безъ особенныхъ вспомогательныхъ средствъ. И на этотъ вопросъ вамъ можетъ отвѣтить та же теорія. Причину этого нужно видѣть, во-первыхъ, въ большой протяженности нашихъ источниковъ свѣта, состоящихъ изъ безчисленнаго множества свѣтящихся частицъ; во-вторыхъ, въ большой сложности свойствъ лучей, посылаемыхъ этими источниками, и, въ-третьихъ, въ томъ обстоятельстве, что размѣръ большинства тѣлъ, которыми мы перехватываемъ свѣтовые лучи, очень великъ въ сравненіи съ малыми свѣтовыми волнами.

Вернемся еще разъ къ разложенію сложнаго свѣта при помощи призмы. При помощи установки, изображенной на рис. 25, я бросаю на экранъ цвѣтное изображеніе или, какъ говорятъ, *спектръ* Друммондова свѣта, падающаго на щель. Спектръ этотъ простирается непрерывно отъ краснаго цвѣта до фіолетоваго, и, слѣдовательно, нашъ свѣтъ содержитъ лучи всѣхъ чиселъ колебаній и всѣхъ длинъ волнъ, лежащихъ между вышеназванными границами. Если же мы возьмемъ источникомъ свѣта какое нибудь газообразное тѣло, то получимъ болѣе простыя явленія. Спектръ будетъ состоять тогда изъ большаго или меньшаго числа отдѣльныхъ свѣтлыхъ линій, соотвѣтствующихъ тому же числу различныхъ видовъ простаго свѣта, излучаемыхъ нашимъ свѣтящимся газомъ.

Со спектромъ пламени, окрашеннаго поваренною солью, состоящимъ изъ двухъ весьма близко лежащихъ линій, мы уже познакомились. Столь же недостаточно ярко могу я показать вамъ на экранѣ съ помощью имѣющихся у меня вспомогательныхъ средствъ и другіе линейные спектры. Обычный же способъ наблюденія спектральныхъ линій, это — тотъ, которымъ мы пользовались на прошлой недѣлѣ. Спектры разсматриваютъ въ трубу, въ которую впускаютъ лучи, прошедшіе сквозь узкую щель и преломленные одною или нѣсколькими призмами. Весь этотъ инструментъ, *спектроскопъ*, сталъ важнымъ вспомогательнымъ средствомъ современнаго естествознанія.

Вотъ два маленькихъ спектроскопа обыкновеннаго образца. Передъ щелью одного изъ нихъ находится такъ называемая Гейссле-рова трубка, наполненная разрѣженнымъ водородомъ. Если пропускать чрезъ нее электрическіе разряды, газъ начинаетъ свѣтиться. Другой спектроскопъ направленъ на маленькую электрическую искру,

проскакивающую между двумя желѣзными проволоками. Въ первомъ инструментѣ вы увидите три свѣтлыхъ линіи, которыя образуютъ спектръ водорода; а во второмъ—тѣ виды свѣта, которые изучаетъ желѣзо, улетающее подѣ вліяніемъ жара искры.



На рис. 29 изображено, какое положеніе занимаютъ эти три линіи водорода, H_1 , H_2 , H_3 , по отношенію къ непрерывному, идущему отъ краснаго до фіолетоваго, спектру бѣлаго свѣта. Кромѣ того, тамъ же изображена линія Na ,—при этомъ вслѣдствіе малаго масштаба рисунка изображена одиночною, а не двойною,—которую мы получали съ поваренною солью. Это вещество есть соединеніе металла натрія съ хлоромъ. Тотъ же самый желтый свѣтъ, который мы уже наблюдали, мы получаемъ при внесеніи въ пламя любого изъ соединенийъ этого металла, равно какъ и при сжиганіи кусочка его самого. Поэтому мы предполагаемъ, что соль въ пламени разлагается, и что свѣтъ излучается атомами свободнаго натрія.

То, что вы наблюдаете въ этомъ небольшомъ спектроскопѣ, даетъ только слабое представленіе о томъ множествѣ явленій, какое обнаружено изученіемъ спектровъ, выдѣлившимся въ отдѣльную вѣтвь физики. Болѣе совершенныя средства даютъ намъ возможность распознавать болѣе тонкія линіи, совершенно ускользающія отъ насъ въ этомъ маломъ инструментѣ, и обнаруживаютъ, что линіи, которыя мы сперва признавали простыми, расщепляются на двѣ или на три. Кромѣ того, спектры фотографируютъ и такимъ образомъ расширяютъ область наблюденія тѣми лучами, которыхъ не ощущаетъ болѣе нашъ глазъ,—подобно тому, какъ ухо не слышитъ слишкомъ быстрыхъ колебаній воздуха,—и которые преломляются сильнѣе видимыхъ фіолетовыхъ, по чему и лежатъ за фіолетовымъ концомъ видимаго спектра. Точно такъ же существуютъ „ультра-красные“ лучи, которые преломляются еще слабѣе красныхъ. Къ такимъ лучамъ принадлежатъ тепловые, исходящіе изъ нагрѣтыхъ, но не свѣтящихся тѣлъ.

Насколько такимъ образомъ поле изслѣдованій расширилось, можно видѣть изъ того, что крайніе ультра-красные и ультра-фіолетовые лучи имѣютъ длины волнъ приблизительно въ 0.003 и 0.00001

см., тогда какъ длины волнъ видимыхъ лучей лежатъ въ предѣлахъ между 0·00008 и 0·00004 см.

Спектры особенно богаты линіями въ ультра-фіолетовой части. Часть фотографіи спектра желѣза, изображеніе которой теперь видно на экранѣ, можетъ дать вамъ объ этомъ нѣкоторое представленіе.

Нечего и говорить, что все вышеизложенное имѣетъ громадное значеніе. Не трудно видѣть, какое драгоцѣнное средство мы имѣемъ въ спектрахъ для различенія различныхъ веществъ; на слѣдъ многихъ химическихъ элементовъ напали именно благодаря тому, что замѣчали въ нѣкоторомъ спектрѣ нѣкоторую линію, которую нельзя было приписать ни одному изъ извѣстныхъ элементовъ. Но главная цѣнность всего этого въ теоретическомъ отношеніи заключается въ томъ, что каждая спектральная линія представляетъ опредѣленный сортъ простого свѣта, который имѣетъ опредѣленное количество колебаній и который поэтому можно сравнить съ простымъ тономъ.

Двѣ спектральныя линіи, находящіяся на нѣкоторомъ разстояніи другъ отъ друга, непременно различаются по длинѣ волнъ и притомъ такъ, что, если мы изобразимъ спектръ, подобно тому, какъ на рис. 29, то всегда меньшая длина волны будетъ характеризовать линію, болѣе удаленную вправо. При этомъ я еще замѣчу, что для этихъ строго опредѣленныхъ видовъ свѣта длина волны измѣрена съ наибольшею точностью. Для двухъ линій натрія она равна 0·00005895 и 0·00005889 см., для трехъ линій водорода (на рис. 29) — 0·0000656, 0·0000486 и 0·0000434 см.

То обстоятельство, что атомы элементовъ могутъ совершать колебанія той частоты, которая опредѣляется положеніемъ ихъ спектральныхъ линій, должно, несомнѣнно, зависѣть отъ строенія, отъ свойствъ и отъ размѣровъ этихъ маленькихъ частицъ. Выработка представленій о структурѣ атомовъ, которыя давали бы объясненіе положенію спектральныхъ линій, является крупною задачею для будущаго времени.

Хотя мы отъ этого пока еще далеки, тѣмъ не менѣе мы всегда имѣемъ возможность весьма простыми разсужденіями приходить къ важнымъ выводамъ. Въ этомъ васъ смогутъ убѣдить два явленія, о которыхъ мы теперь вкратцѣ побесѣдуемъ.

Первое изъ нихъ—совмѣстное колебаніе или *резонансъ* одного тѣла другому. Тѣло, способное колебаться съ извѣстнымъ періодомъ, опредѣляемымъ его массою и величиною возвращающей силы, можно привести въ такое движеніе чрезвычайно малыми силами, но при слѣдующемъ условіи: эти силы должны дѣйствовать съ перерывами и

притомъ такъ, чтобы промежуточные паузы были точно равны времени колебанія тѣла. Я сообщаю, на примѣръ, шарикѣ маятника маленькій толчокъ вправо и жду со вторымъ толчкомъ того момента, когда сдвинувшійся съ мѣста маятникъ, возвратившись налѣво, снова начнетъ движеніе вправо. Такимъ образомъ я продолжаю и далѣе, при каждомъ движеніи шарика вправо дѣйствуя на него съ нѣкоторою силою каждый разъ въ томъ же направленіи.

Понятно, что этимъ путемъ я постепенно усиливаю имѣющееся уже на лицо движеніе и могу, въ концѣ концовъ, достигнуть гораздо большей амплитуды, чѣмъ въ томъ случаѣ, если бы я наносилъ толчки безъ всякой правильности или черезъ иные промежутки времени. Вмѣсто того, чтобы дѣйствовать непосредственно на шарикъ, я могу держать его нитку въ рукѣ и двигать верхній конецъ ея слегка въ ту и въ другую сторону, но съ подобающею частотою.

Нѣчто подобное происходитъ при слѣдующемъ опытѣ. На одномъ и томъ же штативѣ привѣшены два маятника, имѣющіе одинаковый періодъ колебанія: одинъ—большой, состоящій изъ стержня съ гирею, а другой—малый, состоящій изъ шарика, висящаго на ниткѣ. Стоитъ мнѣ, какъ вы видите, привести въ колебаніе большой маятникъ, тотчасъ же начинаетъ колебаться и малый, вслѣдствіе тѣхъ малыхъ толчковъ, которые сообщаются штативу первымъ маятникомъ и передаются точкѣ привѣса нити.

Такое же совмѣстное колебаніе, какое мы видимъ здѣсь у двухъ маятниковъ,—такой же резонансъ—происходитъ и въ двухъ звучащихъ тѣлахъ, если только они настроены на одинъ тонъ. Въ послѣднемъ случаѣ колебанія одного тѣла, передаваясь другому черезъ воздухъ, или какъ нибудь иначе, сообщаютъ ему толчки, слѣдующіе одинъ за другимъ съ такою именно быстротою, какая потребна для приведенія второго тѣла въ замѣтное колебаніе. Вы слышите теперь, какъ резонируетъ одинъ изъ этихъ двухъ одинаково настроенныхъ камертоновъ, когда мы ударимъ другой.

Каждый изъ васъ, навѣрное, уже самъ догадался, что эти разсужденія примѣнимы и къ свѣтовымъ колебаніямъ. Мы воспользуемся ими, чтобы объяснить явленіе поглощенія.

Въ какомъ случаѣ свѣтотыя колебанія будутъ сильно поглощаться нѣкоторымъ тѣломъ? Мы имѣемъ основаніе предположить, что въ томъ случаѣ, если они легко могутъ восприниматься частицами тѣла,—а это будетъ тогда, когда эти частицы могутъ колебаться съ такимъ періодомъ, который совпадаетъ съ періодомъ колебанія падающихъ лучей. Газъ, какъ мы видѣли, представляетъ собою тѣло,

частицы котораго въ состояніи производить колебанія съ извѣстными періодами,—и мы можемъ для простоты представить себѣ газъ, способный производить колебанія только *одного* періода и дающій поэтому только *одну* спектральную линію. Если наши разсужденія правильны, то такой газъ будетъ поглощать только тѣ самые лучи, которые обладаютъ тою же частотою, какъ тотъ свѣтъ, который этотъ газъ самъ излучаетъ. Разсуждая такимъ образомъ далѣе, мы можемъ ожидать, что газъ, испускающій лучи свѣта двухъ, трехъ или болѣе опредѣленныхъ длинъ волны, будетъ и поглощать именно лучи тѣхъ же длинъ волнъ.

Быть можетъ, мы упустили изъ виду то или другое обстоятельство въ этихъ разсужденіяхъ, но, во всякомъ случаѣ, они заслуживаютъ того, чтобы мы ихъ подвергли испытанію,—и они дѣйствительно, подтверждаются наблюденіями. Въ прошлый разъ вы уже видѣли этотъ опытъ. Когда мы, разсматривая часть спектра Друммондова свѣта, помѣщали пламя натрія между источникомъ свѣта и щелью, то въ тѣхъ мѣстахъ спектра, гдѣ одно пламя натрія давало двѣ свѣтлыхъ линіи, получались тогда двѣ темныхъ линіи. Это появленіе темныхъ линій, можно объяснить только поглощеніемъ и при томъ настолько сильнымъ, что уменьшеніе свѣта, производимое имъ въ этихъ двухъ мѣстахъ спектра, сильнѣе увеличенія интенсивности, которое вызываетъ лучеиспусканіе самого пламени.

Я долженъ былъ непременно обратить ваше вниманіе на эту замѣчательную связь между лучеиспусканіемъ и поглощеніемъ въ газообразныхъ тѣлахъ для того, чтобы дать вамъ возможность понять значеніе тѣхъ спектровъ, въ которыхъ встрѣчаются темныя линіи. Спектромъ такого рода является, напримѣръ, спектръ солнечнаго свѣта. Уже при наблюденіи его въ малый спектроскопъ, можно замѣтить около семи темныхъ линій. а въ болѣе сильный инструментъ, онѣ видны въ числѣ нѣсколькихъ сотенъ, въ чемъ вы можете убѣдиться, взглянувъ на эту фотографію одной части этого спектра. Эти линіи совпадаютъ какъ разъ со свѣтлыми линіями въ спектрѣ опредѣленныхъ элементовъ,—обстоятельство, позволяющее вывести заключенія о происхожденіи этихъ линій. Онѣ могутъ быть вызваны только поглощеніемъ, которое претерпѣваетъ свѣтъ, проходя черезъ пары, содержащіе соотвѣтствующіе элементы. Такъ, напр., изъ того обстоятельства, что въ солнечномъ спектрѣ встрѣчается та же самая двойная темная линія, которую мы получали на прошлой недѣлѣ при помощи пламени натрія, заключаютъ, что въ атмосферѣ

солнца есть пары натрія, которые поглощаютъ свѣтъ, излучаемый болѣе глубокими слоями этого небеснаго свѣтила.

Другое явленіе, на которое я хочу обратить ваше вниманіе, состоитъ во вліяніи, оказываемомъ движеніемъ звукового или свѣтового источника относительно наблюдателя на число воспринимаемыхъ послѣднимъ колебаній. Я уже раньше замѣтилъ, что, когда колеблется какое нибудь звучащее тѣло, то каждая точка окружающаго воздуха, а также и барабанная перепонка наблюдателя, движется назадъ и впередъ и притомъ столь же часто, какъ и частицы самого звукового источника. Но при этомъ само собою предполагалось, что звуковой источникъ остается все время на одномъ и томъ же разстояніи отъ наблюдателя. Тогда два одинаковыхъ нарушенія равновѣсія, сообщаемыя воздуху колеблющимся тѣломъ черезъ промежутокъ времени, равный времени *одного* полного колебанія, должны проходить одинъ и тотъ же путь. Поэтому они будутъ достигать барабанной перепонки съ тѣми же промежутками, съ какими они производятся другъ за другомъ звуковымъ источникомъ.

Дѣло, конечно, измѣнится, если колеблющееся тѣло въ промежутокъ между первымъ и вторымъ нарушеніемъ равновѣсія приблизится къ наблюдателю. Въ такихъ случаяхъ второму возмущенію придется пройти меньшій путь, нежели первому, для чего потребуется и меньше времени. Вслѣдствіе этого промежутокъ времени между этими двумя моментами прибытія будетъ настолько меньше, насколько ускоряется прибытіе второго возмущенія, благодаря укороченію пути. Если же мы имѣемъ дѣло со звуковымъ явленіемъ, то барабанная перепонка при приближеніи колеблющагося тѣла, должна будетъ вдавливаться внутрь чаще, а вслѣдствіе этого воспринимаемый нами тонъ станетъ выше. По той же причинѣ при удаленіи, звукового источника тонъ становится ниже.

Вы можете замѣтить эти измѣненія тона, напр., если вы прислушаетесь къ паровому свистку проходящаго мимо васъ локомотива. Непосредственно послѣ того, какъ поѣздъ пройдетъ мимо, звукъ становится болѣе низкимъ.

Замѣнимъ теперь въ нашемъ воображеніи звучащее тѣло небеснымъ свѣтиломъ, у котораго одна газообразная составная часть испускаетъ опредѣленный родъ простого свѣта, а воспринимающее ухо—спектроскопомъ. Разсуждая по предыдущему, мы убѣждаемся, что движеніе небеснаго свѣтила по направленію къ землѣ должно увеличивать число колебаній, приходящихъ въ одну секунду къ щели нашего прибора и, что, наоборотъ, это число будетъ меньше,

если это небесное свѣтило будетъ удаляться отъ земли. Въ первомъ случаѣ въ спектроскопѣ получится такая же картина, какъ если бы на щель попадали лучи, исходящіе изъ неподвижнаго свѣтового источника, но съ нѣскольکو бѣльшимъ числомъ колебаній. Это обстоятельство должно вызвать смѣщеніе линіи въ сторону фіолетоваго цвѣта. Понятно, что удаленіе звѣзды отъ насъ повлечетъ за собою смѣщеніе линіи въ противоположную сторону.

Разъ мы знаемъ отношеніе скорости звѣзды къ скорости свѣта, мы можемъ вычислить, насколько измѣнится число колебаній, и, наоборотъ, возможно было бы вычислить скорость небеснаго тѣла, если бы удалось вывести это измѣненіе числа колебаній изъ смѣщенія спектральныхъ линій *).

Благодаря любезности профессора Фогеля изъ Потсдама я могу вамъ показать на экранѣ фотографію спектра звѣзды α изъ созвѣздія Быка. Вы видите въ немъ нѣкоторое количество темныхъ линій, слѣдовательно, линій поглощенія, къ которымъ эта теорія примѣнима въ той же мѣрѣ, какъ и къ свѣтлымъ. Рядомъ вы видите линіи спектра желѣза, который былъ сфотографированъ одновременно со спектромъ звѣзды въ томъ же самомъ инструментѣ. Бросается въ глаза, что каждой линіи желѣза соотвѣтствуетъ линія въ спектрѣ звѣзды, но при этомъ всегда нѣсколько смѣстившаяся. Это смѣщеніе направлено въ сторону бѣльшихъ длинъ волнъ и, слѣдовательно, показываетъ, что звѣзда отъ насъ удаляется. Измѣривъ это смѣщеніе, профессоръ Фогель вывелъ, что звѣзда удаляется отъ земнаго шара со скоростью въ 75 км, въ секунду.

Такого рода наблюденія, которыя особенно важны по тому, что движеніе небеснаго тѣла, совершающееся по направленію линіи зрѣнія, никакимъ инымъ способомъ не можетъ быть наблюдаемо, начали производить въ 1887 г., а 4 года спустя въ потсдамской физической обсерваторіи были уже измѣрены движенія 47 звѣздъ. Съ тѣхъ поръ такого рода наблюденія производятся во многихъ обсерваторіяхъ, и, какъ замѣчаетъ Фогель, можно ожидать, что благодаря этому методу наши свѣдѣнія относительно міра неподвижныхъ звѣздъ

*) Допустите, напримѣръ, что звѣзда приближается со скоростью, равной $\frac{1}{1000}$ части скорости свѣта. Въ такомъ случаѣ она въ теченіе одного колебанія приблизится къ намъ на разстояніе, равное $\frac{1}{1000}$ части длины волны, и второму колебанію сберегаетъ то время, которое пришлось потратить первому на прохожденіе этого маленькаго разстоянія. Это сбереженное время равно $\frac{1}{1000}$ времени полнаго колебанія. Поэтому наблюдаемое время колебанія равно $\frac{999}{1000}$ истиннаго періода.

расширятся въ теченіе нынѣшняго столѣтія въ такой же мѣрѣ, какъ расширились въ прошломъ столѣтіи свѣдѣнія о солнечной системѣ.

Я не могу не упомянуть еще объ особенно замѣчательныхъ выводахъ, сдѣланныхъ на основаніи наблюденій надъ нѣкоторыми звѣздами. Линіи звѣзды Альголя безпрестанно мѣняють свое положеніе, совершая колебаніе туда и назадъ въ періодъ приблизительно трехъ дней. Это явленіе возможно объяснить только предположеніемъ, что звѣзда то приближается, то удаляется отъ насъ. Такое движеніе станетъ понятнымъ, если представить себѣ, что она описываетъ окружность, которую мы видимъ сбоку. Такъ какъ время обращенія извѣстно, а скорость можно вывести изъ смѣщенія спектральныхъ линій, то не трудно вычислить величину окружности, а слѣдовательно, и радіусъ круга. То обстоятельство, что мы даже при помощи лучшихъ телескоповъ, вовсе не замѣчаемъ этого движенія, отнюдь не удивительно, ибо эта звѣзда находится слишкомъ далеко отъ насъ.

Какъ мы знаемъ, ни одно тѣло не можетъ описывать кругообразный путь, если на него не дѣйствуетъ какая нибудь сила по направленію къ центру этой окружности; поэтому непременно должно быть на лицо нѣкоторое другое тѣло, которое притягиваетъ обращающуюся вокругъ звѣзду. Это тѣло должно быть темнымъ, такъ какъ въ противномъ случаѣ оно давало бы спектръ, линіи котораго смѣшались бы уже иначе, чѣмъ наблюдаемыя. На самомъ дѣлѣ было уже давно замѣчено, что сила свѣта Альголя мѣняется и притомъ съ тѣмъ же самымъ періодомъ. Въ настоящее время это явленіе приписывается тому обстоятельству, что темное тѣло одинъ разъ при каждомъ обращеніи звѣзды проходитъ передъ нею и отчасти скрываетъ ее отъ нашихъ глазъ.

Такимъ же способомъ обнаружено существованіе нѣсколькихъ двойныхъ звѣздъ. У однѣхъ изъ нихъ оказались не только смѣщеніе, но даже раздвоеніе линій, причемъ послѣднее сперва возрастаетъ до извѣстной степени, затѣмъ исчезаетъ, снова появляется и т. д. И здѣсь объясненіе лежитъ не далеко: двѣ звѣзды, обѣ свѣтящіяся, движутся вокругъ общаго центра такъ, какъ могутъ двигаться два тѣла подъ вліяніемъ силы ихъ взаимнаго тяготѣнія.

Если одна изъ нихъ движется по направленію къ намъ, то другая удаляется отъ насъ, такъ что линіи ихъ отклоняются въ различныя стороны; при обратномъ же пути звѣздъ эти линіи идутъ другъ къ другу и на короткое время совпадаютъ. Это объясненіе подтверждается тѣмъ, что иногда часть линій смѣщается въ одну

сторону, а другая часть—въ противоположную. Въ такомъ случаѣ одна группа линій принадлежитъ первому, а другая—второму небесному свѣтилу.

V.

Молекулярныя движенія.

Свѣтовые явленія показали намъ, что всюду, даже тамъ, гдѣ нѣтъ ни твердаго, ни жидкаго, ни газообразнаго тѣла, находится среда, называемая эфиромъ. Онъ остается въ сосудахъ, изъ которыхъ мы выкачиваемъ воздухъ до наивысшей степени разрѣженія, достигаемой современными средствами, и сохраняетъ при этомъ, насколько намъ извѣстно, тѣ же свойства, какія имѣетъ эфиръ мірового пространства. Такимъ образомъ эта среда обнаруживаетъ однородность, которою она удивительно отличается отъ всѣхъ тѣлъ, непосредственно воспринимаемыхъ нашими органами чувствъ и при этомъ столь разнообразныхъ. Поэтому она должна представлять собою нѣчто совершенно иного рода.

Чтобы выразить эту разницу, мы можемъ обозначить обыкновенныя тѣла терминомъ „матерія“, который мы не будемъ примѣнять къ эфиру, или же можемъ говорить о „въсомой матеріи“ въ противоположность „невъсому“ эфиру. Этотъ способъ выраженія вполне умѣстенъ, такъ какъ у насъ нѣтъ никакого основанія предполагать, что эфиръ подчиняется всеобщей силѣ тяготѣнія, что онъ имѣетъ „вѣсъ“.

Физики прежняго времени предполагали существованіе еще другихъ не имѣющихъ вѣса веществъ, такъ называемыхъ „невѣсомыхъ“. Старые учебники по химіи начинаются статьею о „теплородѣ“, который, по ихъ мнѣнію, заключается въ каждомъ тѣлѣ и притомъ въ тѣмъ большемъ количествѣ, чѣмъ выше температура тѣла. Частицы его должны были отталкиваться, чтобы этимъ вызывалось вѣсма извѣстное расширеніе тѣла отъ нагрѣванія.

Такимъ способомъ, безъ сомнѣнія, можно было объяснить многое, напр., переходъ теплоты изъ теплаго тѣла въ холодное при ихъ прикосновеніи или передачу теплоты отъ конца металлическаго стержня, находящагося въ огнѣ, къ части, находящейся снаружи. Но при разсмотрѣніи другихъ ежедневно наблюдаемыхъ нами явленій, представились большія трудности, которыя при ближайшемъ разслѣдованіи оказались непреодолимыми,—и поэтому теплородъ, съ общаго согласія, долженъ былъ уступить мѣсто другой точкѣ зрѣнія.

Каждый знаетъ, какъ можно нагрѣть два тѣла, если тереть или ударять ихъ другъ о друга; какъ нагрѣваются оси колесъ вагоновъ желѣзной дороги, какъ разгорячается пила или молотокъ при работѣ ими; и никто не могъ бы сказать, откуда въ такихъ случаяхъ берется теплородъ, который содержится въ тѣлахъ послѣ нагрѣванія въ большемъ количествѣ, чѣмъ прежде.

Напротивъ того, вы легко безъ длинныхъ словъ поймете это явленіе, если современное естествознаніе объяснить вамъ, что въ данномъ случаѣ видимое движеніе всего тѣла переходитъ въ невидимое движеніе тѣхъ небольшихъ частицъ, молекулъ, изъ которыхъ состоитъ тѣло. Вамъ не трудно будетъ себѣ представить, что при треніи молекулы, вслѣдствіе многочисленныхъ мелкихъ толчковъ, приводятся въ движеніе, и вы найдете это представленіе тѣмъ болѣе естественнымъ, что вы уже знаете, что теплое тѣло возбуждаетъ колебанія въ эфирѣ, а это было бы невозможно, если бы оно само не было вмѣстилищемъ нѣкотораго движенія.

Такимъ образомъ мы переходимъ къ обширной области молекулярныхъ движеній, изъ которой я намѣреваюсь сегодня кое-что почерпнуть. Я остановлюсь при этомъ исключительно на газообразныхъ тѣлахъ, такъ какъ они обладаютъ наиболѣе простыми свойствами, и вслѣдствіе этого мы подвинулись впередъ въ ихъ молекулярной теоріи дальше всего.

Изъ свойствъ газа особенно бросается въ глаза его безграничная способность расширяться. Если мы заключимъ нѣкоторое количество воздуха, имѣющаго плотность воздуха въ атмосферѣ, въ цилиндръ съ выдвижнымъ поршнемъ, то мы можемъ поднять поршень такъ, что емкость цилиндра увеличится въ 10 или даже 100 разъ,—и газъ будетъ сейчасъ же распространяться по всему пространству, которое мы ему предоставимъ. Если же мы будемъ держать поршень неподвижно, то воздухъ будетъ все-таки, такъ сказать, стремиться къ расширенію. Вслѣдствіе этого онъ оказываетъ нѣкоторое *давленіе* во всѣ стороны.

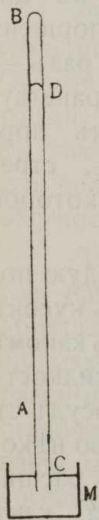
Точно также воздухъ и въ этой комнатѣ давитъ на каждую поверхность, съ которою онъ соприкасается. Онъ давитъ на этотъ кусокъ дерева; давитъ съ обѣихъ сторонъ на этотъ листъ бумаги, въ какомъ бы направленіи я ни держалъ этотъ листъ; онъ вгоняетъ жидкость вверхъ по трубкѣ, нижній конецъ которой погруженъ въ сосудъ съ водою, если я, втягивая воздухъ черезъ верхній конецъ, удалю нѣкоторую часть его изъ трубки. Такъ какъ способность газа къ расширенію безгранична, то давленіе его никогда не уничтожается, какъ

бы мы ни увеличивали его объемъ. И если даже я въ нашемъ цилиндрѣ подниму поршень на высоту, въ миллионъ разъ большую первоначальной, то газъ все-таки будетъ производить извѣстное давленіе, хотя и ничтожное.

Современная физика объясняетъ все это движеніемъ воздушныхъ молекулъ. Она заставляетъ эти молекулы двигаться по всѣмъ направленіямъ со скоростью, которая тѣмъ больше, чѣмъ выше температура газа. Она заставляетъ эти частицы то сталкиваться другъ съ другомъ, то налетать на стѣнки сосуда или на другіе ограничивающіе предметы, и въ этой бомбардировкѣ этихъ послѣднихъ она видитъ причину давленія газа. Что касается характера этого движенія, то физика дѣлаетъ относительно него наиболѣе простыя предположенія.

Молекулы газа настолько малы, что онѣ въ дѣйствительности заполняютъ, вѣроятно, лишь $\frac{1}{1000}$ часть занимаемаго газомъ пространства и могутъ оказывать другъ на друга замѣтныя силы лишь при соприкосновеніи или непосредственно передъ этимъ. Въ промежуткѣ между двумя столкновеніями молекула не подвержена никакой силѣ, если не считать силы тяжести, которая при не слишкомъ большихъ массахъ газа играетъ подчиненную роль. Поэтому каждая молекула будетъ двигаться прямолинейно. Но при каждомъ столкновеніи направленіе движенія будетъ измѣняться, и, слѣдовательно, каждая частица совершаетъ неправильное зигзагообразное движеніе.

Рис. 30. Чтобы не ограничиться этимъ общимъ разсужденіемъ, мы вычислимъ скорость, съ которою должны двигаться частицы воздуха, чтобы производить наблюдаемое давленіе. Предположимъ, что это давленіе есть обыкновенное атмосферное давленіе, и спросимъ себя поэтому прежде всего, какова величина этого давленія. Это давленіе намъ показываетъ всѣмъ извѣстный барометръ. Въ сосудѣ *М* со ртутью (рис. 30) погружена вертикальная запаянная сверху трубка *AB*, не заключающая вовсе воздуха, въ чемъ мы можемъ убѣдиться, если достаточно наклонимъ ее. При этомъ ртуть наполняетъ ее до верху, а при приведеніи трубки въ вертикальное положеніе снова возвращается назадъ. Замѣтимъ попутно, что послѣ опусканія ртути въ пространствѣ надъ нею долженъ находиться эфиръ, ибо въ противномъ случаѣ свѣтъ не могъ бы проходить черезъ него, и что этотъ эфиръ не могъ бы туда проникнуть, если бы онъ не обладалъ способностью проходить сквозь стекло или ртуть.



Но теперь дѣло не въ эфирѣ: на сегодня онъ внѣ нашей программы. Теперь намъ нужно только выяснитъ себѣ, какимъ образом давленіе внѣшняго воздуха на поверхность ртути S поднимаетъ жидкость вверхъ по трубкѣ, но не выше опредѣленной точки D , такъ что трубка, если она достаточно длинна, не можетъ быть наполнена ртутью доверху, а должна непременно заключать надъ жидкостью безвоздушное пространство.

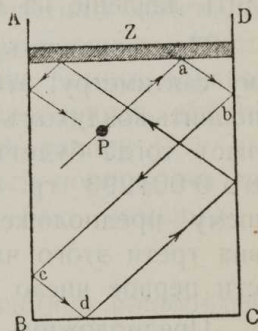
Что лишь разность высотъ уровня ртути въ трубкѣ и сосудѣ является мѣрою воздушнаго давленія, ясно само собою. Если бы не было атмосферы, то ртуть въ трубкѣ могла бы быть поднята на такую высоту только въ томъ случаѣ, если бы мы могли довести жидкость въ сосудѣ до того же уровня, какъ D . Отсюда мы заключаемъ, что поверхность ртути въ сосудѣ надавливается воздухомъ внизъ такъ же сильно, какъ если бы на нее давила масса ртути такой высоты, которую даетъ точка D .

Эта высота не постоянно одинакова. Чтобы имѣть передъ глазами опредѣленный случай, предположимъ, что она равна 76 см. и притомъ въ такомъ барометрѣ, который наполненъ ртутью при 0°Ц . Каждый кубическій сантиметръ этой ртути вѣситъ 13·6 гр.

Теперь мы можемъ оставить барометръ въ сторонѣ и представить себѣ, что надъ этою горизонтальною поверхностью стола находится слой ртути толщиной въ 76 см. Тогда надъ каждымъ квадратнымъ сантиметромъ поверхности будутъ находиться 76 куб. см., — и вѣсъ ихъ, равный $76 \cdot 13 \cdot 6 = 1030$ гр., придется нести этой части стола. Выразимъ это въ нашихъ единицахъ силы, динахъ. Такъ какъ дина равна $\frac{1}{981}$ вѣса одного грамма, то наша сила оказывается равною $1030 \cdot 981 = 1,010,000$ динъ.

Такъ велико давленіе не только на одинъ квадрат. см. доски стола, но и на всякую поверхность такой величины. Слѣдовательно, такъ же велико давленіе на каждый кв. см., которое производятъ молекулы на поршень цилиндра $ABCD$ (рис. 31), если мы наполнимъ его воздухомъ вышесказанной плотности. Такъ какъ мы хотимъ вычислить скорость движенія молекулъ при нѣкоторой опредѣленной температурѣ, то предположимъ, что послѣдняя равна 0°Ц .

Рис. 31.



При этомъ вычисленіи мы позволимъ себѣ нѣкоторыя вольности, излишнія для опытнаго математика. Прежде всего оставимъ безъ

вниманія взаимныя столкновенія частицъ. На это мы имѣемъ полное право, такъ какъ болѣе глубокое изслѣдованіе показало, что эти взаимныя столкновенія, если только частицы достаточно малы, не оказываютъ никакого вліянія на давленіе газа на стѣнки,—какъ это, собственно говоря, понятно и безъ вычисленія. Въ самомъ дѣлѣ, положимъ, что молекула P , изображенная на рисункѣ, стремится къ поршню и черезъ нѣкоторое время достигаетъ его, Въ этомъ моментъ она прибавитъ кое какое дѣйствіе къ давленію на поршень. Но можетъ случиться, что эта частица, прежде чѣмъ достигнуть поршня, будетъ задержана другою частицею и отброшена ею назадъ. Такъ какъ она уже не ударится о поршень, то съ перваго взгляда можетъ показаться, что давленіе вслѣдствіе этого станетъ меньше. Вспомнимъ, однако, что та частица, которая летѣла сверху и задержала частицу P , сама, въ свою очередь, будетъ отброшена назадъ къ поршню, между тѣмъ какъ безъ этого она продолжала бы двигаться ко дну сосуда. Тогда станетъ ясно, что благодаря этому указанное уменьшеніе давленія на поршень можетъ быть возмѣщено.†

Второе упрощеніе нашего изслѣдованія мы найдемъ въ формѣ сосуда. Выберемъ въ качествѣ такового кубъ, нижнею гранью котораго служить дно BC , а верхнею—поршень Z . Собственно говоря, каждая молекула летаетъ по пространству по линіи, подобной $Pabcd$; но мы предположимъ—и это тоже при болѣе подробномъ изслѣдованіи окажется вполне оправдываемымъ,—что то же самое получится, если одна треть молекулъ будетъ двигаться взадъ и впередъ въ вертикальномъ направленіи между BC и Z , если другая треть будетъ двигаться перпендикулярно къ боковымъ поверхностямъ AB и CD , и если послѣдняя треть движеніемъ спереди назадъ и обратно будетъ производить давленіе на переднюю и заднюю стѣнки куба.

Предположимъ, наконецъ, что ребро нашего куба равно одному сантиметру; это мы имѣемъ право сдѣлать, такъ какъ можемъ наполнить воздухомъ данной плотности сосудъ произвольной величины. У насъ тогда будетъ, какъ оказывается изъ взвѣшиванія воздуха, всего 0.001293 гр. воздуха, и слѣд., масса молекулъ, которыя, по нашему предположенію, являются причиною давленія на поршень, равна трети этого числа, то есть 0.000431 гр. Обозначимъ для краткости первое число черезъ m , а второе—черезъ $\frac{1}{3} m$.

Предположимъ далѣе, что скорость молекулъ равна v см. въ секунду; это и будетъ нашею неизвѣстною величиною. Въ промежутокъ времени между двумя ударами о поршень, частица должна пробѣжать

путь, равный 2 см., а именно: 1 см. внизъ и 1 см. вверхъ. Сколько разъ этотъ путь заключается въ v сантиметрахъ, проходимыхъ частицею въ одну секунду, столько разъ она ударится о поршень въ теченіе секунды. Поэтому каждая частица встрѣчается съ поршнемъ въ секунду $\frac{v}{2}$ разъ.

Теперь мы должны еще ближе рассмотреть то, что происходитъ при одномъ ударѣ; будемъ представлять при этомъ, что стѣнка сосуда дѣйствительно каждый разъ приобретаетъ нѣкоторую опредѣленную скорость. Вычислимъ, какъ накаплиются эти дѣйствія въ теченіе одной секунды,—и тогда по скорости, приобретенной поршнемъ за единицу времени, выведемъ величину силы, дѣйствующей на поршень. Движеніе, сообщенное послѣднему, зависитъ, конечно, отъ массы его. Для простоты предположимъ, что эта масса въ тысячу разъ больше массы одной трети газа, находящагося въ кубѣ, то есть той массы, съ которою мы теперь имѣемъ дѣло.

Каждая молекула будетъ ударять о поршень $\frac{1}{2}v$ разъ въ секунду и, если скорости всѣхъ молекулъ равны, то это число одинаково для всѣхъ нихъ. Мы можемъ представлять себѣ, что всѣ частицы подходятъ къ стѣнкѣ сосуда одновременно, тогда, слѣд., каждый разъ будетъ подходить къ стѣнкѣ вся масса въ $\frac{1}{3}m$ гр.

Въ ударѣ мы должны различать два періода. Въ первый изъ нихъ скорость частицъ уничтожается силою, оказываемою на нихъ поршнемъ. Сила, способная сдѣлать это, сообщила бы молекуламъ скорость v , если бы дѣйствовала на нихъ въ теченіе такого же времени по направленію движенія.

Далѣе, мы знаемъ, что сила, съ какою частицы дѣйствуютъ на поршень, равна по величинѣ силѣ, съ которою поршень дѣйствуетъ на частицы въ противоположномъ направленіи. Такимъ образомъ мы видимъ, что, во время первой части удара, на поршень дѣйствуетъ такая сила, которая можетъ сообщить массѣ, равной $\frac{1}{3}m$, скорость, равную v . Въ тысячу разъ большей массѣ поршня эта сила можетъ поэтому сообщить скорость въ 1000 разъ меньшую, то есть скорость $0.001 v$.

Въ теченіе второй половины удара каждая частица приобретаетъ скорость v , съ которою и удаляется отъ стѣнки сосуда. Исходя изъ прежняго принципа, мы найдемъ отсюда, что и въ этомъ случаѣ поршню сообщается скорость, равная $0.001 v$.

Итакъ, отъ *одного* удара поршень, въ совокупности, получаетъ скорость въ $0.002 v$, а, разъ ударовъ будетъ $\frac{1}{2}v$, то скорость, которую газъ сообщаетъ поршню въ теченіе *одной* секунды, выразится въ сантиметрахъ въ секунду числомъ

$$0.002 v. \frac{1}{2}v = 0.001 v^2.$$

Это число мы должны умножить на количество граммовъ, содержащихся въ массѣ поршня, чтобы получить силу въ динахъ. Такъ какъ число граммовъ въ массѣ поршня равно $1000. \frac{1}{3} m$, то сила будетъ равна

$$p = 1000. \frac{1}{3} m. 0.001 v^2 \text{ или}$$

$$p = \frac{1}{3} m v^2 \text{ динамъ.}$$

Слѣдуетъ замѣтить, что полученный результатъ не измѣнился бы, если бы мы приняли массу поршня въ 10,000 или въ 1,000,000 разъ большею, чѣмъ масса одной трети газа. Одинъ изъ множителей при этомъ вычисленіи отъ этого уменьшился бы, но за то другой во столько же разъ увеличился бы,

Найденное число выражаетъ давленіе на одинъ кв. сантиметръ поверхности поршня. Но это давленіе равно 1,010,000 динъ; слѣдовательно,

$$\frac{1}{3} m v^2 = 1,010,000,$$

$$\text{а такъ какъ} \quad \frac{1}{3} m = 0.000431,$$

$$\text{то} \quad v^2 = \frac{1,010,000}{0.000431} = 2,340,000,000.$$

Самая скорость будетъ, слѣдовательно, выражаться числомъ, которое, будучи умножено само на себя, даетъ эту величину. Такимъ образомъ она равна

$$v = 48,000 \text{ см. въ секунду.}$$

Отсюда видно, что мы не преувеличиваемъ, говоря, что молекулы быстро летаютъ туда и назадъ.

Формула

$$p = \frac{1}{3} m v^2$$

показываетъ намъ еще, что, съ одной стороны, при одинаковой плотности газа давленіе увеличивается вмѣстѣ съ температурою (такъ какъ v при этомъ становится больше), а съ другой стороны, что давленіе будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше количество газа, заключеннаго въ опредѣленной части пространства. Поэтому подъ m нужно подразумѣвать массу газа, заключенную въ одномъ кубическомъ сантиметрѣ.

Въ этотъ глубокій сосудъ со ртутью погружена у меня запаянная сверху трубка, подобная трубкѣ барометра въ сосудѣ M (рис. 30). Но въ ней надъ ртутью заключено нѣкоторое количество воздуха, вслѣдствіе чего ртуть опустилась ниже, чѣмъ въ барометрической трубкѣ. Это—молекулы воздуха давятъ на жидкость внизъ, ударяясь безъ устали о поверхность ртути.

Я могу, однако, погрузить трубку глубже во ртуть. Этимъ я, понятно, сожму отдѣленную часть воздуха до меньшаго объема. Теперь тѣ же самыя молекулы воздуха въ такой же періодъ времени будутъ чаще ударяться о ртуть. Дѣйствительно, наприм., тѣ частицы, которымъ приходилось пробѣгать вдоль всего столба воздуха, будутъ теперь, такъ какъ этотъ столбъ укоротился, наносить удары поверхности жидкости черезъ меньшіе промежутки времени. Вы видите на опытѣ, что, когда я опускаю трубку внизъ, уровень ртути движется въ ту же сторону, хотя и на меньшія разстоянія. Само собою разумѣется, что при поднятіи трубки давленіе воздуха внутри ея уменьшается, и уровень ртути поднимается.

Держа трубку на одной и той же высотѣ, я могу вызвать пониженіе ртути еще тѣмъ, что буду нагрѣвать воздухъ, какъ это дѣлаю я теперь. Быстрое движеніе частицъ въ пламени, являющееся слѣдствіемъ химическихъ процессовъ, происходящихъ при сгораніи свѣтильнаго газа, передается молекуламъ внѣшняго слоя стеклянной трубки; стекло проводитъ затѣмъ эту теплоту внутрь, то есть внѣшнія частицы сообщаютъ свое усиленное молекулярное движеніе внутреннимъ. Наконецъ, увеличивается скорость движенія и частицъ воздуха, слѣдствіемъ чего является пониженіе уровня ртути.

Представленіе о столь быстромъ движеніи молекулъ, какое мы выше вывели изъ теоріи, несомнѣнно кажется на первый взглядъ нѣсколько невѣроятнымъ; но теорія, тѣмъ не менѣе, блестяще преодолѣла всѣ сдѣланныя ей возраженія. На томъ обстоятельстве, что движеніе это невидимо и неосязуемо, я думаю, мнѣ врядъ ли нужно останавливаться. Невидимо оно потому, что молекулы не познаваемы намъ по одиночкѣ. Что же касается осязательности, то, собственно говоря, мы можемъ ощущать движеніе молекулъ въ такой

же мѣрѣ, какъ вѣтерѣ. Вѣдь и вѣтерѣ мы ощущаемъ лишь чрезъ то давленіе, которое онъ производитъ на насъ,—и, въ сущности, эти два случая вовсе не такъ уже различны между собою. Разница между ними—въ томъ, что частицы не перемѣщающагося поступательно воздуха производятъ одинаковое давленіе по всѣмъ направленіямъ. Кромѣ того, во всѣхъ жидкостяхъ и газахъ, которые содержатъ наше тѣло, господствуетъ то же давленіе, что и во внѣшнемъ воздухѣ.

Прежде чѣмъ итти далѣе, я позволю себѣ обратить ваше вниманіе на то, что въ движущейся воздушной массѣ происходятъ движенія двоякаго рода, а именно: невидимое направленное во всѣ стороны молекулярное движеніе и движеніе всего газа, какъ одного цѣлага. Это можно выразить еще иначе, а именно сказать, что въ стоящемъ на мѣстѣ газѣ молекулы движутся по всѣмъ направленіямъ въ одинаковой мѣрѣ, тогда какъ въ движущемся газѣ преобладаетъ какое нибудь опредѣленное направленіе движенія.

Немаловажнымъ нужно считать и слѣдующее соображеніе. Если молекулы газа движутся со скоростями въ нѣсколько сотъ метровъ въ секунду, то они могли бы перелетать черезъ эту комнату въ чрезвычайно короткое время, и слѣдовало бы ожидать, что должно было бы наступить непрерывное и весьма быстрое смѣшеніе различныхъ слоевъ воздуха. Такого рода смѣшеніе на самомъ дѣлѣ происходитъ, но протекаетъ оно достаточно медленно. Когда воздухъ въ этомъ залѣ не приводится въ весьма сильную циркуляцію вслѣдствіе разности температуръ, то можетъ протечь довольно значительный промежутокъ времени, пока на одной сторонѣ зала почувствовался бы запахъ какого нибудь газа, добываемаго на другой сторонѣ.

Какъ же согласовать это явленіе съ быстрымъ движеніемъ молекулъ и какъ объяснить способность тяжелаго газа, напримѣръ, угольной кислоты, оставаться продолжительное время въ открытомъ стаканѣ или на днѣ пещеры, если молекулы обладаютъ такими скоростями, что благодаря имъ онѣ могли бы подниматься, вопреки силъ тяжести, на тысячу метровъ вверхъ?

Теорія опровергаетъ эти возраженія, призывая на помощь себѣ соудареніе частицъ другъ о друга. Если вдуматься глубже въ суть дѣла, то окажется, что частицѣ, при всей ея громадной скорости, не уйти съ нею далеко. Она ежемгновенно наталкивается на какую нибудь другую молекулу и описываетъ изъ-за этого зигзагообразную линію, состоящую изъ весьма короткихъ отрѣзковъ. Вслѣдствіе

этого, пройдя въ общей сложности цѣлый километръ, она, можетъ быть, даже на одинъ миллиметръ не удалится отъ исходной точки.

Математика дала намъ возможность разобраться и въ этихъ запутанныхъ явленіяхъ движенія, а именно, дала возможность изъ скорости, съ какою смѣшиваются два газа, вывести длину пути, пробѣгаемаго молекулою въ промежутокъ времени между двумя столкновеніями.

При той температурѣ и плотности воздуха, какія онъ имѣетъ въ этой комнатѣ, длина этого пути въ среднемъ равна 0.00001 см. Ясно, что здѣсь можетъ быть рѣчь только объ опредѣленіи средней величины. Движенія безчисленныхъ молекулъ весьма не равномерны, и для одной молекулы условія пройти спокойно между сосѣдними молекулами могутъ быть благопріятнѣе, чѣмъ для другой.

Въ общемъ намъ приходится въ теоріи газовъ имѣть дѣло со средними числами, и даже число, найденное для скорости, мы не можемъ разсматривать такъ, какъ будто всѣ молекулы имѣютъ какъ разъ эту скорость. Если только двѣ частицы столкнутся другъ съ другомъ, и подобно упругимъ шарикамъ отскочатъ одна отъ другой, то, въ большинствѣ случаевъ, возникаетъ различіе въ скоростяхъ, даже если до столкновенія скорости ихъ были еще одинаковы. Очень возможно даже, что нѣкоторыя частицы, вслѣдствіе ряда послѣдовательныхъ удачныхъ столкновеній, приобретутъ скорость, которая будетъ вдвое или даже въ десять разъ больше средней скорости, исчисленной нами. Но, конечно, такіе исключительные случаи являются только незначительною частью общаго числа случаевъ.

Если я скажу вамъ еще, что на основаніи явленій, которыхъ я здѣсь не могу разбирать, число молекулъ—по довольно точной оцѣнкѣ—въ одномъ куб. сантиметрѣ окружающаго насъ воздуха оказалось выраженнымъ семнадцатизначнымъ числомъ, передъ вами будетъ довольно хорошая картина дѣйствительности. Вы видите также, что, при разсмотрѣніи распространенія звука съ его сгущеніями и разрѣженіями, мы можемъ смѣло представлять себѣ количество воздуха, заключающееся въ одномъ куб. миллиметрѣ, и слѣдить за колебаніями, которыя оно совершаетъ, и за измѣненіями плотности, претерпѣваемыми имъ ежемгновенно. Намъ нечего при этомъ опасаться, что такое незначительное количество воздуха, на которое мы обращаемъ наше вниманіе, ускользнетъ изъ нашихъ рукъ и въ мгновение ока разсѣется по всѣмъ направленіямъ. Извнѣ нѣкоторыя частицы проникнутъ къ намъ, но, какъ мы видѣли, лишь на 0.00001

см. вглубь—большая же часть этихъ частицъ будетъ отброшена назадъ. Точно также громадное большинство частицъ, вышедшихъ за предѣлы нашего кубическаго миллиметра, тотчасъ же будетъ отброшено обратно. Именно вслѣдствіе этихъ взаимныхъ столкновеній частицы въ теченіе конечнаго промежутка времени будутъ оставаться вмѣстѣ, и взятое нами небольшое количество воздуха сохранить свою индивидуальность. Это количество воздуха, почти совсѣмъ не принимая въ свой составъ новыхъ частицъ, можетъ нѣсколько перемѣщаться туда и назадъ всею своею массою въ то время, какъ частицы его быстро летаютъ взадъ и впередъ, и можетъ при этомъ мѣнять свою плотность то больше, то меньше, подъ вліяніемъ бомбардировки частицъ изъ окружающаго пространства.

Подобныя небольшія количества воздуха, состоящія въ свою очередь изъ безчисленнаго множества молекулъ, а не отдѣльныя молекулы мы имѣли въ виду, когда обсуждали явленія распространенія звука.

Я познакомлю Васъ еще съ тремя явленіями, которыя являются особенно подходящими для того, чтобы убѣдить васъ въ правильности излагаемой мною теоріи. Для объясненія перваго изъ нихъ здѣсь у меня рядомъ привѣшены на нитяхъ большой и малый шарики изъ слоновой кости. Пусть малый шарикъ изображаетъ молекулу газа, а большой—поршень, о который она ударяется. Я держу неподвижно большой шаръ и заставляю малый шарикъ падать на него съ извѣстною скоростью,—въ такомъ случаѣ нашъ шарикъ возвращается назадъ съ такою же скоростью. То же самое приблизительно будетъ и въ томъ случаѣ, если большой шаръ до толчка находится въ покоѣ, не будучи задерживаемъ непосредственно. Иное дѣло будетъ, если въ моментъ толчка большой шаръ движется навстрѣчу малому съ извѣстною скоростью. При такомъ условіи малый шарикъ, какъ вы видите, отскакиваетъ на большую высоту, чѣмъ та, съ которой мы его пустили. Если, напротивъ, большой шаръ до толчка движется въ одномъ направленіи съ малымъ, то скорость малаго послѣ столкновенія съ большимъ становится меньше первоначальной.

Примѣнимъ все это къ уже рассмотрѣнному нами случаю цилиндра, наполненнаго газомъ и закрытаго поршнемъ. Вообразите, что я вгоняю поршень внутрь. Каждая молекула, сталкивающаяся съ нимъ, возвращается назадъ съ нѣсколько большею скоростью, и потому средняя скорость частицъ газа должна увеличиться. Дѣй-

ствительно, если известное число молекулъ приобрѣло усиленное движеніе, то это движеніе не теряется при взаимныхъ столкновеніяхъ, но распредѣляется между всѣми частицами.

Большая скорость молекулярнаго движенія обозначаетъ однако болѣе высокую температуру. Поэтому слѣдуетъ ожидать, что сжатіе газа вызоветъ повышеніе температуры. Подобное же разсужденіе приводитъ насъ къ выводу, что разрѣженіе газовъ должно сопровождаться охлажденіемъ.

Эти измѣненія температуры известны уже съ давнихъ поръ и могутъ быть легко наблюдаемы, если мы позаботимся о томъ, чтобы въ одномъ случаѣ повышенное молекулярное движеніе не передалось въ слишкомъ большой степени стѣнкамъ сосуда и окружающимъ предметамъ, а во второмъ случаѣ,—чтобы потеря теплоты не была возмѣщена передачею молекулярнаго движенія извнѣ. Простѣйшее средство къ достиженію такихъ условій заключается въ томъ, чтобы *быстро* измѣнять объемъ. Тогда для замѣтнаго обмѣна тепла между газомъ и стѣнками сосуда нѣтъ времени.

Не обязательно, чтобы подвижною стѣнкою цилиндра былъ непременно поршень. Если бы мы дали быстро опуститься ртути въ трубкѣ, которою мы только что пользовались, то температура замкнутого въ ней воздуха точно также понизилась бы. Точно также ничего не измѣняется въ сути этихъ явленій, если гдѣ либо въ нѣкоторой, занимающей известное пространство, массѣ воздуха происходятъ мѣстные уплотненія или разрѣженія.

Мы уже говорили, что, вслѣдствіе короткаго пути между двумя столкновеніями, одна воздушная масса можетъ отталкивать молекулы встрѣчной массы и такимъ образомъ играть ту же роль, что поршень въ нашемъ цилиндрѣ. Если положимъ, что объемъ одной части нѣкоторой воздушной массы долженъ уменьшиться, въ такомъ случаѣ, очевидно, и сосѣдніе слои воздуха должны сдвинуться другъ къ другу, и тогда молекулы нашей части будутъ, отскакивая отъ этихъ слоевъ, приобрѣтать большую скорость.

Повышеніе температуры отъ сжатія можно показать при помощи такъ называемаго „пневматическаго огнива“,—прочной, запаянной съ одного конца стеклянной трубки, въ которую быстро вводится поршень. Нагрѣваніе воздуха замѣчаютъ по воспламененію примѣшанныхъ къ нему въ небольшомъ количествѣ паровъ сѣроуглерода.

Для демонстраціи обратнаго явленія наполнимъ этотъ стеклянный колоколь *влажнымъ* воздухомъ. Стоитъ мнѣ теперь соединить его съ пространствомъ, наполненнымъ разрѣженнымъ воздухомъ, какъ тотчасъ же появляется туманъ, служащій доказательствомъ охлажденія. Всѣ эти явленія поддаются точному учету, показывающему, напримѣръ, что, если воздухъ въ 15°Ц. моментально сжать до одной пятой его первоначальнаго объема, то температура повысится до 280°Ц.

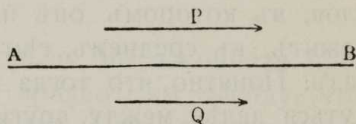
Нѣтъ ничего удивительнаго въ томъ, что явленіе, которое выражается столь рѣзко, можетъ играть важную роль и въ практикѣ, и въ природѣ. Мы должны, напримѣръ, считаться съ этимъ при наблюденіи распредѣленія температуры въ атмосферѣ. Въ послѣдней безпрестанно происходятъ то болѣе сильныя, то болѣе слабыя теченія воздуха, и притомъ не только въ горизонтальномъ, но мѣстами и въ вертикальномъ направленіи вверхъ и внизъ. Было бы, однако, весьма ошибочнымъ предполагать, что вслѣдствіе этого движенія температура воздуха должна становиться повсюду одинаковою, подобно температурѣ перемѣшиваемой воды. Масса воздуха, стремящаяся вверхъ, поступаетъ подъ меньшее давленіе, расширяется вслѣдствіе этого и, слѣдовательно, должна охлаждаться, тогда какъ опускающійся воздухъ сжимается, вслѣдствіе чего является нагрѣваніе. Если же перемѣщенія происходятъ такимъ образомъ, что опускающееся вещество не можетъ не согрѣваться, а поднимающееся вверхъ не можетъ не охлаждаться, то въ результатѣ выходитъ, что температура никоимъ образомъ не можетъ быть повсюду одинаковою и будетъ непремѣнно понижаться отъ нижнихъ слоевъ къ верхнимъ. И, дѣйствительно, существующая разница въ температурѣ между различными слоями атмосферы приблизительно такова, какою она должна быть согласно этимъ выводамъ.

Второе явленіе, которымъ мы займемся, есть такъ называемое внутреннее треніе газа. Мы знаемъ, что кусокъ дерева, которымъ я двигаю по столу, испытываетъ со стороны послѣдняго нѣкоторую силу, силу тренія, препятствующую движенію, и что онъ самъ съ такою же силою стремится потянуть за собою столъ. Нѣчто подобное происходитъ и тогда, когда два слоя жидкости или газа движутся съ неодинаковою скоростью параллельно раздѣляющей ихъ поверхности. Въ такомъ случаѣ между ними возникаетъ дѣйствіе, которое стремится уничтожить разницу скоростей и, слѣдовательно, замедляетъ движеніе одного изъ нихъ и ускоряетъ движеніе другого.

Въ газообразныхъ тѣлахъ объясняемъ мы это весьма своеобразно.

Намъ нѣтъ необходимости предполагать между этими двумя частями газа дѣйствительную *силу*. Гораздо существеннѣе обратить вниманіе на движеніе молекулъ. Черезъ плоскость AB (рис. 32) происходитъ непрерывный обмѣнъ частицъ, благодаря которому молекулы слоя Q , принимающія участіе въ медленномъ теченіи этого слоя, будутъ замѣщаться молекулами, приходящими изъ слоя P и обладающими большею скоростью вправо. При этомъ скорость, обнаруживаемая вправо слоемъ Q , какъ цѣлымъ, и непосредственно нами воспринимаемая, конечно, должна будетъ увеличиться. То, что происходитъ при этомъ, можемъ мы, коротко говоря, назвать смѣшеніемъ слоевъ неравной скорости, и хотя это смѣшеніе, по приведеннымъ уже нами причинамъ, совершается довольно медленно, но вычисленія показываютъ, что его достаточно для объясненія наблюдаемыхъ явленій.

Рис. 32.



Наблюденія можно производить всевозможными способами. Я замѣчу только, что чрезъ внутреннее треніе пластинка, сдѣланная изъ твердаго вещества и движущаяся поступательно въ своей собственной плоскости, можетъ потянуть за собою другую пластинку, установленную параллельно ей. Пластинка, конечно, прежде всего вовлекаетъ въ движеніе воздухъ въ непосредственномъ сосѣдствѣ съ нею. Этотъ слой вслѣдствіе смѣшенія молекулъ передаетъ движеніе слѣдующему слою, этотъ послѣдній—третьему и т. д., пока, наконецъ, вторая пластинка не будетъ подхвачена въ движеніе прилегающимъ слоемъ воздуха.

Это явленіе я могу демонстрировать при помощи двухъ круглыхъ листочковъ слюды, укрѣпивъ ихъ, подобно стрѣлкѣ компаса, на иглахъ такъ, чтобы они могли вращаться въ собственной плоскости. Они находятся подъ этимъ стекляннымъ колоколомъ такъ, что центръ одного лежитъ надъ центромъ другого. Я могу при помощи магнита, привести во вращеніе нижній кружокъ, къ которому прикрѣплены двѣ намагниченныхъ стальныхъ иглы. Тогда верхній тоже начинаетъ вращаться, какъ вы увидите на изображеніи ихъ на экранѣ.

Спрашивается теперь, какое вліяніе будетъ имѣть разрѣженіе воздуха подъ колоколомъ на это явленіе, иначе говоря, на внутреннее треніе? Конечно, при этомъ количество частицъ, проходящихъ въ опредѣленное время черезъ нѣкоторую поверхность—напр. че-

резъ *AB* на рис. 32—уменьшится, что, само по себѣ, уже могло бы повести къ уменьшенію передачи движенія. Но этому препятствуетъ нѣчто другое. При опытѣ съ нашими кружками, скорость горизонтальныхъ слоевъ воздуха, конечно, постепенно мѣняется снизу вверхъ, и то же можемъ мы представить и для рис. 32. Передача движенія черезъ нѣкоторую поверхность зависитъ, очевидно, не только отъ числа частицъ, принимающихъ въ немъ участіе, но также и отъ того, изъ какихъ слоевъ сверху и снизу относительно *AB* вышли эти частицы. Чѣмъ выше слой, изъ котораго несутся внизъ молекулы, тѣмъ болѣе движенія вправо передадутъ онѣ внизъ.

Частицы принимали участіе въ поступательномъ движеніи того слоя, въ которомъ онѣ получили послѣдній толчекъ, а слой этотъ лежитъ, въ среднемъ, тѣмъ дальше отъ *AB*, чѣмъ болѣе разрѣженъ газъ. Понятно, что тогда молекула имѣетъ больше шансовъ протиснуться далѣе между другими молекулами. Точное вычисленіе показываетъ, что это второе вліяніе разрѣженія какъ разъ уравниваетъ уменьшеніе числа частицъ, проходящихъ черезъ поверхность, и такимъ образомъ внутреннее треніе остается тѣмъ же самымъ, даже при значительномъ уменьшеніи плотности. Въ данномъ случаѣ мы уменьшаемъ эту плотность при помощи воздушнаго насоса приблизительно до $\frac{1}{5}$ первоначальной величины, но, не смотря на это, я съ прежнимъ успѣхомъ могу привести въ движеніе одинъ кружокъ посредствомъ другого *).

Я остановился на этомъ нѣсколько подробнѣе потому, что независимость внутренняго тренія отъ плотности, по моему мнѣнію, не можетъ быть никакъ иначе объяснена, какъ при помощи молекулярнаго движенія. Это явленіе достойно вниманія еще и потому, что оно было предсказано теоріею прежде, чѣмъ было наблюденно.

Третьяго явленія я не могу вамъ воспроизвести, такъ какъ оно обнаруживается только при тонкихъ изслѣдованіяхъ спектральныхъ линій свѣтящихся газовъ. Такая линія имѣетъ всегда опредѣленную ширину, которая можетъ быть отчасти приписана ширинѣ щели и извѣстному несовершенству спектроскопа, отчасти же свойственна самому источнику свѣта. Напримѣръ, увеличеніе плотности свѣтящагося газа,—по причинамъ, въ которыя я теперь не могу вдаваться,—вліяетъ такъ, что спектральныя линіи становятся шире. Майкель-

*) При дальнѣйшемъ разрѣженіи можно достигнуть того, что молекулы будутъ безпрепятственно перелетать отъ одного кружка къ другому. Если послѣ этого плотность еще болѣе уменьшится, то передача движенія съ одного кружка на другой начнетъ становиться меньше.

сонъ при помощи остроумнаго косвеннаго метода, который зиждется на изученіи явленій интерференціи, смогъ изслѣдовать, въ какой мѣрѣ можно расширение линій приписать вліянію различныхъ причинъ. Онъ обнаружилъ, что сильно разрѣженный газъ, даже если изслѣдовать его спектръ вполне совершеннымъ спектроскопомъ, все-таки давалъ бы линіи опредѣленной весьма незначительной ширины, и это обстоятельство онъ объясняетъ движеніемъ молекулъ. Каждая такая частица, вслѣдствіе своихъ колебаній, испускаетъ свѣтъ и перемѣщается въ это же время въ пространствѣ поступательно, причемъ эти движенія производятъ частицы по всѣмъ направленіямъ. Нѣкоторыя изъ нихъ при этомъ приближаются къ наблюдателю, а другія—удаляются отъ него.

Вспомнимъ теперь разсужденіе, которымъ мы закончили предыдущую бесѣду. Въ такомъ случаѣ мы приходимъ къ выводу, что тѣ частицы, которыя не приближаются къ намъ и не удаляются отъ насъ, даютъ линіи на своемъ истинномъ мѣстѣ, и что полосы, которыя вызываются другими частицами, должны быть нѣсколько сдвинутыми вправо и влево отъ этого положенія. Но, такъ какъ смѣщеніе вслѣдствіе различія скоростей можетъ быть различнымъ, то въ результатѣ должна получиться одна полоса нѣкоторой опредѣленной ширины. Ширину дѣйствительныхъ полосъ Майкельсонъ нашелъ въ полномъ соотвѣтствіи съ тѣмъ, что мы знаемъ относительно скорости молекулъ, и мнѣ кажется, что въ правильности этого объясненія нельзя сомнѣваться.

Если я не ошибаюсь въ этомъ пунктѣ, то Майкельсонъ далъ намъ прямое доказательство движенія молекулъ газа, и поразительно, что оно является подобнымъ тому, какое даютъ намъ спектры звѣздъ для движенія небесныхъ тѣлъ.

Все вышесказанное представляетъ собою, по природѣ дѣла, лишь весьма малую долю молекулярныхъ теорій. Если бы время позволило, то я охотно остановилъ бы ваше вниманіе на различіи скоростей въ различныхъ газахъ, а также на весьма запутанномъ, подчасъ, строеніи молекулъ, состоящихъ изъ большаго или меньшаго количества атомовъ, наименьшихъ частицъ химическихъ элементовъ. Я могъ бы изложить вамъ, какъ въ молекулѣ въ то время, какъ она поступательно движется, какъ одно цѣлое, можетъ происходить внутреннее движеніе атомовъ, изъ которыхъ она состоитъ,— какъ будто она является планетною системою въ миниатюрѣ, только не имѣющею *одного* центральнаго тѣла, которое можно было бы сравнить съ солнцемъ. Но обойдемъ все

это молчаніемъ и бросимъ также лишь издали взглядъ на внутреннее состояніе жидкостей,—область, въ которую профессоръ Ванъ-деръ-Ваальсъ указалъ путь современнымъ физикамъ. Я укажу лишь только на то, что здѣсь выступаетъ на первый планъ притяженіе, оказываемое молекулами другъ на друга на весьма маломъ разстояніи. Это притяженіе частицъ, вопреки ихъ обычному движенію, сплочиваетъ ихъ въ пространствѣ, которое уже не является, какъ въ газахъ, превосходящимъ во много разъ общій объемъ самихъ молекулъ. Промежутки между молекулами теперь сравнимы съ ихъ размѣрами.

Что же касается, наконецъ, твердыхъ тѣлъ, то въ нихъ мы опять встрѣчаемся съ совершенно иными условіями. Мы и здѣсь должны представить себѣ частицы раздѣльными, но молекулярныя силы стали здѣсь прочными связями. Притяженія, а также и отталкиванія, обусловливаютъ для каждой частицы определенное положеніе равновѣсія, вокругъ котораго она колеблется при повышеніи температуры все сильнѣе и сильнѣе, и изъ котораго ее лишь немного смѣщаютъ внѣшнія силы, деформирующія тѣло. Быть можетъ, все это показываетъ, что всѣ молекулярныя дѣйствія представляютъ собою слѣдствіе состоянія эфира въ маленькихъ промежуточныхъ пространствахъ между молекулами. Если это вѣрно, то окажется, что желѣзнодорожный поѣздъ, проходящій черезъ мостъ, удерживается на немъ въ концѣ концовъ натяженіями въ эфирѣ, которыя, какъ упругія ленты, скрѣпляютъ другъ съ другомъ частицы желѣза.

VI.

Электрическія явленія.

Если обойти молчаніемъ электрическія явленія, то можно было бы получить весьма несовершенное представленіе, какъ о современныхъ идеяхъ физики, такъ и о работѣ и стремленіяхъ изслѣдователей въ ея области. Поэтому я рѣшилъ, что я долженъ предложить вамъ сегодня побесѣдовать объ этихъ явленіяхъ,—хотя здѣсь я еще болѣе, чѣмъ въ предыдущихъ случаяхъ, сознавалъ трудность этого вслѣдствіе обширности предмета. Къ счастью, я могу при этомъ руководиться теоріею, которая въ своихъ основныхъ чертахъ можетъ быть легко понята каждымъ и которая дастъ намъ возможность обнять многое несмотря на краткость очерка.

Я могу, я думаю, предполагать извѣстнымъ, что существуютъ два противоположныхъ электрическихъ состоянія, которыя мы для различія называемъ положительнымъ электрическимъ состояніемъ и отрицательнымъ—. Какъ-то мимоходомъ я упоминалъ уже о томъ, что два куска стекла, натертые шелкомъ, пріобрѣтаютъ способность отталкивать другъ друга и притягивать палочку сургуча, натертую кошачьимъ мѣхомъ. Двѣ сургучныхъ палочки, съ которыми съ обѣими поступили такимъ образомъ, взаимно отталкиваются. Всѣ эти свойства мы можемъ выразить весьма просто, если натертое стекло назовемъ положительно-электрическимъ, а натертый сургучъ—отрицательно-электрическимъ. Тогда у насъ получается слѣдующее правило: два положительно наэлектризованныхъ или, какъ часто говорятъ также, положительно заряженныхъ тѣла взаимно отталкиваются, равно какъ и въ томъ случаѣ, когда оба они заряжены отрицательно. Если же одно заряжено положительно, а другое—отрицательно, то они взаимно притягиваются. Короче говоря, два одноименно наэлектризованныхъ тѣла отталкиваются, а два неоднородно или противоположно наэлектризованныхъ—притягиваются.

Это правило относится не только къ стеклу и сургучу. Мы можемъ привести въ электрическое состояніе много другихъ тѣлъ, но всегда окажется, что они производятъ либо такое же дѣйствіе, какъ стекло, либо такое, какъ сургучъ. Третьяго случая не бываетъ. Если теперь всякое тѣло, проявляющее такія же электрическія свойства, какъ натертое стекло, назвать положительнымъ, а всякое, дѣйствующее подобно, сургучу,—отрицательнымъ, то наше правило окажется общимъ,

Въ опытахъ съ треніемъ различныхъ тѣлъ другъ о друга особенно поразительно то, что, если при этомъ одно изъ нихъ получаетъ электрическій зарядъ, то другое непременно получаетъ такой же, и притомъ эти два заряда обязательно—противоположнаго рода. Это явленіе привело къ гипотезѣ, что, какъ положительные, такъ и отрицательные заряды уже заранѣе, тѣмъ или другимъ образомъ, присутствовали въ тѣлахъ, но были взаимно нейтрализованы, и, что треніе *отдѣлило* ихъ другъ отъ друга. Такимъ образомъ пришли къ теоріи, которая будетъ служить намъ руководящею нитью.

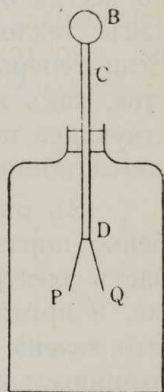
Не вдаваясь въ самую сущность электрическаго заряда, представимъ себѣ, что во всякомъ веществѣ находятся чрезвычайно малыя частицы, одна половина которыхъ имѣетъ неизмѣнный положительный, а другая—постоянный отрицательный зарядъ. Мы такимъ образомъ представляемъ себѣ, что, если бы мы могли производить

опыты съ этими частицами по одиночкѣ, то замѣтили бы тѣ же самыя явленія, какъ и при опытахъ со стеклянными или сургучными стержнями, только въ весьма уменьшенномъ видѣ.

Я долженъ по справедливости прибавить „въ весьма уменьшенномъ видѣ“, потому что мы должны заранѣе имѣть въ виду, что это—мельчайшія частицы изъ всѣхъ, съ которыми приходится имѣть дѣло въ естествознаніи, что онѣ меньше даже атомовъ, и съ болѣе глубокими основаніями для такого предположенія мы встрѣтимся въ дальнѣйшемъ. Эти положительно и отрицательно наэлектризованныя тѣльца мы называемъ *электронами* и приписываемъ имъ такое повсемѣстное распространеніе, что ни одна частица вѣсомой матеріи не свободна отъ нихъ, и каждое тѣло содержитъ ихъ въ безчисленномъ количествѣ. Легко понять, что во всякомъ предметѣ, отъ котораго не исходитъ электрическихъ дѣйствій, положительныхъ и отрицательныхъ электроновъ находится поровну. Что касается эфира, то его мы не будемъ заселять электронами. Эфиръ есть среда, которая должна озабочиваться передачею всѣхъ дѣйствій между заряженными частицами, но которой самой мы должны приписывать совершенно инныя свойства.

Запасшись этими представленіями, продѣлаемъ нѣкоторые опыты. Для этого мы воспользуемся простымъ инструментомъ; *электроскопомъ съ золотыми листочками*. Черезъ пробку стеклянной бутылки (рис. 33) проходитъ металлическій пруть *CD*, верхній конецъ котораго снабженъ головкою *B*, а нижній—двумя очень тонкими золотыми листочками *P* и *Q*. Послѣдніе висятъ сперва вертикально внизъ; но лишь только оба они получаютъ зарядъ того же знака, какъ они тотчасъ же отталкиваются другъ отъ друга. Расхожденіе листочковъ, которое мы видимъ на изображеніи этого прибора на стѣнѣ, служитъ намъ доказательствомъ наличности электрическаго состоянія.

Рис. 33.



Начну съ того, что потру металлическую головку эту стекляною палочкою,—вы видите, что листочки тотчасъ же расходятся. Зарядъ нашего инструмента теперь отрицательный, то есть металлическій стержень съ головкою и золотыми листочками получилъ теперь излишекъ отрицательныхъ электроновъ. Это могло произойти либо благодаря переходу отрицательныхъ электроновъ со стеклянной палочки на металлъ, либо потому, что положительные электроны, которыми сначала нейтрализовалось дѣйствіе отрицательныхъ, пе-

решили на нашу палочку, а, можетъ быть, благодаря обѣимъ причинамъ вмѣстѣ. Этого, конечно, нашъ опытъ не можетъ разрѣшить.

Зато онъ ясно показываетъ намъ, что зарядъ, который былъ возбужденъ въ шарикѣ *B*, распространяется по стержню на золотые листочки. Последнее обстоятельство обнаруживаетъ, во-первыхъ, что электроны свободно перемѣщаются по металлу, а во-вторыхъ, что есть на лицо сила, которая направляетъ эти электроны отъ *B* къ *D* и къ золотымъ листочкамъ. Первую особенность мы выражаемъ тѣмъ, что называемъ металлъ проводникомъ электричества. Что же касается силы, то ее нужно искать во взаимномъ отталкиваніи отрицательныхъ электроновъ, которые оказались сначала въ избыткѣ на шарикѣ. Понятно, что они стремятся уйти, по возможности, дальше другъ отъ друга, и что, слѣдовательно, пока нѣкоторая часть ихъ остается въ шарикѣ, другая часть ихъ направляется въ золотые листочки и отодвигаетъ ихъ другъ отъ друга. Къ нѣскольکو иному представленію мы придемъ далѣе.

Въ нашемъ случаѣ передача электрическаго заряда происходитъ по короткому пути, но мы можемъ передавать его на гораздо большія разстоянія. Я соединяю теперь металлическою проволокою шарикъ *B* съ мѣднымъ шаромъ, укрѣпленнымъ на стекляной ножкѣ, и, натирая этотъ шаръ стекломъ или кошачьимъ мѣхомъ, я получаю такой же результатъ, какъ и раньше, когда я натиралъ самый шарикъ электроскопа. Если бы было больше мѣста, я могъ бы взять металлическую проволоку гораздо длиннѣе этой. Зарядъ всегда распространяется на такое разстояніе, на какое позволяютъ ему тѣ проводники, которыхъ онъ можетъ достигнуть.

Очень далеко зарядъ можетъ распространиться, если я приведу электроскопъ въ соприкосновеніе съ землею посредствомъ проводника. Такимъ проводникомъ можетъ служить мое тѣло, и поэтому мнѣ достаточно лишь прикоснуться пальцемъ къ шарiku, чтобы зарядъ мгновенно исчезъ. Избытокъ отрицательныхъ электроновъ разсѣялся теперь далеко по полу и землѣ, такъ что отъ этого заряда въ золотыхъ листочкахъ осталось совершенно незамѣтное количество. Принимая во вниманіе склонность заряда покидать предметъ, на которомъ онъ находится, мы изъ того факта, что электроскопъ можетъ получать и сохранять полученный зарядъ, заключаемъ, что стекло этой бутылки не можетъ проводить электричества. Это свойство стекла можно представить себѣ такъ, что оно содержитъ электроны, но что они въ немъ не такъ удобоподвижны, какъ въ металлахъ.

Теперь понятно, почему можно было наэлектризовать стек-

ляную палочку, держа ее въ рукѣ. Положительные электроны, которые послѣ тренія оказались въ избыткѣ на нѣкоторомъ разстояніи отъ руки, отталкиваютъ другъ друга, но не могутъ уйти въ землю, такъ какъ стекло преграждаетъ имъ путь къ рукѣ.

Что стекло дѣйствительно заряжено, мы докажемъ при помощи того же электроскопа. Намѣтимъ себѣ, какъ цѣль, что мы прикоснемся натертою палочкою къ шарiku электроскопа,—въ надеждѣ, что тѣ электроны, которые находятся на стеклѣ въ ближайшемъ сосѣдствѣ съ точкою касанія, направятся къ золотымъ листочкамъ. Но, если мы не приготовлены ни къ чему иному, то наше ожиданіе окажется превзойденнымъ: золотые листочки, какъ вы видите, расходятся еще до прикосновенія палочки къ шарiku, а при удаленіи ея снова опадаютъ. Такимъ образомъ, на попеременное поднятіе и опусканіе стекла, что я сейчасъ дѣлаю, они отвѣчаютъ движеніемъ, направленнымъ въ ту или иную сторону. Это замѣчательное явленіе безъ труда объяснимо, и вы легко могли бы его предсказать. Если металлическая часть электроскопа, дѣйствительно, содержитъ всегда оба вида электроновъ, и послѣдніе, дѣйствительно, удобоподвижны, то наэлектризованная стеклянная палочка, находясь вблизи шарика, должна вызвать ихъ раздѣленіе. Положительные электроны палочки притягиваютъ отрицательныя частицы электроскопа къ шарiku, а положительные электроны отсылаютъ къ золотымъ листочкамъ, отчего и происходитъ отталкиваніе послѣднихъ.

Какъ только стержень электроскопа такимъ образомъ зарядился, его верхняя часть, обладая избыткомъ отрицательныхъ электроновъ, притягивается стекломъ, нижняя же отталкивается. Но, такъ какъ первое изъ этихъ двухъ вліяній—благодаря меньшему разстоянію—беретъ перевѣсъ, то вся металлическая масса, взятая вмѣстѣ, испытываетъ силу по направленію къ стеклу. Легко убѣдиться, что она притягивалась бы въ томъ же направленіи, если держать надъ шарикомъ натертую сургучную палочку. Таково объясненіе притяженія, производимаго *каждымъ* тѣломъ, наэлектризованнымъ положительно или отрицательно, на всякое другое, которое первоначально не имѣло заряда.

Обсудимъ теперь, что происходитъ, если мы сначала заряжаемъ электроскопъ и потомъ надъ его шарикомъ станемъ держать наэлектризованное тѣло. Предположимъ, что зарядъ электроскопа—отрицательный. Тогда положительно наэлектризованное тѣло будетъ притягивать къ шарiku отрицательные электроны. Зарядъ, а слѣдовательно и расхожденіе золотыхъ листочковъ, уменьшится. Отрица-

тельно заряженный предметъ произведетъ, конечно, противоположное дѣйствіе. И то, и другое, какъ вы видите, подтверждается.

Можно было бы воспроизвести передъ вами еще многія другія удивительныя явленія, но я ограничусь лишь нѣсколькими примѣрами, которые дадутъ вамъ понятіе о способахъ возбужденія электрическаго состоянія. Ударяю ли я кошачьимъ мѣхомъ по этому оловяному листочку или по этому куску дерева, провожу ли я крылышкомъ по куску фаянса, или натираю его каучуковою трубкою, въ результатѣ каждый разъ получается электрическій зарядъ, обнаруживаемый электроскопомъ. Если бы я воспользовался болѣе чувствительнымъ приборомъ, чѣмъ этотъ, то я могъ бы еще нагляднѣе доказать вамъ, что въ безчисленныхъ случаяхъ получаютъ небольшіе электрическіе заряды, что два тѣла никогда не могутъ быть потерты другъ о друга безъ того, чтобы положительные электроны въ нѣсколько большемъ количествѣ не устремились къ одному изъ нихъ, а отрицательные—въ нѣсколько большемъ количествѣ къ другому.

Займемся теперь электронами, находящимися въ движеніи. Съ этимъ мы уже встрѣчались нѣсколько разъ. Если мы, напримѣръ, сообщимъ положительный электрическій зарядъ отдаленному предмету, соединивъ его проволокою съ электроскопомъ, то часть этого заряда получаетъ и послѣдній. Для того, кто смотритъ на все съ точки зрѣнія электроновъ, не можетъ быть сомнѣнія въ томъ, что здѣсь мы имѣемъ дѣло съ движеніемъ этихъ частицъ по проволокаѣ. Это движеніе называется *электрическимъ токомъ*, и о громадной пользѣ его, мнѣ кажется, незачѣмъ и говорить. Въ нашемъ опытѣ токъ былъ слабъ и малопродолжителенъ, но мы можемъ соотвѣтствующими средствами значительно увеличить его интенсивность.

Иногда мы пускаемъ электроны черезъ проводникъ сразу. Такіе кратковременные токи получаютъ въ такъ называемыхъ индукціонныхъ аппаратахъ, которыми мы недавно пользовались для полученія электрическихъ искръ.

Въ другихъ случаяхъ мы имѣемъ дѣло съ непрерывнымъ электрическимъ токомъ, остающимся неизмѣннымъ въ теченіе долгаго времени. Такой токъ можно сравнить съ длительнымъ движеніемъ воды въ водопроводной трубѣ, а еще лучше съ прохожденіемъ ея по стержню, сдѣланному изъ пористаго вещества. Подобно тому, какъ жидкость въ этомъ случаѣ прокладываетъ себѣ путь сквозь всѣ небольшіе просвѣты, такъ точно мы представляемъ себѣ электроны поступательно движущимися между молекулами мѣдной прово-

локи и даже сквозь самыя молекулы. Электрическій токъ представляетъ собою болѣе сложное явленіе, чѣмъ движеніе жидкости, такъ какъ въ этомъ случаѣ намъ приходится имѣть дѣло съ двоякаго рода электронами. Мы можемъ представить себѣ дѣло такъ: отъ только что упомянутаго предмета, которому мы сообщаемъ положительный зарядъ, положительные электроны подъ вліяніемъ отталкиванія положительнымъ зарядомъ этого предмета устремляются по проволокѣ въ электроскопъ. Но тотъ же зарядъ долженъ, конечно, притягивать къ себѣ отрицательныя частицы изъ электроскопа. Эти послѣднія движутся вслѣдствіе этого въ направленіи, противоположномъ движенію положительныхъ частицъ, чѣмъ, само по себѣ, было бы достаточнымъ для того, чтобы вызвать зарядъ электроскопа; ибо, когда отрицательные электроны покидаютъ его, то этимъ самымъ создается въ немъ нѣкоторый избытокъ положительныхъ.

Въ дѣйствительности, какъ положительные, такъ и отрицательные электроны одновременно движутся въ противоположныхъ направленіяхъ, и самое лучшее будетъ, если мы будемъ представлять себѣ, что вообще всякій электрическій токъ представляетъ собою именно такое двойное движеніе. Если только частицы достаточно малы, то онѣ либо вовсе не будутъ мѣшать другъ другу при этомъ движеніи, либо будутъ мѣшать чрезвычайно мало. Вопросъ о томъ, въ какой мѣрѣ принимаютъ участіе въ этомъ движеніи электроны того и другого рода, выходитъ за предѣлы нашего бѣлаго очерка. Во всякомъ случаѣ мы можемъ достаточно охарактеризовать токъ въ металлической проволокѣ, указавъ направленіе движенія положительныхъ частицъ, которое въ обычной рѣчи называется *направленіемъ электрическаго тока*. Что же касается такъ называемой силы тока, то она будетъ тѣмъ больше, чѣмъ большее количество положительныхъ и отрицательныхъ частицъ проходитъ въ опредѣленное время въ ту и въ другую сторону.

Сдѣлаемъ еще слѣдующее замѣчаніе. Положимъ, что у насъ есть трубка, уже наполненная водою и соединенная однимъ концомъ съ краномъ водовмѣстилища. Если мы, открывъ кранъ, впустимъ въ трубку еще немного воды, то тотчасъ же или спустя очень короткое время вода потечетъ съ другого ея конца. При этомъ изъ трубки потечетъ не та вода, которая вышла изъ вмѣстилища, а та, которая раньше находилась въ трубкѣ вблизи ея открытаго конца. Точно также и при переносѣ электрическаго заряда по проволокѣ изъ отдаленнаго предмета въ электроскопъ вовсе не требуется, чтобы въ электроскопъ пришли тѣ самыя электроны, которые находились рань-

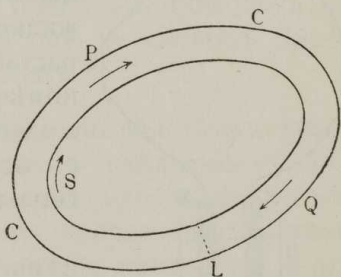
ше въ нашемъ заряженномъ предметѣ. Электроскопъ можетъ быть заряженъ при посредствѣ электроновъ, находившихся въ ближайшей къ нему части соединительной проволоки и оттолкнутыхъ къ нему нашимъ наэлектризованнымъ предметомъ. Такимъ образомъ въ то время, какъ отдѣльные электроны подвигаются, быть можетъ, на весьма малое разстояніе, *состояніе движенія* можетъ распространиться на значительное пространство, передаваясь все болѣе и болѣе отдаленнымъ частицамъ. Быстрота электрическаго телеграфированія, напр., зависитъ отъ того, что это распространеніе происходитъ въ короткое время на большое разстояніе, но она отнюдь не доказываетъ, что электроны обладаютъ большою скоростью. Ихъ движеніе скорѣе можно назвать медленнымъ, потому что они, такъ сказать, пробираются между молекулами металла.

Наконецъ, слѣдуетъ еще замѣтить, что количество положительныхъ и отрицательныхъ электроновъ, участвующихъ въ токѣ по проволоцѣ, несравненно больше числа, составляющаго избытокъ тѣхъ и другихъ въ заряженномъ тѣлѣ, однихъ размѣровъ съ этою проволокою. Въ связи съ этимъ мы представляемъ себѣ, что количество положительныхъ и отрицательныхъ электроновъ, раздѣляющихся при зарядѣ, составляетъ всегда лишь чрезвычайно малую долю общаго ихъ числа.

Если сила достаточно велика—больше, чѣмъ при нашихъ опытахъ съ электроскопомъ, —то мы можемъ констатировать присутствіе электрическаго тока при помощи гальванометра, которымъ я пользовался еще на первой лекціи. Прибѣгнемъ теперь къ его помощи для изученія нѣкоторыхъ способовъ возникновенія тока.

Для приведенія электроновъ въ движеніе, мы не должны обязательно исходить изъ электрически заряженнаго тѣла. Опытъ показываетъ, что мы можемъ достигъ этого многими и весьма разнообразными способами. Пусть *СС* на рис. 34 будетъ проводникъ, имѣющій форму замкнутаго кольца или цѣпи. Предположимъ, что мы въ части *P* нашей цѣпи тѣмъ или инымъ способомъ заставляемъ положительные электроны двигаться по направленію стрѣлки или даемъ дѣйствовать на нихъ, какъ говорятъ, *электродвижущимъ силамъ*. Тогда приходятъ въ движеніе сначала эти электроны, а за-

Рис. 34.



тѣмъ и электроны въ остальныхъ частяхъ цѣпи. Не станемъ говорить о томъ, какъ это происходитъ. Намъ достаточно знать, что, если электродвижушія силы продолжаютъ дѣйствовать, то токъ весьма скоро распространяется по всей цѣпи. Положительные электроны повсюду непрерывно бѣгутъ вокругъ цѣпи въ направленіи стрѣлки *S*. Вмѣстѣ съ тѣмъ, обыкновенно, въ то время, какъ положительные электроны движутся въ одну сторону, отрицательные посылаются въ противоположную, такъ что происходитъ то двойное теченіе, о которомъ мы выше говорили.

Рис. 35.

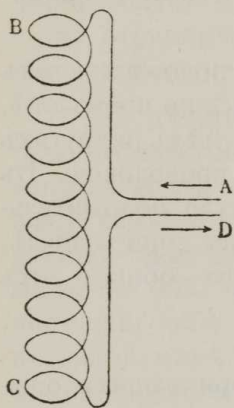
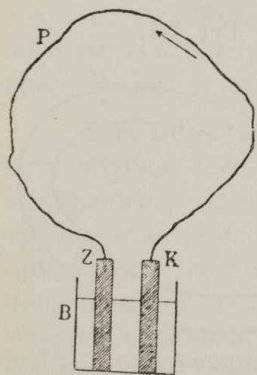


Рис. 34, понятно, представляетъ собою лишь схему. Кольцеобразный проводникъ можетъ состоять изъ проволокъ, проведенныхъ къ какому-нибудь отдаленному мѣсту и обратно или, какъ въ электрическихъ звонкахъ, проходящихъ сложнымъ образомъ черезъ все зданіе. Часть этого пути можетъ состоять изъ спиралеобразно свитой проволоки (рис. 35), такъ что токъ долженъ пробѣжать по всѣмъ виткамъ. Если проволока покрыта веществомъ, не пропускающимъ тока, то мы можемъ намотать изъ нея катушку съ плотно прилегающими другъ къ другу витками, какъ въ катушкѣ нитокъ. Такого рода катушка проволоки представляетъ собою также часть гальванометра. Магнитъ, который долженъ приводиться токомъ въ движеніе, подвѣшивается въ просвѣтѣ этой катушки.

Рис. 36.



Въ различныхъ мѣстахъ цѣпи могутъ соединяться между собою проволоки, представляющія собою, можетъ быть, различные матеріалы,—и мы можемъ пропускать токъ черезъ проводящую жидкость, напримѣръ, черезъ воду, въ которой растворена какая-нибудь соль. Для этой цѣпи мы помѣщаемъ двѣ металлическихъ пластинки въ жидкость и соединяемъ выступающіе концы ихъ съ остальною частью цѣпи (рис. 36). Вы видите, сколько можетъ быть здѣсь разнообразія.

Какой бы случай мы ни взяли, лишь бы цѣпь не имѣла слишкомъ большой длины, мы можемъ быть увѣрены, что токъ распространится по всей цѣпи въ весьма короткое время, напримѣръ, въ какую-нибудь малую часть секунды. Мы можемъ поэтому ска-

зять, что всякая электродвижущая сила непосредственно вызываетъ движеніе электроновъ во всѣхъ частяхъ кольца. Если въ различныхъ мѣстахъ проводника дѣйствуютъ такія силы, то онѣ, смотря по направленію, могутъ либо усилить, либо ослабить другъ друга. Напримѣръ, силы, представленныя на рис. 34 стрѣлками P и Q , возбуждаютъ токъ болѣе сильный, нежели каждый ихъ тѣхъ двухъ токовъ, которые вызвали бы эти силы въ отдѣльности.

Но какъ намъ вызвать эти электродвижущія силы? Опытъ показываетъ, что для этого у насъ имѣется богатый выборъ средствъ. Мы можемъ, напримѣръ, подогрѣть мѣсто соприкосновенія двухъ различныхъ металловъ, участвующихъ въ цѣпи (напримѣръ, точку L въ рис. 34). Если я подержу надъ пламенемъ мѣсто спая этихъ двухъ проволокъ, желѣзной и мѣдной, концы которыхъ соединены съ гальванометромъ, то вы видите отклоненіе зайчика, показывающаго намъ положеніе стрѣлки гальванометра. Для появленія тока достаточно даже того нагрѣванія мѣста спая, которое я произвожу, держа его между пальцами. Такимъ образомъ въ этихъ случаяхъ электрической токъ вызывается тѣмъ движеніемъ, въ которомъ, какъ мы знаемъ, состоитъ сущность тепла. Все происходитъ такъ, какъ будто электроны принимаютъ участіе въ тепловомъ движеніи и проникаютъ, благодаря ему, черезъ границу, раздѣляющую оба металла, причемъ положительные электроны движутся въ большемъ количествѣ отъ мѣди къ желѣзу, чѣмъ въ обратномъ направленіи.

Совершенно другимъ способомъ возникаетъ токъ, если кусокъ мѣди K и кусокъ цинка Z (рис. 36) помѣщаются въ сосудъ со слабою сѣрною кислотою. Вмѣсто послѣдней я могу взять любую растворимую въ водѣ кислоту или растворъ какой-нибудь соли. Если пользоваться для обнаруженія тока чувствительнымъ гальванометромъ, то вполне достаточно погрузить мѣдную и цинковую проволоки въ стаканъ воды, или держать ихъ такъ, чтобы онѣ не касались другъ друга, въ рукѣ, кожа которой содержитъ влагу.

Въ этихъ случаяхъ мы возбуждаемъ токъ посредствомъ химической реакціи. Это вы можете представить себѣ слѣдующимъ образомъ: цинкъ, напримѣръ, притягиваетъ къ себѣ изъ жидкости нѣкоторые атомы или группы атомовъ, а съ ними прочно связаны электроны опредѣленнаго знака, такъ что въ движеніе приходятъ и эти электроны. Это предположеніе можетъ служить для объясненія и другихъ явленій, въ которыхъ обнаруживается тѣсная зависимость между электрическими и химическими явленіями.

Помѣщая металлы въ жидкости мы устроили *гальваническіе элементы* простѣйшей формы, а, погружая мѣдь и цинкъ въ разбавленную сѣрную кислоту, мы получили первый элементъ, какой когда либо былъ употребляемъ. Открытіе дѣйствія, которое имѣетъ мѣсто при этомъ простомъ соединеніи твердыхъ и жидкихъ проводниковъ, было сдѣлано нѣсколько болѣе ста лѣтъ тому назадъ Александромъ Вольта и создало новую эру въ ученіи объ электричествѣ.

Не менѣе важнымъ было открытіе, сдѣланное датскимъ физикомъ Эрстедомъ въ 1820 году. Онъ замѣтилъ, что металлическая проволока, по которой пробѣгаетъ электрическій токъ, оказываетъ особаго рода силы на полюсы находящейся вблизи магнитной стрѣлки. Это именно тѣ силы, которыми мы пользовались для того, чтобы обнаружить гальванометромъ присутствіе тока. Эти опыты Эрстеда стали исходною точкою для по истинѣ побѣдоноснаго шествія физиковъ въ новый міръ явленій.

Какъ проволоки, въ которыхъ протекаютъ токи, оказываютъ вліяніе другъ на друга, какъ при помощи электрическаго тока можно получить сильныя магниты, какъ движеніемъ проводниковъ вблизи металлической проволоки, по которой проходитъ токъ, или вблизи магнита можно возбудить въ нихъ токи, — все это цѣлый сонмъ избранныхъ изслѣдователей подвергъ не только наблюденію, но и тщательному измѣренію. Такимъ образомъ были установлены количественныя соотношенія между всѣми этими явленіями, избраны неизмѣнныя единицы, и все это съ каждымъ разомъ все больше и больше приводилось подъ начало мѣры и числа. А пока накапливались эти многочисленныя знанія, плодомъ которыхъ является цвѣтущее состояніе современной электротехники, теоретики стремились обосновать связь явленій и проникнуть въ ихъ сущность.

Выберемъ для ближайшаго ознакомленія одно изъ этихъ явленій. Я имѣю здѣсь толстую мѣдную проволоку, согнутую въ четырехугольникъ, двѣ стороны котораго находятся въ вертикальномъ положеніи. Черезъ этотъ четырехугольникъ, который можетъ вращаться вокругъ вертикальной оси, я могу пропускать сильный токъ. Посмотримъ, что произойдетъ съ одною изъ вертикальныхъ сторонъ этого четырехугольника, если я приближу къ ней неподвижную вертикальную проволоку, по которой также пробѣгаетъ токъ. Вы видите, что этотъ второй неподвижный проводникъ притягиваетъ первую проволоку, и что это притяженіе, когда я держу неподвижный проводникъ въ противоположномъ направленіи, переходитъ

дять въ отталкиваніе. Прослѣдивъ путь токовъ, мы найдемъ, что притяженіе имѣетъ мѣсто въ томъ случаѣ, если токи имѣютъ одинаковое направленіе, а отталкиваніе,—если они имѣютъ противоположныя направленія.

Естественно, возникаетъ вопросъ, не встрѣчаемся ли мы въ данномъ случаѣ съ притяженіемъ и отталкиваніемъ электрическихъ зарядовъ на этихъ проволокахъ. На поверхности ихъ, дѣйствительно, находится небольшой избытокъ положительныхъ или отрицательныхъ электроновъ, но онъ имѣетъ такое ничтожное значеніе, что мы смѣло можемъ пренебречь имъ и обратить все наше вниманіе на положительные и отрицательные электроны, которые находятся въ равномъ количествѣ внутри самихъ проволокъ. Если бы всѣ эти электроны находились въ покоѣ или принимали участіе въ направленномъ во всѣ стороны молекулярномъ движеніи, то не могло бы быть ни притяженія, ни отталкиванія. Притяженіе, претерпѣваемое, на примѣръ, положительными частицами въ движущейся проволоцѣ со стороны отрицательныхъ частицъ неподвижнаго проводника, уничтожалось бы въ такомъ случаѣ отталкиваніемъ, производимымъ положительными электронами этого послѣдняго. Точно такъ же и обѣ силы, дѣйствующія на отрицательныя частицы во вращающемся четырехугольникѣ, были бы равны и взаимно противоположны. Но опытъ, который сейчасъ вы видѣли, доказываетъ, что, если только электроны находятся въ движеніи, различныя силы перестаютъ уничтожать другъ друга. Такимъ образомъ очевидно, что силы между электронами, когда послѣдніе двигаются,—иныя, чѣмъ тогда, когда они находятся въ покоѣ, и притомъ движеніе должно быть въ наличности, какъ въ одномъ, такъ и въ другомъ проводникѣ, ибо наблюдаемая притяженія и отталкиванія происходятъ лишь въ томъ случаѣ, если токъ проходитъ по *обѣимъ* проволокамъ.

Оставаясь вѣрными гипотезѣ, что всѣ электрическія дѣйствія передаются черезъ эфиръ, мы приходимъ къ слѣдующему представленію: каждый электронъ производитъ въ окружающемъ эфирѣ опредѣленное нарушеніе равновѣсія, которое тѣмъ слабѣе, чѣмъ дальше мы находимся отъ этой частицы, и это нарушеніе равновѣсія нѣсколько иное, когда электронъ двигается, чѣмъ тогда, когда онъ находится въ покоѣ. Вторая заряженная частица, находящаяся въ нѣкоторомъ отдаленіи отъ первой, испытываетъ силу извѣстной величины и направленія, которая зависитъ отъ состоянія эфира въ непосредственномъ сосѣдствѣ съ нею—и, слѣдовательно, косвеннымъ образомъ—отъ заряда, а также отъ движенія первой частицы. Въ какой мѣрѣ и какимъ образомъ этотъ электронъ подверженъ вліянію, оказывае-

мому окружающимъ эфиромъ, будетъ обуславливаться его собственнымъ зарядомъ и его скоростью.

Все это удобно выразить формулами,—и, дѣйствительно, мы уже имѣемъ возможность вычислять почти всѣ явленія въ той области, которой посвящается сегодняшняя бесѣда. Конечно, мы еще не преодолѣли всѣхъ трудностей. Встрѣчаются явленія, которыя, какъ, напримѣръ, нѣкоторые опыты французскаго физика Кремье, даже заставляютъ сомнѣваться въ вѣрности самой теоріи *).

Я не намѣренъ останавливаться на этихъ затруднительныхъ случаяхъ, такъ какъ объясненіе явленій, поскольку мы ими занимаемся, едва ли потерпитъ отъ этого замѣтныхъ измѣненій.

Теорія даетъ намъ прежде всего возможность вычислить уже знакомыя намъ притяженія и отталкиванія между проводниками тока. Она позволяетъ опредѣлять эти дѣйствія при всевозможныхъ формахъ проводниковъ. Тогда оказывается—какъ это подтверждаетъ и опытъ,—что спирально свернутая проволока, вродѣ, напр., изображенной на рис. 35, производитъ и претерпѣваетъ то же самое дѣйствіе, что и магнитный стержень. Концы двухъ такихъ спиралей, по которымъ проходитъ токъ, взаимно притягиваются и отталкиваются, подобно полюсамъ двухъ магнитовъ; и, если одна изъ спиралей помѣщена такъ, что можетъ вращаться въ горизонтальной плоскости, то она, подобно стрѣлкѣ компаса, устанавливается въ направленіи съ

*) Опыты эти касались предсказываемаго теорією и обнаруженнаго еще въ 1876 г. Роуландомъ дѣйствія движущагося наэлектризованнаго тѣла—напр., вращающагося наэлектризованнаго диска—на магнитную стрѣлку. Въ опытахъ Кремье этого дѣйствія не наблюдалось, какъ ни разнообразилъ онъ условія этихъ опытовъ.

Прим. ред. Съ другой стороны, ученикъ Роуланда, Пендеръ, получалъ при тѣхъ же условіяхъ положительные результаты. Разногласіе между опытами Кремье и Пендера закончилось «научною дуэлью», устроенною на средства извѣстнаго милліонера Карнеджи. Пендеръ пріѣхалъ изъ Америки въ Парижъ и тамъ поставилъ совместно съ Кремье рядъ опытовъ, показавшихъ, въ концѣ концовъ, правильность заключеній Роуланда и Пендера и устранившихъ противорѣчіе между ихъ опытами и опытами Кремье—противорѣчіе, вызывавшееся одною детальною опытовъ, казавшеюся всѣмъ экспериментаторамъ и ихъ истолкователямъ не имѣющею существеннаго значенія.

Считаю необходимымъ указать, что заключенія Кремье въ одинаковой мѣрѣ противорѣчили, какъ теоріи электроновъ, такъ и другимъ теоріямъ электрическихъ явленій, и что опыты надъ электромагнитными дѣйствіями движущихся наэлектризованныхъ тѣлъ нельзя разсматривать, какъ *experimentum crucis* между этими теоріями.

сѣвера на югъ. И на полюсы магнита токъ въ катушкѣ дѣйствуетъ такъ, какъ дѣйствовалъ бы другой магнитъ. Спираль или катушку, обмотка которой не образуетъ замкнутой линіи, можно замѣнить нѣкоторымъ количествомъ круговыхъ, но *замкнутыхъ* проводниковъ, насаженныхъ на цилиндръ. Если въ каждомъ изъ нихъ движутся вокругъ электроны, то совокупное дѣйствіе всѣхъ ихъ тоже равносильно дѣйствию магнита.

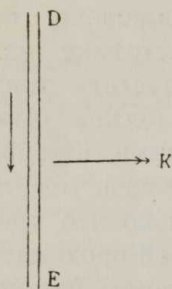
Какъ только было замѣчено, что проводящая проволока, по которой протекаетъ токъ, можетъ вывести магнитную стрѣлку изъ положенія равновѣсія, и что кусокъ желѣза, если пропустить токъ по обмоткѣ вокругъ него, превращается въ магнитъ, должна была зародиться мысль, что между электрическими и магнитными явленіями существуетъ тѣсная связь, и что, какъ тѣ, такъ и другія, не могутъ быть приписаны вполнѣ различнымъ причинамъ. Только что упомянутая эквивалентность магнита со спиралью, по которой проходитъ токъ, дала этой идеѣ возможность принять прочную форму. Амперъ высказалъ гипотезу, что въ магнитѣ находится весьма большое количество круговыхъ электрическихъ токовъ. Онъ предположилъ именно, что каждая молекула обтекаема подобнымъ токомъ. Каждый изъ этихъ круговыхъ токовъ можно сравнить съ токомъ въ *одномъ* виткѣ спирали, и тогда будетъ понятно, что оба тѣла, магнитъ и спираль, должны производить и претерпѣвать одинаковыя дѣйствія, такъ какъ и въ томъ, и въ другомъ случаѣ мы имѣемъ дѣло съ системою круговыхъ электрическихъ токовъ.

Переводя гипотезу Ампера на языкъ теоріи электроновъ, мы должны выразить ее слѣдующимъ образомъ: вокругъ каждой молекулы магнита происходитъ круговое движеніе электроновъ опредѣленнаго знака, которое остается неизмѣннымъ до тѣхъ поръ, пока какія-нибудь внѣшнія вліянія не измѣнятъ состоянія магнита, ибо нѣтъ сопротивленія, уменьшающаго скорость этого движенія. Какое бы мнѣніе ни установилось впослѣдствіи на счетъ такого представленія, можно съ увѣренностью утверждать, что электрическія и магнитныя явленія нужно будетъ всегда разсматривать съ *одинаковой* точки зрѣнія, и это уже такъ твердо установлено, что, когда мы говоримъ о дѣйствиіи магнита, мы всегда въ правѣ замѣнять его мысленно системою круговыхъ электрическихъ токовъ.

Теперь мы должны заняться какъ разъ дѣйствиємъ магнита на подвижные электроны. Чтобы говорить о чемъ-нибудь опредѣленномъ,

предложимъ, что движенія происходятъ въ плоскости нашихъ рисунковъ, и что сѣверный полюсъ магнита находится *спереди* этой плоскости, т. е. со стороны наблюдателя. Всѣ явленія останутся тѣми же, если вмѣсто сѣвернаго полюса *предъ* плоскостью рисунка мы будемъ имѣть южный полюсъ *позади* ея, а также, если мы будемъ имѣть оба полюса одновременно—такъ, чтобы электроны двигались въ пространствѣ между двумя обращенными другъ къ другу полюсами.

Рис. 37.



Пусть на рис. 37 DE будетъ мѣдная проволока, по которой сверху внизъ проходитъ электрическій токъ. Опытъ показываетъ, что проволока должна претерпѣвать со стороны предполагаемаго магнитнаго полюса силу K , направленную въ правую сторону, то есть силу, которая не можетъ быть названа ни притяженіемъ, ни отталкиваніемъ, такъ какъ она не стремится ни приближать проволоку къ полюсу, ни удалять ее отъ него. И въ этомъ случаѣ, если проволока будетъ имѣть иное направленіе, чѣмъ то, которое изображено на рисункѣ, но будетъ оставаться, однако, въ плоскости рисунка, легко можно будетъ указать силу, дѣйствующую на нее. Дѣйствительно, весь чертежъ вмѣстѣ со стрѣлками, указывающими направленіе тока и силу, можно какъ угодно повернуть въ этой плоскости, и стрѣлка K будетъ постоянно при этомъ изображать силу, дѣйствующую на проволоку. Если повернуть рисунокъ на уголъ въ 180° , то получится токъ, идущій вверхъ, и сила K будетъ дѣйствовать тогда въ лѣвую сторону.

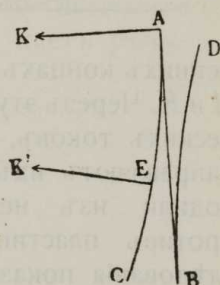
Такимъ образомъ мы видимъ, что сила, дѣйствующая на проводникъ *въ магнитномъ полѣ* (такъ называется пространство вблизи магнитнаго полюса), получаетъ противоположное направленіе, если перемѣнить направленіе тока. На подвижной мѣдной проволоцѣ, которою мы уже пользовались, легко обнаружить и то, и другое.

Теорія, которую мы избрали руководящею нитью, видитъ въ силѣ K результатъ дѣйствія магнитнаго поля на электроны проволоки, которые, въ свою очередь, передаютъ это дѣйствіе металлу, такъ какъ не могутъ сойти съ проволоки въ направленіяхъ, перпендикулярныхъ къ ея длинѣ. Мы можемъ представить себѣ, что токъ состоитъ въ движеніи положительныхъ электроновъ сверху внизъ. Въ такомъ случаѣ мы должны также принять, что на нихъ именно дѣйствуетъ сила въ направленіи стрѣлки K . Силу, имѣющую мѣсто при какомъ-нибудь другомъ направленіи движенія, мы получимъ, по-

вернувъ этотъ рисунокъ въ его плоскости). Если бы положительные электроны двигались снизу вверхъ, то магнитное поле дѣйствовало бы на нихъ влѣво. Но токъ DE можно также разсматривать, какъ движеніе отрицательныхъ электроновъ отъ E къ D . Мы, слѣдовательно, должны себѣ представить, что и на такія частицы тоже дѣйствуетъ такая же сила, какъ K . Другіе случаи мы можемъ тогда получить изъ этого поворачиванія снова нашъ рисунокъ. Отсюда видно, что при томъ же самомъ направленіи движенія силы, дѣйствующія на положительные и отрицательные электроны, взаимно противоположны.

Предположите теперь, что электронъ вполнѣ свободно движется не только въ металлѣ, но и въ эфирѣ. Если бы не было магнитнаго полюса, то путь электрона представлялъ бы прямую линію AB (рис. 38). Но, такъ какъ магнитное поле вызываетъ силу, перпендикулярную къ направленію движенія, то этотъ путь искривляется. На рисункѣ обозначено, что происходитъ въ такомъ случаѣ съ отрицательнымъ электрономъ. Если онъ движется сверху внизъ, такъ что въ отсутствіи магнитнаго полюса онъ прошелъ бы по направленію отъ A къ B , то подъ вліяніемъ магнитнаго поля онъ опишетъ дугу AC . Не преминемъ замѣтить при этомъ, что здѣсь мы встрѣчаемся со случаемъ, уже разсмотрѣннымъ нами (стр. 25), когда сила остается постоянно перпендикулярною къ направленію движенія,—если, на примѣръ, частица пришла въ точку E , то сила можетъ быть представлена стрѣлкою EK' ,—такъ же, какъ въ точкѣ A стрѣлкою AK . Вслѣдствіе этого обстоятельства путь искривляется, но скорость остается постоянною.

Рис. 38

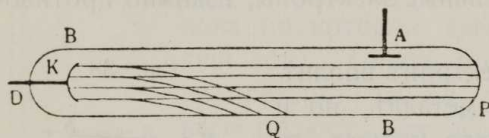


Если вы припомните, къ чему мы пришли при разсмотрѣніи рис. 37, то легко убѣдитесь, что я не ошибся, отклонивъ путь влѣво отъ прямой линіи. Вамъ станетъ также безъ дальнѣйшихъ словъ понятно, что частица въ магнитномъ полѣ пройдетъ путь BD , если бы она, въ отсутствіи магнитнаго полюса, шла по направленію отъ B къ A .

Примѣнимъ результатъ нашихъ разсужденій къ явленію, которымъ физики занимались въ теченіе послѣднихъ лѣтъ съ особеннымъ интересомъ. Желая получить спектръ водорода, мы пропускали, если помните, электрическую искру сквозь Гейсслерову трубку, наполнен-

ную этимъ газомъ. Мы тогда не говорили о частностяхъ, касающихся распредѣленія свѣта въ этой трубкѣ, да и теперь не будемъ входить въ обстоятельное разсмотрѣніе этихъ настолько же красивыхъ, насколько загадочныхъ явленій разряда. Несмотря на всѣ труды, которые были потрачены для изученія этихъ свѣтовыхъ явленій, они до сихъ поръ представляютъ собою настоящій хаосъ. Но въ нихъ есть *одно* явленіе, чрезвычайно простое.

Рис. 39

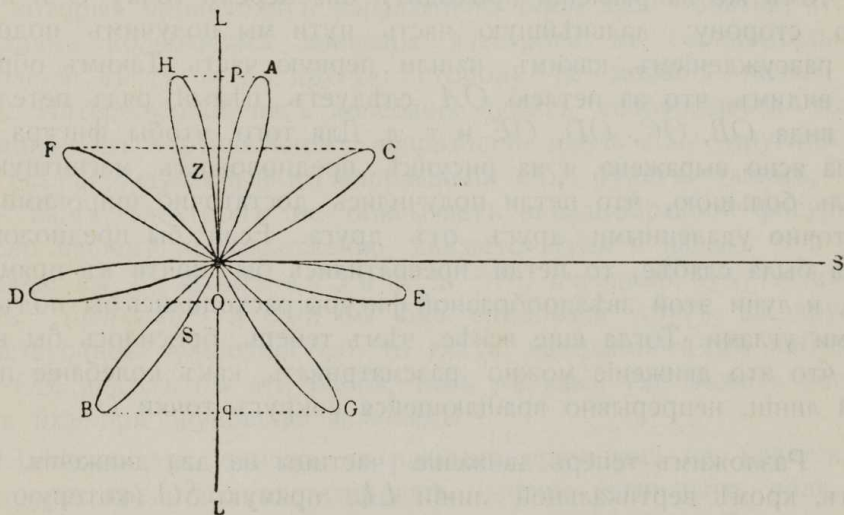


Чтобы наблюдать это явленіе, пользуются трубкою *BB* (рис. 39), наполненною воздухомъ, доведеннымъ до извѣстной степени разрѣженія. Въ нее впаяны двѣ платиновыхъ проволоки, на внутреннихъ концахъ которыхъ укрѣплены двѣ металлическихъ пластинки *A* и *K*. Черезъ эту трубку пропускаютъ рядъ кратковременныхъ электрическихъ токовъ, получаемыхъ отъ индукціоннаго аппарата, причемъ направляютъ ихъ такъ, чтобы они входили въ газъ черезъ *A*, а выходили изъ него черезъ *K*. Тогда стекло трубки у *P*, прямо противъ пластинки *K*, издаетъ своеобразный зеленый свѣтъ. Исслѣдованія показали, что здѣсь намъ, внѣ всякаго сомнѣнія, приходится имѣть дѣло со свободными отрицательными электронами, которые летятъ отъ пластинки *K* и, попадая въ стекло около *P*, своими ударами объ него заставляютъ его свѣтиться. Если это объясненіе правильно, то магнитное поле, расположенное извѣстнымъ уже вамъ образомъ, должно вызвать нѣкоторое измѣненіе явленія, хотя мы не можемъ предугадать, будетъ ли это измѣненіе достаточно, чтобы мы могли его замѣтить. Электроны въ магнитномъ полѣ, дѣйствительно, будутъ отклоняться отъ прямой линіи и будутъ описывать искривленный путь такъ, что встрѣтятся со стеклянною стѣнкою уже не около *P*, а, напримѣръ, около точки *Q*. Если я вблизи трубки помѣщу въ соотвѣтствующемъ положеніи магнитный стержень, умѣренной силы, то вы увидите это предсказаніе оправдывающимся на опытѣ. Чтобы облегчить наблюденіе, въ трубкѣ помѣщенъ не обозначенный на нашемъ рисункѣ небольшой экранъ со щелью, такъ что сквозь него проходитъ лишь узкій пучокъ исходящихъ изъ *K* *катодныхъ лучей* (такъ обыкновенно называютъ это явленіе). Кромѣ того, въ трубкѣ находится пластинка, покрытая извѣстною свѣтящеюся краскою; лучи идутъ вдоль нея и частью попадаютъ на нее подъ малымъ угломъ. Въ такомъ случаѣ пластинка начинаетъ свѣтиться въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ ее задѣваютъ лучи. Такимъ образомъ,

слѣдя за свѣтлою полоскою на пластинкѣ, можно даже издали видѣть форму пути свѣтового пучка,—и искривленіе ея подѣ вліяніемъ магнитнаго полюса.

Въ заключеніе я намѣренъ поговорить теперь о вліяніи магнитныхъ силъ на излученіе свѣта. Это явленіе открыто профессоромъ Зеemanомъ еще въ то время, когда онъ работалъ въ лабораторіи профессора Камерлингъ-Оннеса. Я вамъ выясню, что такое вліяніе можетъ быть понятнымъ, если предположить, что тѣ небольшія частицы, которыя колеблются въ свѣтящихся предметахъ и своимъ вліяніемъ на эфиръ вызываютъ излученіе, суть не что иное, какъ наши электроны. Для краткости я сдѣлаю это *предположеніе* и выведу изъ него то явленіе, о которомъ теперь идетъ рѣчь.

Рис. 40



Представимъ себѣ, что положеніе равновѣсія отрицательнаго электрона приходится въ точкѣ O (рис. 40), и что онъ, выйдя изъ этого положенія, приходится подѣ вліяніемъ возвращающей силы, направленной къ O . Въ такомъ случаѣ онъ будетъ колебаться съ извѣстною частотою по прямой линіи, проходящей черезъ эту точку. Если при этомъ нашъ электронъ излучаетъ свѣтъ, то получится одна спектральная линія опредѣленнаго мѣста въ спектрѣ. Мы будемъ принимать, что такое движеніе происходитъ вдоль каждой проходящей черезъ O линіи. Въ магнитномъ полѣ тѣ же силы, которыя искривляютъ путь катодныхъ лучей, окажутъ вліяніе на путь колеблюща-

гося электрона. На рис. 40 изображено, во что превратится этотъ путь. Чертежъ предполагаетъ, что частица начинаетъ свое движеніе съ того, что выходитъ изъ точки O вверхъ, такъ что, если бы не было магнитнаго поля, она колебалась бы по прямой линіи LL . Подъ вліяніемъ магнитнаго поля путь этотъ искривляется, подобно линіи BD на рис. 38, выпуклостью налѣво. Частица поидетъ, слѣдовательно, по лѣвой изъ двухъ линій, соединяющихъ O съ A , и достигнетъ въ точкѣ A своего наибольшаго отклоненія. Обратный путь ея будетъ происходить по линіи, которая, подобно AC на рис. 38, обращена своею выпуклостью вправо. Слѣдовательно, она поидетъ къ своему положенію равновѣсія по правой изъ двухъ линій, соединяющихъ A съ O , и, возвратившись назадъ, опишетъ такимъ образомъ петлю OA и будетъ имѣть при этомъ направленіе движенія, составляющее нѣкоторый небольшой уголъ съ линіею OL . Въ томъ же направленіи проходитъ она черезъ точку O и по другую сторону; дальнѣйшую часть пути мы получимъ подобнымъ же разсужденіемъ, какимъ нашли первую часть. Такимъ образомъ, мы видимъ, что за петлею OA слѣдуетъ цѣлый рядъ петель того же вида OB , OC , OD , OE и т. д. Для того, чтобы фигура петель была ясно выражена, я на рисунокѣ предположилъ магнитную силу столь большою, что петли получились достаточно широкими и достаточно удаленными другъ отъ друга. Если бы предположенная сила была слабѣе, то петли превратились бы почти въ прямыя линіи, и лучи этой звѣздообразной фигуры расходились бы подъ меньшими углами. Тогда еще яснѣе, чѣмъ теперь, бросилось бы въ глаза, что это движеніе можно разсматривать, какъ колебаніе по прямой линіи, непрерывно вращающейся вокругъ точки O .

Разложимъ теперь движеніе частицы на два движенія. Проведемъ, кромѣ вертикальной линіи LL , прямую SO (которую нужно представить себѣ продолженною и по ту сторону точки O), перпендикулярную къ ней; тогда можно сказать, что электронъ колеблется въ направленіи этой послѣдней линіи, т. е. вправо и влѣво, одновременно двигаясь вверхъ и внизъ по линіи LL . Чтобы видѣть, какъ при этомъ происходитъ это послѣднее колебаніе, опустимъ изъ точки нахожденія электрона перпендикуляръ на линію LL и прослѣдимъ движеніе основанія этого перпендикуляра. Оно передвигается отъ p къ q ; затѣмъ возвращается, но не дальше, чѣмъ до Z , опускается до S , подымается вновь до O и затѣмъ при дальнѣйшихъ движеніяхъ туда и обратно достигаетъ послѣдовательно крайнихъ точекъ S , Z , q , p и т. д. Основаніе нашего перпендикуляра колеблется,

такимъ образомъ, туда и назадъ около O , но амплитуда этихъ колебаній попеременно увеличивается и уменьшается.

Спрашивается теперь, какой свѣтъ будетъ излучать нашъ электронъ. Разсмотримъ только тѣ колебанія, которыя распространяются вдоль линіи OS , т. е. вообразимъ себѣ наблюдателя, находящагося на этой линіи и притомъ на разстояніи, чрезвычайно большомъ сравнительно съ размѣрами фигуры.

Мы уже ранѣе приняли (стр. 68), что свѣтовые колебанія поскольку дѣло идетъ объ ихъ направленіи, можно сравнить съ колебаніями натянутой веревки. На основаніи оптическихъ явленій уже съ давнихъ поръ пришли къ выводу, что колебанія свѣта, дѣйствительно, перпендикулярны къ направленію луча. Принявъ это на вѣру, мы должны представить себѣ, что по направленію OS въ плоскости рисунка не могутъ распространяться никакія другія колебанія, кромѣ тѣхъ, которыя происходятъ параллельно линіи LL . Понятно, что къ послѣднимъ колебаніямъ движеніе электрона въ горизонтальномъ направленіи въ ту и въ другую сторону не можетъ ничего добавить. Интересующія насъ колебанія будутъ возбуждаться только колебаніями въ вертикальномъ направленіи вдоль LL ,—другими словами, свѣтъ, излучаемый въ направленіи OS , будетъ такимъ, какъ будто нашъ электронъ не описываетъ звѣздообразной фигуры, а, согласно нашему предположенію, движется туда и назадъ отъ p къ q , отсюда къ Z , затѣмъ къ S и т. д. Это, очевидно, будутъ колебанія съ „біеніями“ и если бы они слѣдовали другъ за другомъ съ достаточною медленностью, то глазъ, находящійся гдѣ нибудь на линіи OS , видѣлъ бы эти біенія, такъ же, какъ ухо можетъ воспринимать ихъ при звуковыхъ явленіяхъ.

Замѣтитъ это, однако, по разнымъ причинамъ не удастся, но есть другое средство констатировать вліяніе магнитнаго поля. Это колебаніе съ біеніями сводится къ тому же, какъ будто бы существовали два колебательныхъ движенія съ нѣсколькими различными числами колебаній (стр. 66), а такія движенія мы можемъ отдѣлать другъ отъ друга при помощи спектроскопа. Если мы лучъ OS пропустимъ въ щель этого инструмента, то вмѣсто одной спектральной линіи получимъ двѣ.

Зеemannъ, дѣйствительно, наблюдалъ при помощи сильно преломляющаго спектроскопа такое раздвоеніе спектральныхъ линій, помѣщая источникъ свѣта въ сильное магнитное поле, — представьте, напр., сильный сѣверный полюсъ спереди плоскости нашего рисунка, а сильный южный полюсъ—позади его, — и я могу показать вамъ

теперь на экранѣ часть спектра металла *кадмія*, въ которомъ вы можете замѣтить нѣсколько такихъ „дуплетовъ“ *).

Я не стану подробно останавливаться на различныхъ особенностяхъ этого явленія. Упомяну только о томъ, что въ направленіи *OS* распространяются еще колебанія, перпендикулярныя къ плоскости рисунка, на которыя магнитное поле не имѣетъ никакого вліянія и которыя поэтому даютъ спектральную линію на ея постоянномъ мѣстѣ. Послѣдняя находится по срединѣ между обѣими линіями дуплета, такъ что мы видимъ, собственно говоря, тройную линію. Благодаря особой экспериментальной уловкѣ, профессоръ Зеemannъ при полученіи фотографіи устроилъ такъ, чтобы свѣтъ средней линіи не могъ попасть на чувствительную пластинку.

Въ послѣднее время изслѣдованы измѣненія, производимыя магнитными силами въ спектральныхъ линіяхъ весьма многихъ элементовъ. При этомъ природа, какъ будто желая посмѣяться надъ нашими простыми объясненіями, выдвинула нѣсколько осложнений, но, въ большинствѣ случаевъ, наши изслѣдованія увѣнчиваются такимъ же успѣхомъ, какъ при кадмѣ. Изложенная мною теорія, въ главныхъ чертахъ, несомнѣнно вѣрна, и мы можемъ смѣло предположить, что *электроны* излучаютъ свѣтъ своими колебаніями. Выведемъ изъ этого положенія нѣсколько ближайшихъ слѣдствій.

Во-первыхъ, мы уже знаемъ, что электронъ производитъ въ состояніи эфира извѣстныя измѣненія, которыя опредѣляются его зарядомъ и зависятъ отъ его движенія. Эти измѣненныя состоянія эфира обуславливаютъ дѣйствіе электрона на сосѣднія частицы и наблюдаются въ пространствѣ, окружающемъ наэлектризованныя тѣла и магниты. Колеблющійся электронъ будетъ возбуждать въ эфирѣ точно такія же измѣненія, а въ такомъ случаѣ, чтò можетъ быть естественнѣе того, чтобы въ нихъ видѣть сущность свѣтовыхъ колебаній. Точно также, чтò можетъ быть естественнѣе предположенія, что свѣтовые колебанія состоятъ въ періодическихъ нарушеніяхъ равновѣсія эфира того же рода, какъ тѣ измѣненія состоянія эфира, которыя получаютъ при электрическихъ и магнитныхъ дѣйствіяхъ? Въ этомъ заключается сущность электромагнитной теоріи свѣта, къ которой пришелъ Клеркъ Максвеллъ путемъ теоретическихъ разсужденій и которая заслужила еще болѣе общее одобреніе послѣ опытовъ Герца, доказавшихъ, что электромагнитныя нарушенія равно-

*) Чтобы рисунокъ 40 точно соотвѣтствовалъ явленію, наблюдаемому Зеemannомъ, звѣздообразная фигура должна состоять изъ многихъ тысячъ лучей.

вѣсія, похожія во многихъ отношеніяхъ на свѣтовые лучи, но обладающія большою длиною волны, распространяются съ тою же скоростью, что и свѣтъ.

Ко второму заключенію приводитъ насъ присутствіе большого количества линій, встрѣчающихся въ спектрахъ многихъ элементовъ. Это обстоятельство доказываетъ намъ, что молекула, а также атомъ (ибо иногда свѣтъ излучается, несомнѣнно, отдѣльными атомами), этихъ веществъ могутъ колебаться различными способами. Поэтому атомы нужно считать тѣльцами, болѣе сложнаго строенія, а это—уже шагъ къ тому, чтобы разсматривать электроны, производящіе свѣтъ своимъ движеніемъ, какъ маленькія части атомовъ.

У современныхъ физиковъ замѣтно стремленіе приписать этимъ электрически заряженнымъ частицамъ нѣкоторую роль во многихъ явленіяхъ, и, дѣйствительно, многое говоритъ за справедливость того предположенія, что онѣ представляютъ весьма существенную составную часть матеріи. Насколько мы знаемъ, онѣ образуютъ связь вѣсомой матеріи съ эфиромъ, будучи сами съ нимъ такъ тѣсно соединены, что своимъ присутствіемъ и движеніемъ измѣняютъ состояніе этой среды. На электроны возлагается поэтому надежда многими, которые разсматриваютъ силу тяжести и молекулярныя силы, какъ силы, вызываемыя процессами въ эфирѣ.

VII.

Сохраненіе энергіи.

Теперь прошла уже очередь всѣхъ явленій, о которыхъ я намѣренъ былъ съ вами побесѣдовать, и я думаю, что въ заключеніе нельзя сдѣлать ничего лучшаго, какъ снова разсмотрѣть ихъ съ одной общей точки зрѣнія. Для этого напомнимъ вамъ, что при тѣхъ различныхъ опытахъ, которые мы производили, и при многихъ другихъ, которые мы могли бы произвести, въ состояніи тѣлъ, надъ которыми мы при этомъ экспериментируемъ, вызывается нѣкоторое измѣненіе.

Дѣйствительно, поднятіе тяжести, сжиманіе поршнемъ газа въ цилиндрѣ, вытягиваніе спиральной пружины, сгибаніе упругаго прута, наконецъ возбужденіе распространяющихся съ извѣстною скоростью волнъ въ натянутой веревкѣ или въ водяной массѣ, всѣ эти явленія—не что иное, какъ измѣненіе состоянія тѣлъ. Къ этому перечню примѣровъ, взятыхъ изъ нашего курса, можно прибавить еще много

другихъ, въ которыхъ мы пользуемся тѣми или иными инструментами. Вспомните только поднятіе воды, расплющиваніе и ковку металла, пиленіе и струганіе дерева, возбужденіе электрическихъ токовъ, необходимыхъ для освѣщенія.

Обратимъ теперь вниманіе на *работу*, необходимую для всего этого, и прежде всего, если мы будемъ пользоваться нашею собственною мускульною силою, на то, что отъ нея требуется, если мы пожелаемъ произвести съ ея помощью то или другое измѣненіе.

Что мы ничего не можемъ произвести, не оказывая силы, ясно само собою, но, послѣ нѣкотораго размышленія, мы увидимъ, что, кромѣ силы, приходится считаться еще кое съ чѣмъ. Если кто-нибудь держитъ спокойно въ рукѣ гирию, то этимъ онъ не производитъ въ ней еще никакого *измѣненія*. Столь же мало производимъ мы въ томъ случаѣ, если мы держимъ вытянутою спиральную пружину или если мы, вдвинувъ поршень на нѣкоторое разстояніе вглубь цилиндра, наполненнаго газомъ, удерживаемъ его неподвижно въ этомъ новомъ положеніи, въ противовѣсъ повышенному давленію газа. Самое большее, что мы можемъ сказать въ этихъ случаяхъ, это—то, что мы оказываемою нами силою препятствуемъ измѣненію, которое иначе имѣло бы мѣсто, что мы мѣшаемъ газу расширяться, а пружинѣ—сжаться. Дѣйствительно *активными*,—въ томъ смыслѣ, что при нашемъ содѣйствіи совершается измѣненіе, которое можно разсматривать, какъ результатъ нашего напряженія,—являемся мы лишь тогда, когда не только оказываемъ силу, но когда, кромѣ того, предметъ, на который мы дѣйствуемъ, движется въ направленіи этой силы. Такъ будетъ, напримѣръ, когда мы производимъ толчокъ рубанкомъ или поднимаемъ тяжесть на извѣстную высоту.

Подобныя разсужденія привели къ слѣдующимъ соглашеніямъ: мы говоримъ, что *производимъ* работу, если мы оказываемъ нѣкоторую силу, и тѣло, на которое мы дѣйствуемъ, перемѣщается по направленію силы. Чѣмъ больше дѣйствующая сила и пройденный путь, тѣмъ больше мы считаемъ работу. Величину работы мы считаемъ такимъ образомъ пропорціональною, какъ величинѣ силы, такъ и величинѣ пройденнаго пути.

Условившись въ этомъ, мы должны теперь ввести и единицу работы. За таковую мы выбираемъ работу, производимую нами, если сила равна одной динѣ, а путь $= 1$ см., и называемъ эту единицу *эриомъ*. Теперь легко вычислить въ каждомъ случаѣ, сколько такихъ единицъ содержитъ исполненная работа. Если, напримѣръ, сила равна 7 динамъ, а пройденный путь $= 3$ см., то величину работы можно

получить слѣдующимъ образомъ. Если бы сила была равна 1 динѣ, а путь—1 сантиметру, то работа была бы равна 1 эргу. Если бы сила была равна 7 динамъ, а путь всетаки 1 сантиметру, то, такъ какъ работа считается пропорціональною силѣ, работа была бы въ семь разъ больше, нежели въ первомъ случаѣ, т. е. была бы равна 7 эргамъ. А такъ какъ такая сила дѣйствуетъ на протяженіи въ три раза большаго промежутка, то работа будетъ въ три раза больше, т. е. будетъ равна $3 \cdot 7 = 21$ эргамъ.

Итакъ, если оказываемая нами сила равна K динамъ, а перемѣщеніе равно S сантиметрамъ, работа будетъ равна KS эргамъ *).

Все это условнымъ образомъ, но твердо установлено. Для чего это служить, будетъ ясно изъ дальнѣйшаго.

Выяснимъ себѣ нѣсколько подробнѣе способъ выраженія, которыми мы будемъ пользоваться. Во-первыхъ, будемъ говорить, что работу, величина которой опредѣляется по вышесказанному правилу, мы совершаемъ на **) соотвѣтствующее тѣло, напр., на рубанокъ или на поднимаемую гирию. Вспомнимъ далѣе, что оказывать силу на какойнибудь предметъ можемъ не только мы сами, но можетъ и какоенибудь другое тѣло. Слѣдовательно, разъ произошло нѣкоторое перемѣщеніе, естественно сказать, что это другое тѣло совершаетъ работу.

Представьте себѣ, напримѣръ, что на столѣ находятся два шарика, которые, прикасаясь другъ къ другу, движутся въ одну и ту же сторону. Если первое изъ этихъ тѣлъ толкаетъ второе, дѣйствуя

*) Если во время движенія величина силы измѣняется, то проходимый путь дѣлать на такіе малые отрѣзки, чтобы силу во время прохожденія каждаго изъ нихъ можно было считать постоянной. Длину каждой части пути умножаютъ на ту величину силы, какую она имѣетъ въ началѣ этой части, и складываютъ все полученныя такимъ образомъ произведенія. Можно также иногда вполне точно, а иногда приблизительно, вычислить работу, умножая пройденный путь на среднее арифметическое наибольшей и наименьшей силы.

Если направленіе движенія не совпадаетъ съ направленіемъ силы, то послѣднюю разлагаютъ на двѣ такихъ слагающихъ, чтобы одна шла по направленію движенія, а другая—перпендикулярно къ нему. Тогда работа вычисляется такъ, какъ будто существуетъ только первая слагающая.

**) Согласно желанію автора, переведившій его лекціи на нѣмецкій языкъ перевелъ выраженіе *«arbeid doen op een lichaam»* словами *«Arbeit auf einen Körper thun»* хотя и находилъ, что такой способъ выраженія еще менѣе употребителенъ въ нѣмецкомъ, чѣмъ въ голландскомъ. Самъ же авторъ, какъ соглашается и нѣмецкій переводчикъ, указываетъ на преимущество краткости этого выраженія и на облегченіе имъ представленія о работѣ. Чтобы сохранилась своеобразность языка автора, мы это выраженіе будемъ здѣсь переводить словами «работать на тѣло» вмѣсто болѣе обычнаго, но имѣющаго нѣсколько иной оттѣнокъ выраженія «работать надъ тѣломъ».

Прим. ред.

на него съ извѣстною силою, то его собственное движеніе вслѣдствіе этого замедляется. Первое тѣло въ этомъ случаѣ является дѣйствующимъ, и мы говоримъ, что оно совершаетъ работу на второе, а про второе говоримъ, что на него совершается работа. Величину этой работы мы вычисляемъ опять таки съ помощью вышеприведенной формулы.

Точно также и сжатый газъ совершаетъ работу на поршень, поднимая его; паръ — на поршень паровой машины; вѣтеръ — на крылья вѣтряной мельницы, и текущая вода — на лопасти колеса. Того же способа выраженія мы будемъ держаться, говоря о вытянутой пружинѣ, которая, сокращаясь, приводитъ въ движеніе предметъ, прикрѣпленный къ ея концу. Такъ же точно объ опускающейся часовой гирѣ скажемъ мы, что она совершаетъ работу на шнурокъ, на которомъ она виситъ, а при его посредствѣ — на колесный механизмъ. Хотя въ двухъ послѣднихъ примѣрахъ одно тѣло не давитъ на другое, но тѣмъ не менѣе мы и здѣсь говоримъ о работѣ, подобно тому, какъ мы говоримъ о направленіи силы, оказываемой дѣйствующимъ тѣломъ, если только въ этомъ направленіи происходитъ перемѣщеніе.

Какъ вы видите, избранный нами способъ выраженія имѣетъ весьма широкое примѣненіе. Мы будемъ однако ограничивать наше разсмотрѣніе тѣми случаями, когда два тѣла *при соприкосновеніи* дѣйствуютъ другъ на друга и, слѣдовательно, не притягиваютъ и не отталкиваютъ другъ друга на разстояніи, — и когда части, находящіяся въ соприкосновеніи, одинаково перемѣщаются въ направленіи силы.

Теперь мнѣ хотѣлось бы сейчасъ же познакомить васъ съ тѣмъ общимъ закономъ природы, который я отложилъ для этого послѣдняго вечера. Законъ этотъ выражается весьма просто, хотя для того, чтобы убѣдиться въ его всеобщей примѣнимости, потребовалось много кропотливыхъ изслѣдованій.

Внимательное разсмотрѣніе явленій, подобныхъ только что упомянутымъ, а также многихъ другихъ, убѣдительно доказало два положенія: работа никогда не можетъ быть затрачена *на какое нибудь тѣло*, — которое, въ свою очередь, не затрачиваетъ работы на другое тѣло, — безъ того, чтобы не измѣнить состоянія послѣдняго; и точно также работа не можетъ быть совершена *какимъ-нибудь тѣломъ*, — въ предположеніи, что на него не затрачивается работа, — если состояніе этого тѣла не претерпѣваетъ измѣненій. Измѣненія въ этихъ двухъ случаяхъ имѣютъ противоположное направленіе.

Спиральная пружина, служившая столь часто намъ примѣромъ, измѣняетъ свою длину, если мы на нее тратимъ работу, а, возвращаясь послѣ этого въ первоначальное состояніе, сама является дѣйствующимъ тѣломъ

Все это такъ просто, что кажется почти излишнимъ высказывать это опредѣленно. Кому хоть на мгновеніе можетъ прійти въ голову, что наша спиральная пружина, будучи закрѣплена однимъ концомъ, сможетъ другимъ своимъ концомъ привести что нибудь въ движеніе, если ея длина при этомъ не измѣнилась? А всетаки долгое время люди искали *perpetuum mobile* и искали не вслѣдствіе менѣе яснаго сужденія, а только лишь благодаря неудовлетворительному знанію явленій природы. Это *perpetuum mobile* должно было явиться такимъ приспособленіемъ, которое производило бы работу, не измѣняя своего состоянія, или, по меньшей мѣрѣ, не измѣняя его въ теченіе продолжительнаго времени,—т. е. такимъ приспособленіемъ, которое должно было бы исполнять работу извѣстное время, затѣмъ должно было бы возвращаться въ первоначальное состояніе,—безъ того, что бы на него была совершена извнѣ работа,—и такимъ образомъ снова оказывалось бы способнымъ къ работѣ. Въ настоящее время мы можемъ сказать, что такіе поиски—химера *). Если тѣло исполняетъ какую-либо работу, то съ нимъ происходятъ измѣненія и притомъ такія, что оно становится все менѣе и менѣе способнымъ производить эту работу далѣе; иначе говоря, если намъ дано тѣло въ опредѣленномъ состояніи, то оно можетъ исполнить только вполне опредѣленную работу, то есть оно имѣетъ, какъ говорятъ, ограниченную *работоспособность*, ограниченную *энергію*. Если тѣло производитъ работу въ опредѣленное число эрговъ, то его работоспособность уменьшается какъ разъ на столько же эрговъ. Изъ этого положенія, какъ мы видимъ, вытекаетъ нѣчто такое, что, очевидно, можетъ, при примѣненіи къ болѣе или менѣе затруднительнымъ случаямъ, быть весьма полезнымъ. Теперь намъ извѣстно, что, если мы знаемъ тѣло въ двухъ различныхъ состояніяхъ, то эти два состоянія могутъ быть различаемы неравнымъ количествомъ энергіи и что ихъ различіе должно равняться опредѣленному числу эрговъ.

Какъ я уже сказалъ, тѣло, совершая работу, претерпѣваетъ измѣненія противоположнаго направленія сравнительно съ тѣми, какія въ немъ происходятъ, когда на него затрачивается работа. Если въ

*) Къ сожалѣнію, у насъ въ Россіи много талантливыхъ самоучекъ тратятъ свои способности на осуществленіе этой химеры. (Прим. пер.)

первомъ случаѣ его работоспособность уменьшается, то во второмъ она увеличивается, и притомъ на величину, равную затраченной на это тѣло работѣ. Теперь зависимость между двумя тѣлами, изъ которыхъ одно затрачиваетъ работу на другое, выступаетъ въ новомъ свѣтѣ. Работоспособность дѣйствующаго тѣла уменьшается на столько, сколько оно совершило работы, работоспособность „обработаннаго“ тѣла, какъ я осмѣлюсь его назвать, настолько же увеличивается, а сумма работоспособностей обоихъ тѣлъ остается, такимъ образомъ, неизмѣнною. Мы скажемъ, выражаясь фигурально,—и вы не найдете это неумѣстнымъ,—что одно тѣло передало свою работоспособность другому. Мы распространяемъ далѣе это представление на всѣ явленія, не исключая и тѣхъ, въ которыхъ принимаютъ участие болѣе, чѣмъ два тѣла. Можетъ случиться, что одно тѣло работаетъ на два и болѣе тѣлъ. Тогда оно отдаетъ всѣмъ имъ изъ своего запаса нѣкоторое количество работоспособности. Въ другихъ случаяхъ, наоборотъ, одно тѣло получаетъ работоспособность отъ нѣкотораго числа другихъ тѣлъ, дѣйствующихъ на него сообща. Наконецъ, возможенъ и такой случай, при которомъ одно тѣло, воспринимая работу другого, само, въ свою очередь, совершаетъ работу на третье. Тогда оно сохраняетъ въ себѣ постоянное количество работоспособности, и состояніе его почти не измѣняется. Короче говоря, мы приходимъ къ тому заключенію, что въ мірѣ существуетъ опредѣленное количество энергіи, остающееся неизмѣннымъ, несмотря на постоянный обмѣнъ.

Однако же пора оставить эти общія разсужденія и перейти къ разсмотрѣнію нѣкоторыхъ опредѣленныхъ случаевъ. Замѣтимъ при этомъ, что тѣло можетъ обладать работоспособностью въ силу различныхъ причинъ. Поэтому мы будемъ различать нѣсколько видовъ или формъ работоспособности или энергіи.

Разсмотримъ сперва гирю часовъ. Допустимъ, что она вѣситъ P динъ и находится на высотѣ h сантиметровъ отъ самой низкой точки, которой она можетъ достигнуть. Тогда она можетъ протянуть шнурокъ на это разстояніе, и такъ какъ она дѣйствуетъ съ силою въ P динъ, то она можетъ совершить работу, равную $P h$ эрговъ. Такова, слѣдовательно, работоспособность гири на высотѣ h . Такимъ же образомъ вычисляется работоспособность любого тѣла, находящагося на опредѣленной высотѣ. Подъ h надо разумѣть разстояніе, на которое тѣло можетъ опуститься, т. е. высоту надъ тою или дру-

гою горизонтальною плоскостію, ниже которой тѣло никогда не заходитъ при своихъ движеніяхъ.

Работоспособность, которою обладаетъ тѣло благодаря своему положенію или положенію своихъ частицъ, принято для отличія называть „*работоспособностью положенія*“, или „*потенціальною энергіею*“. Если мы желаемъ вычислить потенциальную энергію для нѣкоторой системы тѣлъ, то мы должны умножить вѣсъ каждаго изъ нихъ на высоту его надъ опредѣленною горизонтальною плоскостію и сложить полученныя произведенія. Понятно, что такимъ же образомъ можно вычислить потенциальную энергію тѣла, имѣющаго опредѣленное протяженіе, на примѣръ, нѣкоторой массы жидкости; при этомъ нужно принимать въ расчетъ высоту каждой изъ его частицъ въ отдѣльности.

Приписывать въ вышеприведенномъ примѣрѣ потенциальную энергію одной только гирѣ, собственно говоря, не вполнѣ правильно. Между разсматриваемымъ нами тѣломъ и землею существуетъ взаимное притяженіе, имѣющее слѣдствіемъ то, что во время паденія тѣла земля подвигается ему на встрѣчу,—хотя и на непримѣтное разстояніе. Строго говоря, мы должны сказать, что энергіею положенія обладаетъ эта *система*, состоящая изъ земли и гири, и если мы усматриваемъ причину притяженія въ состояніи раздѣляющей ихъ среды, то надо принимать въ расчетъ и послѣднюю. Мѣстоимѣніе работоспособности—тамъ, гдѣ произошли какія-нибудь измѣненія, а при нашемъ предположеніи такія измѣненія имѣли бы мѣсто именно въ этой средѣ *).

Но намъ не всегда надо доискиваться до корня вещей, и мы можемъ, не вдаваясь въ подробности, сказать, что всякія два тѣла, притягивающія другъ друга, (будь то земля и камень или два небесныхъ свѣтила, или двѣ молекулы, или два атома, или даже два электрона), обладаютъ энергіею положенія, причемъ, чѣмъ большее разстояніе отдѣляетъ ихъ, тѣмъ больше эта энергія. Сказанное о двухъ тѣлахъ относится и къ любому числу тѣлъ или частицъ,

*) Теперь должно стать понятнымъ, почему мы (стр. 122) принимали, что два тѣла дѣйствуютъ другъ на друга только при прикосновеніи. Если два тѣла притягиваются другъ къ другу на разстояніи, то, конечно, ихъ система обладаетъ извѣстною работоспособностью, но мы не можемъ раздѣлить послѣднюю на двѣ части, изъ которыхъ одна принадлежала бы первому, а другая—второму тѣлу. Если же энергія системы не дѣлима, то и выраженіе, что одно тѣло передаетъ работоспособность другому, не имѣетъ смысла. Въ такомъ случаѣ можно было бы, конечно, сказать, что каждое изъ двухъ тѣлъ отдаетъ свою энергію окружающей средѣ и воспринимаетъ ее отъ этой среды.

напримѣръ, къ цѣлой планетной системѣ, ко всѣмъ дѣйствующимъ другъ на друга молекуламъ жидкости или газа и т. д. При наличности силы притяженія, потенциальная энергія уменьшается вмѣстѣ съ уменьшеніемъ взаимныхъ разстояній. Дѣйствительно, сближеніе взаимно притягивающихся тѣлъ можетъ повести къ тому, что система произведетъ работу на какое нибудь другое тѣло.

Нечего распространяться о томъ, что и отталкивательнымъ силамъ тоже соотвѣтствуетъ потенциальная энергія, и что величина послѣдней тѣмъ больше, чѣмъ меньше разстояніе между тѣлами, ибо нужно затратить работу, чтобы сблизить такія тѣла. Точно также вамъ будемъ ясно, что въ нашей вытянутой пружинѣ мы тоже встрѣчаемся съ энергіею, которая является результатомъ силъ, дѣйствующихъ между частицами, и зависитъ отъ положенія частицъ. Поэтому мы здѣсь и говоримъ о потенциальной энергіи.

И въ этихъ сложныхъ примѣрахъ энергіи положенія можно, зная силы, дѣйствующія между тѣлами или частицами, вычислить, для каждаго взаимнаго ихъ положенія, величину потенциальной энергіи такъ же, какъ и въ вышеприведенномъ примѣрѣ съ гирею; только вычисленія здѣсь будутъ нѣсколько сложнѣе.

Теперь перейдемъ ко второй, не менѣе важной формѣ энергіи. Если мы совершаемъ работу на какое-нибудь тѣло, то слѣдствіемъ этого можетъ быть то, что оно получаетъ извѣстную скорость. Въ этомъ случаѣ тѣло тоже приобрѣло работоспособность, такъ какъ находящееся въ движеніи тѣло можетъ привести въ движеніе что-нибудь другое или вызвать какое-нибудь другое измѣненіе.

Такъ, благодаря своей скорости, воздухъ приводитъ въ движеніе мельницу, водяной потокъ—колесо, а пуля совершаетъ работу, необходимую для раздробленія чего-нибудь. Вычислимъ величину этой „работоспособности движенія“ или „кинетической энергіи“. Я докажу вамъ, что для тѣла массою въ m гр., движущагося со скоростью v см. въ секунду, она равна $\frac{1}{2} mv^2$ эрговъ.

Проще всего будетъ, если я докажу вамъ, что на приведеніе тѣла въ движеніе со скоростью v обойдется намъ въ такое-то количество эрговъ работы. Этого мы можемъ достигнуть, дѣйствуя на тѣло постоянною силою въ теченіе опредѣленнаго времени, напримѣръ, t секундъ. Понятно, что, желая получить въ результатѣ требуемую скорость v см. въ секунду, мы должны выбрать силу соотвѣтствующей величины. Скорость, сообщаемая въ секунду, то есть ус-

кореніе, должно равняться $\frac{v}{t}$, а, слѣдовательно, сила должна быть

$$K = m \frac{v}{t}$$

динъ. Во время дѣйствія силы тѣло проходить извѣстный путь, равный, скажемъ, s см. Его не трудно вычислить, зная, что тѣло при равномерномъ ускоренномъ движеніи проходитъ такое же разстояніе, какъ если бы оно двигалось поступательно со скоростью, среднею между начальною и конечною скоростями. Въ нашемъ случаѣ скорость въ началѣ дѣйствія силы равна 0, а при прекращеніи дѣйствія силы— v . Слѣдовательно, среднее этихъ двухъ скоростей равно

$\frac{v}{2}$, откуда

$$s = \frac{1}{2} vt.$$

Работа-же равна Ks эргамъ, т. е.

$$m \frac{v}{t} \cdot \frac{1}{2} vt = \frac{1}{2} mv^2 \text{ эрговъ.}$$

Путемъ подобныхъ же умозаключеній можно доказать, что, обратно, когда тѣло совершаетъ работу на какое-нибудь другое тѣло и при этомъ совершенно теряетъ свою скорость, то работа его равна той же величинѣ. Слѣдовательно, мы на самомъ дѣлѣ вычислили *работоспособность* движенія. Если мы заставимъ тѣло совершать работу, но не допустимъ полного уничтоженія его скорости, то совершенная работа будетъ равна величинѣ, на которую уменьшилась кинетическая энергія. Пусть, напримѣръ, тѣло, масса котораго равна 1000 гр., обладаетъ сначала скоростью 100 см. въ секунду, а, протаскивъ за собою на нѣкоторое разстояніе другое тѣло или же протолкнувъ его, оно будетъ обладать скоростью 30 см. въ секунду. Въ такомъ случаѣ кинетическая энергія его съ $\frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 100^2 = 5,000,000$ эрговъ спустилась до $\frac{1}{2} \cdot 1000 \cdot 30^2 = 450,000$ эрговъ; слѣдовательно, совершенная работа равна $5,000,000 - 450,000 = 4,550,000$ эргамъ.

Въ вопросѣ о работоспособности является совершенно безразличнымъ то обстоятельство, въ какомъ направленіи движется тѣло. Пуля, летящая косо вверхъ, можетъ, благодаря своей скорости, произвести при ударѣ о тотъ или другой предметъ такое же дѣйствіе, какъ и та, которая летитъ въ горизонтальномъ направленіи. Равнымъ

образомъ не имѣеть здѣсь значенія и природа тѣлъ. Зная скорость теченія ручья, а вмѣстѣ съ тѣмъ и количество воды, проходящей въ опредѣленное время черезъ поперечное сѣченіе его, мы съ помощью нашей формулы можемъ вычислить работоспособность, которую доставляетъ онъ намъ за это время, то есть работу, которую онъ могъ бы произвести въ томъ наиболѣе благопріятномъ случаѣ, если бы вся вода была приведена въ полный покой.

Итакъ, мы изучили два главныхъ вида энергіи. Одно и то же тѣло можетъ обладать одновременно ими обоими, и тогда общая его энергія равна суммѣ ихъ. Пока такое тѣло не производитъ никакой работы и пока никакая работа не совершается на него, его общая работоспособность остается неизмѣнною. Но это не исключаетъ возможности того, чтобы при этомъ въ тѣлѣ происходили измѣненія, и одна часть его работоспособности возрастала,—конечно, на счетъ другой. Такъ, на примѣръ, тѣло, свободно падающее въ безвоздушномъ пространствѣ—и, слѣдовательно, не приводящее, подобно *меченно* спускающейся часовой гирѣ, въ движеніе какой нибудь предметъ, хотя—и теряетъ энергію положенія, но зато пріобрѣтаетъ въ такомъ же количествѣ кинетическую. Такое же превращеніе одной части энергіи въ другую происходитъ непрерывно въ обыкновенномъ маятникѣ. Когда колеблющійся шарикъ переходитъ изъ своего крайняго положенія въ положеніе равновѣсія, потенциальная энергія его уменьшается, но вслѣдствіе увеличенія скорости возрастаетъ кинетическая. Въ тотъ моментъ, когда онъ проходитъ черезъ положеніе равновѣсія, онъ пріобрѣлъ ровно столько же кинетической энергіи, сколько потерялъ потенциальной. При подъемѣ шарика на прежнюю высоту, энергія движенія снова исчезаетъ, а потенциальная увеличивается до первоначальной величины, ибо шарикъ поднимается на прежнюю высоту.

Для большей ясности приведу слѣдующія цифры. Если крайнее положеніе шарика на 10 см. выше положенія равновѣсія, то онъ проходитъ послѣднее со скоростью, нѣсколько большею, чѣмъ 140 см. въ секунду. Пусть масса его равна 1 гр., слѣдовательно, вѣсъ его равенъ 981 динъ; тогда потенциальная энергія его въ высшемъ пунктѣ будетъ на $981 \cdot 10 = 9810$ эрговъ больше, чѣмъ въ низшемъ. Такой же величины будетъ и кинетическая энергія— $\frac{1}{2} \cdot 140^2$ —, соотвѣтствующая наибольшей скорости.

Съ помощью нашего закона сохраненія энергіи, намъ легко будетъ понять слѣдующее явленіе, описанное еще Галилеемъ. Под-

нимемъ шарикъ маятника на нѣкоторую высоту и затѣмъ выпустимъ его. Въ то же время установимъ перпендикулярно къ плоскости качанія горизонтальный стержень такъ, чтобы нить встрѣтилась съ нимъ, проходя вертикальное положеніе. Тогда качающійся шарикъ не будетъ уже въ состояніи подняться вверхъ по той дугѣ, которую онъ безъ этого долженъ былъ бы пробѣжать. Онъ вынужденъ теперь описать дугу меньшаго радіуса, центромъ которой является точка касанія нити со стержнемъ. Тѣмъ не менѣе,—и въ этомъ для насъ теперь вся суть опыта, шарикъ поднимается на прежнюю высоту. Легко понять, что это иначе и быть не можетъ. Тѣмъ, что я держу стержень неподвижно, я не произвожу никакой работы на маятникъ, и энергія послѣдняго должна остаться неизмѣнною. Это возможно лишь въ томъ случаѣ, если шарикъ въ моментъ, когда его скорость оказывается исчерпанною, будетъ обладать прежнею потенциальною энергіею,—т. е. находится на той же высотѣ, съ какой мы его выпустили.

Теперь я могу такъ измѣнить движеніе, что шарикъ поднимается на бѣольшую или меньшую высоту, сравнительно съ первоначальною. Для этого достаточно двинуть стержнемъ нить назадъ, какъ только она съ нимъ встрѣтится, или же заставить ее самое сдвинуть этотъ стержень. Въ первомъ случаѣ мы произведемъ работу на маятникъ, а во второмъ—заставимъ его производить работу на стержень. Вы видите, что, согласно нашему ожиданію, работоспособность маятника то увеличивается, то уменьшается.

Если я заставлю подвѣшенный на нити шарикъ сталкиваться съ другимъ такимъ же шарикомъ, то онъ будетъ совершать работу на этотъ послѣдній и, слѣдовательно, терять энергію движенія. Если при этомъ оба шарика одинаково велики и вполне упруги, то первый изъ нихъ послѣ удара останавливается, а второй пріобрѣтаетъ скорость перваго. Въ этомъ случаѣ вся кинетическая энергія одного тѣла перешла къ другому. Такую передачу работоспособности цѣлому ряду тѣлъ можно наблюдать на шести шарикахъ изъ слоновой кости, которые подвѣшены на нитяхъ одинаковой длины такъ, что, находясь въ положеніи равновѣсія, они касаются другъ друга, а центры ихъ находятся на горизонтальной прямой. Если я подниму первый шарикъ на нѣкоторую высоту и выпущу его такъ, чтобы онъ ударился о второй шарикъ по направленію этой линіи, то шестой шарикъ, какъ вы видите, подскакиваетъ вверхъ. Онъ за это время получилъ всю работоспособность, сообщенную нами первому шарiku.

По поводу этого удара упругихъ шаровъ слѣдуетъ еще замѣтить, что величина работоспособности, сообщаемой однимъ изъ

нихъ другому, постоянно равна работѣ, произведенной первымъ на второй; вычислить же эту работу можно было бы, умноживъ пройденный путь на среднюю величину силы. Точка соприкосновенія шаровъ перемѣщается въ короткое время толчка на чрезвычайно малое разстояніе, но мы уже знаемъ, что сила, которую оказываетъ одинъ шарикъ на другой, очень велика.

Передача работоспособности въ нашемъ рядѣ костяныхъ шариковъ приводитъ насъ къ замѣчанію, что, при каждомъ распространеніи нарушенія равновѣсія, энергія переходитъ съ одной части тѣла на другую. Приводя, напримѣръ, въ колебаніе рукою конецъ длинной натянутой веревки, я непрерывно совершаю работу на эту веревку и этимъ увеличиваю ея работоспособность, которая выражается во все далѣе и далѣе распространяющихся волнахъ. И совершенно такъ, какъ моя рука затрачиваетъ работу на начало веревки, каждая изъ частей ея затрачиваетъ ее на непосредственно слѣдующую часть и переносить на нее ту энергію, которую она сама только что получила. Если противоположный конецъ веревки прикрѣпленъ къ прочно вбитому въ стѣну гвоздю, то, когда колебанія доходятъ до него, дальнѣйшее распространеніе работоспособности прекращается. Она возвращается вмѣстѣ съ отраженными колебаніями назадъ. Если гвоздь абсолютно неподвиженъ, то на него не можетъ быть совершена никакая работа. Если *оба* конца веревки прикрѣплены къ неподвижнымъ точкамъ, подобно концамъ натянутой струны, то энергія въ этихъ мѣстахъ не можетъ быть ни воспринята, ни передана. Вслѣдствіе этого, разъ полученный запасъ ея можетъ быть сообщенъ только окружающему воздуху. Если пренебречь этимъ, то все явленіе состоитъ въ переходѣ потенциальной энергіи въ кинетическую и обратно —точь-въ-точь, какъ при маятникѣ. Замѣните теперь мысленно руку, движущуюся туда и назадъ, колеблющимися электронами, а веревку —эфиромъ, и вы получите излученіе свѣта и тепла. Электроны совершаютъ работу на эфиръ, производя въ немъ уже извѣстныя намъ нарушенія равновѣсія, и точно также одна часть эфира совершаетъ работу на другую часть, передавая ей свою энергію. Неподвижному гвоздю при колебаніяхъ веревки здѣсь соотвѣтствовала бы вполнѣ отражающая поверхность. Если же лучи входятъ въ невольнѣ прозрачное вѣсомое тѣло, то они будутъ имъ отчасти поглощаться. Въ то время, какъ эфиръ совершаетъ работу на это тѣло, наличная работоспособность послѣдняго будетъ увеличиваться.

Измѣненія, которыя при этомъ могутъ имѣть мѣсто въ тѣлѣ, многообразны. Если это —фотографическая пластинка, то въ ней проис-

ходятъ химическія реакціи. Атомы отдѣляются другъ отъ друга и пріобрѣтаютъ большую потенциальную энергію, чѣмъ прежде. Во многихъ случаяхъ дѣйствіе поглощенныхъ лучей сказывается лишь въ нагрѣваніи тѣла. Въ такомъ случаѣ происходитъ увеличеніе кинетической энергіи молекулярнаго движенія.

Эту работоспособность маленькихъ частицъ вещества мы можемъ увеличить и непосредственно своею собственною работою. Вы помните, что газъ при сжатіи нагрѣвается. Мы это объясняли тѣмъ, что молекулы, ударяясь о поршень, отбрасываются назадъ съ большою скоростью, чѣмъ та, которую онѣ имѣли до этого. Но теперь мы можемъ сказать также, что мы затрачиваемъ работу на поршень, что мы сообщаемъ ему энергію, которая переходитъ съ него на молекулы. При этомъ настолько увеличивается работоспособность газа, насколько уменьшается работоспособность лица, производящаго опытъ. Если бы мы могли видѣть все, что происходитъ внутри цилиндра, то могли бы вычислить съ помощью формулы $\frac{1}{2} m v^2$ кинетическую энергію каждой отдѣльной молекулы, а также каждого атома и электрона. Точно также мы могли бы точно установить, какою работоспособностью положенія обладаютъ по отношенію другъ къ другу частицы, изъ которыхъ состоятъ молекулы. Сложивши все это, мы нашли бы, сколькимъ эргамъ равняется энергія всего газа, а также, насколько она увеличивается при сжатіи послѣдняго. При этомъ оказалось бы, что это увеличеніе энергіи какъ разъ равно затраченной работѣ.

Въ такой же формѣ, какъ при сжатіи газа, а именно въ видѣ энергіи мельчайшихъ частицъ вещества, въ той формѣ, которую мы называемъ „тепломъ“, проявляется энергія въ томъ случаѣ, когда мы производимъ треніе двухъ тѣлъ другъ о друга, и такимъ образомъ совершаемъ на нихъ работу. Эту работу мы опять таки можемъ вычислить, зная величину силы и пройденнаго пути. То же самое получается и при столкновеніи тѣлъ, не вполне упругихъ и потому отталкивающихъ другъ друга не съ такою скоростью, какъ тѣла, вполне упругія. Вообще, всякій разъ, когда видимое движеніе уничтожается какимъ-нибудь препятствіемъ, и въ первый моментъ кажется, какъ будто кинетическая его энергія потерялась, развивающаяся теплота доказываетъ намъ, что работоспособность не исчезла, а лишь перешла изъ области видимыхъ движеній въ область невидимыхъ.

А что происходитъ, если я нагрѣваю какое нибудь тѣло, приводя его въ соприкосновеніе съ пламенемъ? Пламя затрачиваетъ на тѣло работу, но, очевидно, совершенно инымъ способомъ, чѣмъ тотъ,

которымъ вгоняемый внутрь цилиндра поршень работаетъ на газъ. Молекулы или атомы пламени не дѣйствуютъ всѣ сообща, двигаясь въ одномъ направленіи, а каждая изъ нихъ работаетъ самостоятельно. Каждая изъ нихъ совершаетъ работу на тѣ частицы тѣла, которыя находятся въ сферѣ ея дѣйствія, и сообщаетъ имъ работоспособность точно такимъ же образомъ, какимъ одинъ упругій шаръ, сталкиваясь съ другимъ такимъ же шаромъ, передаетъ ему энергію. Этотъ своеобразный способъ произведенія работы или передачи энергіи обыкновенно называется „передачею теплоты“.

Вы сами понимаете, насколько важно для нашего познанія природы опредѣлить, какое количество энергіи надо сообщить тѣлу, чтобы поднять его температуру на опредѣленную величину. Мы можемъ поставить вопросъ такъ: сколько требуется эрговъ, чтобы поднять температуру 1 гр. воды на 1°C , на примѣръ, отъ 15° до 16°C ?. Зная это, мы можемъ отвѣтить и на другіе подобные вопросы. Путемъ измѣренія было найдено отношеніе количества теплоты, которое нужно сообщить одному грамму воды для только что указанной цѣли и которое принято за единицу теплоты (*калорія*), къ тѣмъ количествамъ теплоты, которыя потребны для другихъ измѣненій. Такъ, на примѣръ, найдено, что для нагрѣванія отъ 15° до 16°C одного грамма мѣди требуется 0.094, а для расплавленія одного грамма льда—79 единицъ тепла; далѣе, для обращенія одного грамма воды при 100°C въ насыщенный паръ той же температуры нужно сообщить ему 537 калорій. Зная же, какое количество эрговъ соответствуетъ единицѣ тепла, нетрудно при помощи этихъ чиселъ сравнить между собою энергіи холодной и теплой мѣди, льда и воды, воды и пара и т. д.

Для числа эрговъ, соответствующаго вышеназванной единицѣ тепла, найдено значеніе 41,900,000. Это соответствуетъ работоспособности положенія, которою обладаетъ тѣло въ одинъ граммъ (то есть вѣсомъ въ 981 дину) на высотѣ 427 метровъ. Слѣдовательно, если бы одинъ граммъ воды падалъ бы съ этой высоты и, упавъ на землю, обратилъ бы всю свою энергію въ теплоту, а послѣдняя цѣликомъ осталась бы въ водѣ, то температура этой воды поднялась бы на 1°C .

Число единицъ работы, содержащихся въ одной калоріи, носитъ названіе „механическаго эквивалента единицы тепла“ или просто „механическаго эквивалента тепла“. Знаніемъ его мы обязаны изслѣдованіямъ многочисленныхъ наблюдателей, труды которыхъ относятся

къ лучшему изъ того, что дали намъ экспериментаторы XIX вѣка. Согласіе результатовъ, полученныхъ разными путями, показываетъ намъ, что, напримѣръ, не можетъ быть и рѣчи о томъ, чтобы при различныхъ обстоятельствахъ могло бы при треніи въ одномъ случаѣ получиться количество теплоты, соотвѣтствующее опредѣленной работѣ, а въ другомъ—не получилось бы. Это согласіе представляетъ такимъ образомъ весьма цѣнное доказательство закона сохраненія энергіи.

Я долженъ замѣтить при этомъ, что такое доказательство отнюдь не излишне. Въ интересахъ ясности я, быть можетъ, слишкомъ просто излагалъ вамъ свои выводы, такъ что у васъ можетъ образоваться впечатлѣніе, будто все это естественно и почти само собою понятно. Но это вовсе не такъ. Лишь благодаря тщательному и настойчивому изученію дѣйствительности, могли съ достовѣрностью вывести, что тѣло не можетъ длительно производить работу, если ему не будетъ извнѣ сообщаться работоспособность, что *perpetuum mobile* невозможно, и что даже сила тяжести, какія бы уловки мы ни примѣняли, никогда не можетъ вызвать того, чтобы тѣло поднялось на большую высоту, чѣмъ та, съ которой оно спустилось.

Знаніе механическаго эквивалента тепла даетъ намъ во многихъ случаяхъ возможность измѣрить величину работоспособности: мы обращаемъ ее въ теплоту, сообщаемую опредѣленному количеству воды, и измѣряемъ повышение температуры послѣдней. Если мы подвергнемъ дѣйствию солнечныхъ лучей наполненный водою металлическій сосудъ, наружныя стѣнки котораго, для устраненія отраженія, покрыты сажею, то по повышенію температуры воды мы въ состояніи судить о количествѣ энергіи, падающей въ извѣстное время на опредѣленную поверхность, напримѣръ, на 1 кв. сантиметръ. Такимъ образомъ составляемъ мы представленіе о томъ, какую работу могли бы мы совершать солнечными лучами, если бы мы были въ состояніи использовать вполнѣ всю ихъ энергію, а также представленіе о томъ неизмѣримомъ количествѣ энергіи, которое наша планета изъ года въ годъ получаетъ отъ солнца,—той энергіи, которая обуславливаетъ ростъ растений, вызываетъ вѣтры, приводитъ воду на вершины горъ, и отъ которой зависитъ все движеніе и вся жизнь на землѣ.

Убѣждаясь въ громадномъ значеніи скопленной въ солнцѣ энергіи, мы не можемъ не обратить вниманія на ту расточительность, съ какою природа обращается съ этимъ запасомъ. Лишь ничтожная часть солнечныхъ лучей идетъ на пользу землѣ и другимъ планетамъ, ко-

торыя съ солнца должны казаться лишь маленькими кружками на небесномъ сводѣ. Несравненно бѣльшая часть лучей идетъ въ отдаленнѣйшія части вселенной, откуда, насколько намъ извѣстно, она никогда не возвращается. Для насъ она потеряна. Быть можетъ, улавливаютъ кое-что изъ нея обитатели какой нибудь другой солнечной системы, подобно тому, какъ мы воспринимаемъ сѣтчатую оболочкою или фотографическою пластинкою часть энергіи, которую посылаютъ намъ солнца млечнаго пути.

Мы обойдемъ молчаніемъ тѣ измѣненія въ солнцѣ, благодаря которымъ оно оказывается способнымъ непрерывно излучать энергію, а также оставимъ въ сторонѣ вопросъ о томъ, какая судьба ждетъ планетную систему въ отдаленномъ будущемъ, когда изсякнетъ этотъ запасъ энергіи. Впрочемъ, мы и безъ разрѣшенія этихъ вопросовъ понимаемъ, что законъ сохранения энергіи вовсе не гарантируетъ вѣчнаго существованія міра въ настоящемъ его видѣ.

Раньше было сказано, что мы можемъ вычислить энергію всѣхъ летящихъ туда и сюда молекулъ газа, взявъ для каждой частицы значеніе произведенія $\frac{1}{2}mv^2$ и сложивъ результаты. Если бы мы могли обращаться съ каждою молекулою въ отдѣльности и могли заставлять ее производить работу до полного исчезновенія ея движенія, подобно тому, какъ мы можемъ сдѣлать это съ летящею пулею, т. е. если бы мы могли заставить каждую молекулу самое по себѣ что-нибудь проташить или передвинуть, то мы могли бы использовать для работы всю вычисленную нами указаннымъ способомъ работоспособность. Въ дѣйствительности, мы чрезвычайно далеки отъ этого, и энергія молекулярнаго движенія, то есть тепла, гораздо менѣе доступна для насъ, чѣмъ энергія вѣтра или текущей воды. Хотя мы и заставляемъ теплоту производить работу въ паровыхъ машинахъ и въ другихъ приборахъ, но при ближайшемъ разсмотрѣніи оказывается, что мы никогда не можемъ использовать всю теплоту, имѣющуюся въ нагрѣтомъ тѣлѣ. Лучшее всего удастся это намъ въ тѣхъ случаяхъ, когда теплота накоплена въ нѣсколькихъ тѣлахъ въ весьма большомъ количествѣ. Но, чѣмъ равномернѣе она распределена въ веществѣ, тѣмъ болѣе она ускользаетъ отъ нашихъ стараній сдѣлать ее полезною для насъ. Вспомнимъ теперь, какъ энергія видимаго движенія постоянно благодаря сопротивленіямъ обращается въ теплоту и какъ благодаря теплопроводности и лучеиспусканію сглаживаются разности температуры,—и мы придемъ къ заключенію, что, хотя общее количество энергіи въ мірѣ остается неизмѣннымъ, но она непрерывно обращается въ формы, менѣе доступныя для насъ.

Позвольте теперь демонстрировать вамъ еще нѣсколько явленій.

Къ одному плечу вѣсовъ прикрѣпленъ въ вертикальномъ положеніи магнитный стержень, уравниваемый съ другой стороны разновѣсками. Этотъ стержень на половину опущенъ въ отверстіе стоящей подъ нимъ на вертикальной оси катушки, на которую намотана толстая мѣдная проволока. Концы катушки соединены со стоящимъ здѣсь же гальванометромъ. Этотъ инструментъ не такъ чувствителенъ, какъ тотъ зеркальный гальванометръ, которымъ мы раньше пользовались, но устроенъ по тому же принципу. Онъ также, какъ и тотъ, состоитъ изъ проволочной обмотки, окружающей магнитную стрѣлку, только послѣдняя на этотъ разъ вращается на горизонтальной оси. Движенія ея вы можете наблюдать по этому указателю. Всякое движеніе магнита въ вертикальномъ направленіи вызываетъ появленіе электрическаго тока въ катушкѣ, причемъ при подниманіи магнита токъ имѣетъ одно направленіе, а при опусканіи — противоположное.

Электрическій же токъ можетъ производить весьма различныя дѣйствія. Въ данномъ случаѣ, на примѣръ, его дѣйствіе заключается въ томъ, что онъ вызываетъ движеніе магнита гальванометра. Слѣдовательно, онъ обладаетъ извѣстною работоспособностью, а послѣдняя могла произойти лишь благодаря тому, что я совершилъ работу. Теперь я покажу вамъ, что для передвиженія магнита я, дѣйствительно, долженъ производить работу, хотя вѣсъ магнита не играетъ ни какой роли, такъ какъ онъ уравновѣшенъ съ другой стороны тарою. Чтобы пояснить вамъ это, я уничтожаю соединеніе съ гальванометромъ и пропускаю черезъ эту катушку токъ отъ гальваническаго элемента. Вы видите, что токъ одного направленія тянетъ магнитъ внизъ, а противоположный — выталкиваетъ его вверхъ. Если мы разберемся въ направленіи токовъ, то выяснится слѣдующее: когда я въ прежнемъ опытѣ опускалъ магнитъ, то въ катушкѣ возбуждался токъ такого направленія, что онъ отталкивалъ магнитъ. Чтобы, вопреки этому отталкиванію, ввести магнитъ въ катушку, я долженъ оказать извѣстную силу и, такъ какъ производится нѣкоторое перемѣщеніе, то долженъ совершить извѣстную работу. То же самое мнѣ приходится сдѣлать, чтобы вытянуть магнитъ изъ катушки, такъ какъ при этомъ появляется токъ, втягивающій его обратно, и мы должны преодолѣть это притяженіе. Теперь вамъ понятно, что токъ съ его работоспособностью можно вызвать не иначе, какъ при затратѣ работы.

Находящійся здѣсь приборъ, такъ называемый электромагнитная машина Грамма, служитъ тоже для полученія электрическаго тока

при помощи движенья. На этотъ разъ вызываемый токъ можетъ продолжаться произвольно долгое время и имѣеть постоянное направленіе. Желѣзное кольцо, обмотанное проводникомъ, вращается при помощи рукоятки въ сильномъ магнитномъ полѣ. То, что при этомъ, дѣйствительно, возбуждается токъ, я могу доказать вамъ, доводя до свѣченія эту тонкую платиновую проволоку. Если замѣнить послѣднюю толстою мѣдною проволокою, то токъ станетъ еще сильнѣе, и теплота будетъ точно также развиваться, хотя проволока не накалится. Что здѣсь должна производиться работа, можно непосредственно ощущать. Дѣйствительно, когда цѣпь, по которой можетъ пробѣгать токъ, замкнута, мнѣ труднѣе вращать кольцо, чѣмъ тогда, когда она разомкнута и тока съ производимою имъ теплотою нѣтъ. Такъ какъ я не могу каждому изъ васъ дать это почувствовать, то я покажу эту разницу нѣсколько иначе. А именно: я придаю кольцу нѣкоторую скорость, затѣмъ выпускаю рукоятку и смотрю, сколько времени будетъ продолжаться ея движенье. Если произвести этотъ опытъ безъ соединительной проволоки, то рукоятка дѣлаетъ самостоятельно около четырехъ оборотовъ. Если же, наоборотъ, есть соединительная проволока, то движенье уничтожается гораздо скорѣе. Когда машина должна совершать работу въ соединительной проволоцѣ, то кинетическая энергія кольца быстрѣе изсякаетъ, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда имѣеть мѣсто только обыкновенное сопротивленіе тренья.

Эта самая машина можетъ служить и для другой цѣли. Я воспользуюсь при этомъ этими аккумуляторами. Они состоятъ изъ свинцовыхъ пластинокъ, покрытыхъ извѣстными соединеніями свинца и опущенныхъ въ разведенную сѣрную кислоту. Въ своемъ настоящемъ состояніи они могутъ давать электрическій токъ подобно гальваническимъ элементамъ, но только благодаря тому, что они недавно были „заряжены“ въ лабораторіи.

Машина, похожая на эту Граммовскую, но болѣе большихъ размѣровъ, приводилась тамъ въ движенье паровою машиною, и полученный отъ нея электрическій токъ вызвалъ въ аккумуляторахъ нѣкоторыя химическія измѣненія, вслѣдствіе которыхъ они со своей стороны теперь могутъ сами давать токъ. Теперь, — мы можетъ выразиться и такъ, — въ нашихъ аккумуляторахъ накоплена работоспособность въ извѣстное число эрговъ.

Я пропускаю токъ отъ аккумуляторовъ черезъ обмотку Граммовской машины, и тотчасъ кольцо, гонимое запасенною энергіею, приходитъ въ движенье, а находящаяся въ цѣпи тонкая платиновая

провода накаляется. Следовательно, аккумуляторы производят въ данномъ случаѣ двоякую работу. Съ одной стороны, они возбуждаютъ теплоту въ металлической проволоцѣ, а съ другой, они затрачиваютъ работу на кольцо—и въ данный моментъ на мою руку, на которую я даю теперь надавливать рукояткѣ. Теперь я удерживаю рукоятку неподвижно,—и проволока начинаетъ накаливаться сильнѣе. Степень накаливанія я могу однако сдѣлать прежнюю, введя въ цѣпь еще другую такую же проволоку.

Теперь мнѣ остается сравнить послѣдній случай,—когда кольцо неподвижно, и накаливаются *двѣ* проволоки,—съ первымъ, когда токъ приводитъ въ движеніе кольцо и накаливаетъ только *одну* проволоку. Такъ какъ сила свѣта была въ обоихъ случаяхъ одною и тою же, то мы можемъ быть увѣрены, что и токъ въ обоихъ случаяхъ имѣлъ одинаковую силу. Следовательно, и въ аккумуляторахъ въ обоихъ случаяхъ происходили одни и тѣ же процессы. Они производили въ секунду одинаковое количество работы и теряли одинаковое количество энергіи. Принявъ это въ соображеніе, вы въ нашемъ опытѣ увидите подтвержденіе закона сохраненія энергіи. Въ первомъ случаѣ работа совершалась на кольцо и накаливалась *одна* проволока; во второмъ—на кольцо не совершалось никакой работы, и потому могли накаливаться *двѣ* проволоки.

Я остановился на этихъ опытахъ, чтобы показать вамъ, что электрическія и магнитныя явленія тоже подчинены закону сохраненія энергіи. Кромѣ того, я имѣлъ въ виду подчеркнуть, какъ этотъ законъ связываетъ одно явленіе съ другимъ и дѣлаетъ его намъ до извѣстной степени понятнымъ, даже если мы не дѣлаемъ попытки проникнуть въ суть его механизма. Изъ того факта, что магнитъ своимъ движеніемъ внутри проволоочной катушки вызываетъ въ немъ электрическій токъ, можно вывести заключеніе относительно силы, съ которою этотъ послѣдній, будучи пропущенъ черезъ обмотку катушки, дѣйствуетъ на магнитъ. Тотъ, кто предсказываетъ такимъ образомъ что нибудь на основаніи лишь закона объ энергіи, не долженъ опасаться возраженій со стороны ни одного физика. Мы такъ увѣрены въ справедливости этого закона, что видимъ въ немъ никогда не заблуждающагося руководителя при отысканіи новыхъ явленій и оказываемъ его указаніямъ такое довѣріе, какое не можетъ вызвать никакая теорія электроновъ или другая спеціальная теорія какого бы то ни было рода.

Однако, не станемъ распространяться о достоинствахъ нашего

закона. Явленія природы даже въ области физики настолько разнообразны, и взаимная связь ихъ такъ многосторонняя, что далеко не всѣ отношенія ихъ между собою обхватываются этимъ закономъ, какъ бы онъ ни былъ всеобъемлющъ. Разсмотрѣніе работоспособности не можетъ намъ доказать, что, напримѣръ, внутреннее треніе газа остается неизмѣннымъ при уменьшеніи его плотности. Равнымъ образомъ оно не отвѣчаетъ на вопросъ, почему спектральныя линіи смѣщаются при движеніи свѣтового источника и раздвѣиваются подъ вліяніемъ магнитныхъ силъ. Только вникая въ глубь вещей и стараясь выяснить себѣ всѣ эти процессы до мельчайшихъ подробностей, мы можемъ пролить нѣкоторый свѣтъ на всѣ эти и на многіе другіе результаты нашихъ наблюденій.

Въ этомъ убѣжденіи, что нашею цѣлью должно было быть хотя поверхностное ознакомленіе съ механизмомъ явленій, я не скупился на разсужденія насчетъ эфира, насчетъ молекулъ, атомовъ и электроновъ. Но, чѣмъ дальше мы уходимъ въ этомъ направленіи, тѣмъ болѣе и болѣе убѣждаемся, насколько несовершенны наши результаты и насколько наши теоріи, нуждающіяся въ постоянныхъ поправкахъ, улучшеніяхъ, а подчасъ, и въ замѣнѣ чѣмъ то совершенно другимъ, представляютъ лишь слабое отраженіе дѣйствительности. Какъ бы глубоко ни былъ я убѣжденъ въ этомъ и какое бы громадное значеніе я ни придавалъ необходимости высказать это убѣжденіе, я все же считаю себя въ правѣ надѣяться, что то, что я былъ въ состояніи вамъ сообщить, васъ до извѣстной степени удовлетворило.



ЗАМѢЧЕННЫЯ ОПЕЧАТКИ:

Стран.	Строка.	Напечатано:	Должно быть:
1	6 снизу	махаханика	механика
2	10 сверху	собраны ею здѣсь	здѣсь ею собраны
6	4 снизу	и тоже	и то же
7	6 сверху	8,5	8·5
„	7 „	8,5 q ,	8·5 q
11	16 снизу	981 m	981, m
12	14 „	$\frac{1}{2} v$	$t. \frac{1}{2} v$
„	13 и 10 сн.	h	h
16	17 сверху	магнитникъ	магнитикъ
30	8 „	подверженіе	подтвержденіе
33	7 „	k	K
42	1 снизу	исло	число
43	8 сверху	возрстетъ	возрастетъ
70	20 снизу	PL'	PL'
113	3 сверху	двигались	двигались

ОГЛАВЛЕНІЕ.

I. Прямолинейныя движенія	1
II. Криволинейныя движенія	19
III. Колебательныя движенія. Свѣтовые лучи	39
IV. Свѣтовые колебанія	60
V. Молекулярныя движенія	82
VI. Электрическія явленія	98
VII. Сохраненіе энергій	119

Замѣченныя опечатки	139
-------------------------------	-----

