

## Демонъ-распредѣлитель Максвэлля.

[Краткое извлечение изъ пятничного вечерняго чтенія въ Королевскомъ Великобританскомъ Институтѣ, 28 февраля 1879 г. (Proc. R. I., т. IX, стр. 113)].

Слово «демонъ», которое первоначально, въ греческомъ языке, обозначало сверхъестественное существо, никогда не употреблялось въ надлежащемъ смыслѣ, а обозначало дѣйствительноное или идеальное олицетвореніе зла.

«Демонъ» Клэрка Максвэлля представляетъ собою воображаемое существо, могущее совершать нѣкоторыя вполнѣ определенные дѣйствія, чисто механическія по своему характеру,— существо, придуманное для того, чтобы помочь намъ понять «Разсѣяніе Энергіи» въ природѣ.

Онъ является существомъ безъ всякихъ сверхъестественныхъ свойствъ и отличается отъ живыхъ настоящихъ животныхъ только крайней малостью и проворствомъ. Онъ можетъ по произволу остановить, ударить, толкнуть или потянуть любой отдельный атомъ матеріи и умрѣтъ такимъ образомъ естественный ходъ его движенія. Одаренный мысленно руками, кистями рукъ и пальцами,— двухъ рукъ и десяти пальцевъ достаточно,— онъ можетъ дѣлать съ атомами то же самое, что играющій на рояльѣ можетъ дѣлать съ клавишами рояля,— даже нѣсколько болѣе: онъ можетъ толкнуть или потянуть всякий атомъ въ любомъ направлении.

Онъ не можетъ создавать или уничтожать энергию; но совершенно такъ же, какъ это дѣлаютъ живыя животныя, онъ

можетъ накоплять въ себѣ ограниченныя количества энергіи и по желанію воспроизводить ихъ. Дѣйствуя по выбору [selectively] на отдельные атомы, онъ можетъ нарушить естественный ходъ разсѣянія энергіи, можетъ вызвать то, что одна половина закрытаго сосуда съ воздухомъ или бруска жалѣза покалится, а другая станетъ холодной, какъ ледъ; можетъ придать такое направленіе энергіи движущихся частицъ въ бассейнъ съ водою, что вода будетъ вскинута на нѣкоторую высоту и останется тамъ, соответственно охладившись [1 град. Фаренгейта на 772 фута подъема <sup>1)</sup>]; можетъ «сортировать» молекулы въ растворѣ соли или въ смѣси двухъ газовъ такъ, чтобы это нарушило естественный ходъ процесса диффузіи и вызвало концентрацію раствора въ одной части воды, а въ остальномъ занятомъ пространствѣ оставило чистую воду, или же, въ другомъ случаѣ, отдало газы въ различныя части содержащаго ихъ сосуда.

«Разсѣяніе энергіи» происходитъ въ природѣ отъ случайного столкновенія атомовъ. Потерянная двигательная способность [motivity] не можетъ существенно возстановляться иначе, какъ при посредствѣ дѣйствій, обращенныхъ на отдельные атомы, и способъ обращенія съ атомами, который ведеть къ возстановленію двигательной способности, состоитъ существеннымъ образомъ въ процессѣ подбора, посылающаго всѣ атомы одного рода или класса въ одну сторону, а всѣ другого рода или класса—въ другую.

Распределеніе по классамъ, согласно съ которыми этотъ воображаемый демонъ долженъ сортировать атомы, можетъ зависѣть отъ существенныхъ признаковъ атома,—напримѣръ, атомы водорода должны быть отправляемы влево отъ нѣкоторой мысленно проведенной граничащей поверхности, или же останавливаются отъ прохожденія черезъ нее направо,— или же, это распределеніе можетъ зависѣть отъ скорости, которую слушится имѣть каждому атому, когда онъ приближается къ этой граничащей поверхности: если она больше нѣкоторой опредѣ-

<sup>1)</sup> 1° Ц. на 423·5 метра.

(Прим. перев.).

ленной величины, то онъ долженъ отправляться направо; если меньше, — то нальво. Это послѣднее правило подбора, будучи приводимо въ исполненіе демономъ, нарушаетъ равенство температуры и естественную диффузію тепла; а предыдущее правило нарушаетъ естественную диффузію матеріи.

Соединяя эти два процесса, демонъ можетъ разлагать воду или углекислоту, доводя сначала часть сложнаго соединенія до температуры диссоціаціи (т. е. до такой высокой температуры, что столкновенія сложныхъ молекулъ разбиваются ихъ на атомы) и затѣмъ посыпая атомы кислорода въ одну сторону, а атомы водорода или углерода — въ другую; или же онъ можетъ произвести разложеніе наперекоръ химическому средству иначе, а именно: пусть онъ, сопротивляясь взаимному сближенію двухъ сложныхъ молекулъ, — такъ сказать, давая имъ давить на свои руки, — восприметъ въ себя небольшой запасъ энергіи и накопить въ себѣ энергию, какъ въ согнутой пружинѣ; пусть онъ затѣмъ помѣститъ свои двѣ руки между составными частями, — кислородной и двойной водородной, — сложной молекулы пара воды и оторвѣтъ ихъ другъ отъ друга. Онъ можетъ повторять это до тѣхъ поръ, пока значительная часть всего числа сложныхъ молекулъ въ данномъ количествѣ пара воды, заключенномъ въ неподвижномъ закрытомъ сосудѣ, не будетъ раздѣлена на кислородъ и водородъ на счетъ энергіи, взятой у поступательныхъ движеній. Полученная такимъ образомъ двигательная способность (или энергія двигательной способности)<sup>1)</sup> взрывчатой смѣси кислорода и водорода, въ одномъ случаѣ, и раздѣленныхъ взаимно сожигающихъ тѣлъ, углерода и кислорода, въ другомъ случаѣ, есть энергія, преобразованная изъ той, которая находилась въ веществѣ въ видѣ кинетической энергіи тепловыхъ движеній сложныхъ молекулъ. Существенно отличается отъ этого разложеніе углекислоты и воды при естественномъ ростѣ растеній, — разложеніе, окончательная двига-

тельная способность котораго заимствуется у колебаній свѣта или лучистаго тепла, испускаемаго сильно горячимъ веществомъ солнца.

Представленіе о «демонѣ-распредѣлителѣ» есть представление только механическое и имѣть важное значеніе въ чисто физическихъ наукахъ. Оно не было придумано для того, чтобы помочь намъ разбираться въ вопросахъ, касающихся вліянія жизни и разума на движенія матеріи, — вопросахъ, выходящихъ по существу за предѣлы простой механики.

Бесѣда была иллюстрирована рядомъ опытовъ.

<sup>1)</sup> Томсонъ этой скобкой (or energy for motive power) объясняетъ введенное имъ слово «motivity», которое можно поэтому перевести словами «двигательная способность», — см. стр. 97; французскій переводчикъ поставилъ «énergie motrice».

## Упругость, рассматриваемая, какъ возможный родъ движенія.

[Краткое извлечеи изъ пятничного вечерняго чтенія въ Королевскомъ Великобританскомъ Институтѣ, 4 марта 1881 г. (Proc. R. I., т. IX, стр. 520)].

Относительно заглавія своей бесѣды лекторъ сказалъ: «Одно заглавіе превосходной книги Тиндалля «Тепло, родъ движенія» есть поученіе истинѣ, разгласившее по свѣту во всѣ стороны одно изъ величайшихъ открытий современной философіи. Я всегда восхищался этимъ заглавіемъ, я долго мечталъ о немъ для упругости,—и теперь, съ любезнаго разрѣшенія придумавшаго его, я позаимствовалъ его для бесѣды сегодняшняго вечера».

«Полтора столѣтія назадъ Даніиль Бернулли набросалъ эскизъ кинетической теоріи упругости газовъ,—теоріи, которая была принята, какъ истина, Джулемъ и блистательно разработана Клаузіусомъ и Максвэллемъ; эта теорія отъ статистики движений толпы атомовъ была доведена до наблюденій и измѣреній свободного пути одного отдельного атома въ объясненіи, данномъ Тэтомъ и Дьюаромъ<sup>1)</sup> великому открытию Крукса,—радиометру,—и въ живомъ осуществленіи Круксомъ древнихъ потоковъ Лукреція, при посредствѣ котораго самъ Круксъ развили далѣе данное этими двумя учеными объясненіе его собственныхъ болѣе раннихъ опытовъ; по этой теоріи, «Пружинность воздуха<sup>2)</sup>,—менѣе, чѣмъ черезъ двѣsti лѣтъ послѣ первого от-

<sup>1)</sup> Nature, 12, 17—18, 1875.

(Прим. перев.).

<sup>2)</sup> Мы сочли подходящимъ перевести такъ старинное выраженіе Бойля «the Spring of Air», могущее значить просто «упругость воздуха».

(Прим. перев.).

крытия ея Робертомъ Бойлемъ,—оказалась просто статистической равнодѣйствующей миріадъ частичныхъ столкновеній».

«Но молекулы или атомы должны обладать упругостью и эта упругость должна быть объяснена движеніемъ прежде, чѣмъ можно будетъ довести неувѣренныя звуки, слышащіеся въ заглавіи этой бесѣды, „Упругость, рассматриваемая, какъ возможный родъ движенія“, до славной увѣренности словъ „Тепло, родъ движенія“».

Лекторъ указалъ на вращающійся волчокъ, на катящійся дѣтскій обручъ и на быстро движущійся двухколесный велосипедъ, какъ на случаи упорной какъ будто упругой устойчивости, производимой движеніемъ; и показалъ опыты съ жиро-статами, въ которыхъ послѣдніе сохраняли отвѣсныя положенія, крайне неустойчивыя безъ вращенія, съ такой устойчивостью, силою и упругостью, какая могла бы быть только у стальныхъ полосъ. Гибкая безконечная цѣпь казалась окрѣпшей, когда ее стали быстро вращать вокругъ блока, а когда ее заставили скочить съ блока и упасть на полъ, то она твердо стояла отвѣсно втеченіе нѣкотораго времени, пока прикосновеніе и треніе ея звенѣвъ объ полѣ не прекратило ея движенія. Быстро вращаемый мягкий каучуковый дискъ, казалось, пріобрѣталъ жесткость полей гигантской Рубенсовской пляши. Маленький деревянный шарикъ, который, когда его погрузятъ внизъ въ спокойной водѣ, моментально снова выскакиваетъ наверхъ, оставался внизу, какъ будто онъ былъ помѣщенъ въ студень [jelly<sup>1)</sup>], когда вода получала быстрое вращательное движение, и отскакивалъ, какъ будто вода имѣла упругость, подобную упругости студня, когда этому шарику наносили толчокъ твердой проволокой, проткнутой черезъ центръ пробки,透过 которой закрывался стеклянный сосудъ, содержащий воду. Наконецъ, выбрасываемая изъ круглаго или эллиптическаго отверстія въ коробкѣ большія кольца дыма дѣлались видимыми, при помощи освѣщенія ихъ электрическимъ свѣтомъ, въ своемъ движеніи въ воздухѣ аудиторіи. Каждое

<sup>1)</sup> См. прим. 3 на стр. 108.

(Прим. перев.).

кольцо было круглымъ и движение его было спокойнымъ, когда отверстіе, изъ котораго оно выходило, было круглое и когда это кольцо не было подвержено влиянию другого кольца. Когда одно кольцо пускалось вслѣдъ за другимъ наклонно, то столкновеніе или приближеніе къ столкновенію вызывало то, что оба кольца расходились по очень измѣненнымъ направленіямъ и каждое изъ нихъ колебалось при этомъ подобно, по виду, каучуковой лентѣ. Когда отверстіе было эллиптическое, то каждое невозмущаемое ничѣмъ кольцо оказывалось съ самаго начала въ состояніи правильнаго колебанія, что продолжалось на протяженіи всего пути его черезъ аудиторію. Здѣсь, слѣдовательно, въ водѣ и въ воздухѣ была упругость, подобная упругости твердаго тѣла и развивавшаяся единственно благодаря движению. Не можетъ ли быть объяснена такимъ образомъ упругость каждого послѣдняго атома матеріи? Но эта кинетическая теорія матеріи есть сновидѣніе и не можетъ быть ничѣмъ инымъ до тѣхъ поръ, пока она не будетъ въ состояніи объяснить химического сродства, электричества, магнетизма, тяготѣнія и инерціи массъ (т. е. скопищъ вихревыхъ колецъ).

Теорія Ле-Сажа могла бы дать объясненіе силъ тяжести и ея отношенію къ инерціи массъ, по теоріи вихревыхъ колецъ, не будь при этомъ основной неоднородности кристалловъ и полной, повидимому, однородности силы тяжести. Еще не открыли — и даже не представляютъ себѣ, что можно открыть какое либо указаніе на путь, который былъ бы, въ состояніи привести, быть можетъ, къ преодолѣнію этого затрудненія или къ его обходу со стороны. Вѣра въ то, что невозможна никакая другая теорія матеріи, есть единственное основаніе предсказанію, что для міра имѣется въ запасѣ другая превосходная книга, которая должна будетъ быть озаглавлена «Упругость, родъ движения».

### Величина атомовъ.

[Пятничное вечернее чтеніе въ Королевскомъ Великобританскомъ Институтѣ, 3 февраля 1883 (Proc. R. I., t. X, стр. 185).]

Четыре пути разсужденій, основанныхъ на наблюденіи, приводятъ къ заключенію, что атомы и молекулы не непостижимо, не неизмѣримо малы. Я преднамѣренно употребляю слова «непостижимо» и «неизмѣримъ». То, что измѣримо, не непостижимо и потому эти два слова, будучи поставлены рядомъ, представляютъ тавтологію. Оставимъ непостижимость метафікамъ. Все то, что мы можемъ измѣрить, не непостижимо велико или непостижимо мало въ физическомъ смыслѣ. Можетъ быть трудно понимать числа, выражающія величину, но, будетъ ли рассматриваемый предметъ очень великъ или очень малъ, нѣть ничего непостижимаго,—вслѣдствіе его громадности или малости,—въ его природѣ, въ нашихъ взглядахъ на его величину и въ опредѣленіи и численномъ выраженіи ея. Общіе результаты тѣхъ четырехъ путей разсужденія, на которые я сослался и которые основываются соответственно на волновой теоріи свѣта, на явленіяхъ электричества при соприкосновеніи, на капиллярномъ притяженіи и на кинетической теоріи газовъ, сходятся въ указаніяхъ, что диаметръ атомовъ или молекулъ обыкновенной матеріи, долженъ быть равенъ чemu-to вродѣ  $\frac{1}{10,000,000}$  или же отъ  $\frac{1}{10,000,000}$  до  $\frac{1}{100,000,000}$  сантиметра. Я говорю нѣсколько неопределенно,—и дѣлаю это не по оплошности,—когда я говорю объ атомахъ и молекулахъ. Я долженъ просить химиковъ извинить меня, если я иной разъ даже неправильно употребляю слова и даю невѣрное название. Химики сами не знаютъ, что считать атомомъ;

напр., нужно ли считать, что газообразный водородъ состоитъ изъ соединенныхъ по двое кусочковъ вещества, составляющихъ одну молекулу, и что эти молекулы летаютъ во всѣ стороны,—или же, что строеніе его составляютъ отдельныя молекулы, причемъ каждая молекула недѣлима или, во всякомъ случаѣ, не раздѣляется въ химическихъ взаимодѣйствіяхъ. Я не буду вовсе входить въ такие вопросы, но буду просто придерживаться широкаго взгляда, что, хотя мы можемъ представить себѣ, что матерія дѣлима до безконечности, но она не дѣлима до безконечности безъ разложенія. Это подобно тому, что зданіе изъ кирпичей можетъ быть раздѣлено на части,—на одну часть, содержащую 1,000 кирпичей, и другую часть, содержащую 2,500 кирпичей,—и эти части съ широкой точки зрѣнія могутъ быть названы подобными или однородными; но, если вы раздѣлите вещество кирпичного зданія на промежутки въ девять дюймовъ<sup>1)</sup> толщиною и затѣмъ задумаете подраздѣлять ихъ далѣе, то вы увидите, что вы пришли къ чему-то атомическому, т. е. не дѣлимому безъ уничтоженія самыхъ элементовъ строенія. Вопросъ о частичномъ строеніи зданія не заключаетъ въ себѣ непремѣнно вопроса: «можно ли раздѣлить кирпичъ на части?» и «можно ли раздѣлить эти части на гораздо меньшія части?» и такъ далѣе. У схоластиковъ любимой темой для метафизическихъ разсужденій бывалъ вопросъ, дѣлима ли матерія до безконечности или дѣлимо-ли *пространство* до безконечности, какъ утверждали нѣкоторые,—между тѣмъ, какъ другіе утверждали, что одна *матерія* только не дѣлима до безконечности, и доказывали, что нѣтъ ничего непостижимаго въ безконечномъ подраздѣленіи пространства. Мало того, даже время было раздѣлено на моменты (атомы времени!), и мысль о непрерывности времени была окружена пестрымъ кругомъ разсужденій и метафизическихъ—я не скажу нелѣпостей—но метафизическихъ словопрерѣній, которыя, безъ сомнѣнія, были очень интересны за недостаткомъ болѣе поучительного предмета для изученія. Нужно, однако, съ разумной серьезностью внимательно отнестись къ

<sup>1)</sup> = 23 сантиметра.

(Прим. перев.).

тому очень важному обстоятельству, что въ хронометріи, какъ и въ геометріи, мы имѣемъ абсолютную непрерывность, и предполагать предѣль малости, какъ времени, такъ и пространства, является просто непостижимою нелѣпостью. Но, съ другой стороны, вопросъ, можемъ ли мы раздѣлить кусокъ стекла на кусочки, меныше  $\frac{1}{100,000}$  сантиметра въ диаметрѣ, и такъ далѣе, не уничтожая его и не принуждая его прекратить имѣть свойства стекла,—совершенно такъ же, какъ кирпичъ не имѣть свойствъ кирпичной стѣны,—есть вопросъ, очень практическій, и вопросъ, которымъ мы вполнѣ склонны заняться.

Я желаю въ самомъ началѣ попросить васъ не убѣгать прочь отъ этого предмета вслѣдствіе предположенія о чрезвычайной малости атомовъ. Атомы вовсе не такъ уже чрезвычайно малы. Четыре пути разсужденій, упомянутыхъ мною, дѣлаются вполнѣ достовѣрными, что частицы, составляющія воздухъ, которымъ мы дышемъ, не очень много меныше,—если даже

еще меныше,—  $\frac{1}{10,000,000}$  сантиметра въ диаметрѣ. Минуть пять тому назадъ одинъ пріятель сказалъ мнѣ, что, еслибы я далъ вамъ результаты въ сантиметрахъ, то вы не поняли бы меня. Я не допускаю этой клеветы на Королевскій Великобританскій Институтъ; безъ сомнѣнія, многіе изъ васъ, какъ англичане, ближе знакомы съ злополучными английскими дюймами; но вы, навѣрное, всѣ понимаете сантиметры; во всякомъ случаѣ, этому обучали,—и всего нѣсколько лѣтъ назадъ перестали обучать,—въ первоначальныхъ народныхъ школахъ [primary national schools]. Посмотрите на этотъ чертежъ (рис. 33), такъ какъ я желаю, чтобы вы всѣ понимали дюймъ, сантиметръ, миллиметръ,  $\frac{1}{10}$  миллиметра,  $\frac{1}{100}$  миллиметра,  $\frac{1}{1,000}$  миллиметра и

$\frac{1}{1,000,000}$  миллиметра. Чертежъ на стѣнѣ изображаетъ метръ; подъ нимъ ярдъ; затѣмъ дециметръ и кругъ въ дециметръ диаметромъ, сантиметръ и кругъ въ сантиметръ и миллиметръ, который есть  $\frac{1}{10}$  сантиметра, (или, въ круглыхъ числахъ,  $\frac{1}{40}$

дюйма), и кругъ въ миллиметръ. (Для удобства, рисунокъ 33, представляющій чертежъ, о которомъ идетъ здѣсь рѣчь, показываетъ относительные размѣры только сантиметра и миллиметра). Мы, однако, примкнемъ къ одной простой системѣ, потому что только вслѣдствіе того, что мы находимся въ Англіи, ярдъ и дюймъ помѣщены здѣсь передъ вами, между метрами и сантиметрами. Вы видите, слѣдовательно, на чертежѣ метръ, сантиметръ, миллиметръ съ кругами того же діаметра. Кто-то говоритъ мнѣ, что миллиметра нѣтъ тамъ. Я не вижу его, но онъ, навѣрное, есть тамъ, — и кругъ, котораго діаметръ есть миллиметръ, — оба аккуратно нарисованные чернымъ. Я говорю, что вотъ здѣсь есть миллиметръ, а вы его не видите.

Такъ вообразите теперь, что здѣсь есть  $\frac{1}{10}$  миллиметра, здѣсь, —  $\frac{1}{100}$  миллиметра, здѣсь —  $\frac{1}{1000}$  миллиметра, а здѣсь — круглый атомъ кислорода въ  $\frac{1}{1,000,000}$  миллиметра діаметромъ. Вы видите ихъ всѣхъ.

Мы должны теперь имѣть практическій способъ измѣренія,— и оптика снабжаетъ насъ имъ, —тысячныхъ миллиметра. Однимъ изъ нашихъ временныхъ эталоновъ мѣры будетъ длина волны свѣта; но длина волны есть мѣра, очень неопределенная, потому что есть различные длины волнъ для различныхъ цвѣтовъ свѣта, видимаго и невидимаго,— различные въ отношеніи 1 къ 16. У насъ есть, такъ сказать,—заимствую аналогію изъ звука,—четыре октавы свѣта, которыя намъ известны. Какъ далеко простирается въ дѣйствительности этотъ рядъ, выше и ниже до сихъ поръ измѣренного протяженія,— мы даже не можемъ предугадать при настоящемъ состояніи науки. Таблица, находящаяся передъ вами (табл. I), даетъ вамъ понятіе о величинахъ длины, а также о малыхъ промежуткахъ времени. Въ столбцѣ нальво вы имѣете длины волнъ свѣта въ частяхъ

Одинъ сантиметръ. Одинъ миллиметръ.

Рис. 33.

сантиметра, причемъ единица, въ которой выражены эти числа есть  $\frac{1}{100,000}$  (или  $10^{-5}$ ) сантиметра. Слѣдовательно, мы имѣемъ

## ТАБЛИЦА I.

Данныя для видимаго свѣта.

Линія спектра.	Длина волны въ сантимет- рахъ.	Частота <sup>1)</sup> волнъ или число коле- баній въ се- кунду.
<i>A</i>	$7\cdot604 \times 10^{-5}$	$395\cdot0 \times 10^{12}$
<i>B</i>	$6\cdot867$ "	$437\cdot3$ "
<i>C</i>	$6\cdot562$ "	$457\cdot7$ "
<i>D</i> <sub>1</sub>	$5\cdot895$ "	$509\cdot7$ "
<i>D</i> <sub>2</sub>	$5\cdot889$ "	
<i>E</i>	$5\cdot269$ "	$570\cdot0$ "
<i>b</i>	$5\cdot183$ "	
<i>F</i>	$4\cdot861$ "	$617\cdot9$ "
<i>G</i>	$4\cdot307$ "	$697\cdot3$ "
<i>H</i> <sub>1</sub>	$3\cdot967$ "	$756\cdot9$ "
<i>H</i> <sub>2</sub>	$3\cdot933$ "	$763\cdot6$ "

для видимаго свѣта, длины волнъ отъ  $7\frac{1}{2}$  до 4, приблизительно, или 3·9. Вы можете, слѣдовательно, сказать, въ круглыхъ чи-

<sup>1)</sup> Рѣшаюсь перевести неологизмъ «частота», англійскій терминъ «frequency» (французскій—fréquence), который ввелъ въ науку лордъ Рэллъ и о полезности и удобствѣ котораго говорить Томсонъ на первыхъ страницахъ своей лекціи «Волновая теорія свѣта (см. дальше).

(Прил. перев.).

слажъ, что для длинь волнъ видимаго свѣта, которыя однѣ изображены на этой таблицѣ, мы имѣемъ величины отъ 4 до 8 по нашей шкалѣ въ  $\frac{1}{100,000}$  сантиметра. Длина волны 8 соотвѣтствуетъ невидимому лучу немного ниже <sup>1)</sup> краснаго конца спектра. Самый низкій лучъ, обозначенный Фрауэнгоферомъ буквой *A*, имѣеть длиною волны  $\frac{7\frac{1}{2}}{100,000}$  сантиметра. Теперь я покажу вамъ на модели, находящейся передъ вами, что понимается подъ «длиною волны»; это не есть длина вдоль гребня, который мы иногда видимъ ясно обозначеннымъ въ волнѣ, разбивающейся на длинномъ прямомъ берегѣ; это есть длина отъ одного гребня волны до другого гребня. [Сказанное было иллюстрировано большимъ числомъ горизонтальныхъ деревянныхъ стержней, соединенныхъ вмѣстѣ и бифилярно подвѣшенныхъ при помощи двухъ нитей, висѣвшихъ съ потолка и проходящихъ чрезъ середины стержней <sup>2)</sup>; когда двигали самый нижній стержень, то волна распространялась вверхъ по ряду]. Представьте себѣ, что концы этихъ стержней представляютъ частицы. Чтобы представить себѣ частицы, дѣйствующія взаимно другъ на друга при посредствѣ упругихъ силъ, каковы, напр., силы въ каучуковыхъ полосахъ, въ стальныхъ спиральныхъ пружинахъ, въ студнѣ <sup>3)</sup> или въ упругомъ матеріалѣ любого

<sup>1)</sup> Авторъ для краткости называетъ лучи высокими и низкими (по аналогіи со звуками), соответственно большему или меньшему числу колебаний.

(Прим. перев.).

<sup>2)</sup> Нѣть надобности описывать всѣ подробности этого двунитнаго подвѣса, такъ какъ новый видъ его, въ которомъ требуемыя силы взаимодѣйствія даетъ одна стальная фортепіанная струна, ниже описанный и изображенный на рис. 34,—лучше и его легче сдѣлать. (Прим. автора).

<sup>3)</sup> Замѣтимъ, кстати, что подъ студнемъ или жееле понимается, какъ любая студенистая масса, такъ и *несжимаемое*, но измѣняемое деформацией сдвига, *упругое твердое тѣло*. Въ одномъ изъ своихъ мемуаровъ (движение вязкой жидкости—Motion of a Viscous Liquid) Томсонъ прямо говоритъ,—«... студень, какъ мы для краткости и согласно съ общимъ употребленіемъ будемъ называть несжимаемое упругое твердое тѣло» [...]jelly as for brevity and according to common usage we shall call the incompressible elastic solid]. (Math. Phys. Pap. 3, ст. XCIX, стр. 444).

(Прим. перев.).

рода, положимъ, что самые стержни невидимы и только концы ихъ видимы. Они дѣйствительно дѣйствуютъ другъ на друга въ этой модели при посредствѣ центральной оправы. Вотъ еще другая модель, иллюстрирующая волны [рис. 34 <sup>1)</sup>]. Бѣлые кружки на деревянныхъ стержняхъ изображаютъ кусочки вещества — я не скажу въ настоящую минуту «молекулы», хотя мы потомъ будемъ разматривать ихъ, какъ молекулы. Свѣтъ состоить изъ колебаній, перпендикулярныхъ къ линіи распространенія, — именно такъ, какъ въ моделяхъ, находящихся передъ вами.

Въ томъ красивомъ опыте, который известенъ подъ именемъ Ньютоновыхъ колецъ, мы получаемъ мѣру длины волны,— при посредствѣ разстоянія, на которомъ должны находиться два куска стекла, чтобы дать любой частный оттѣнокъ цвѣта.

Длина волны, вы видите, есть разстояніе отъ гребня до гребня волнъ, распространяющихся вверхъ по этой длинной модели, когда

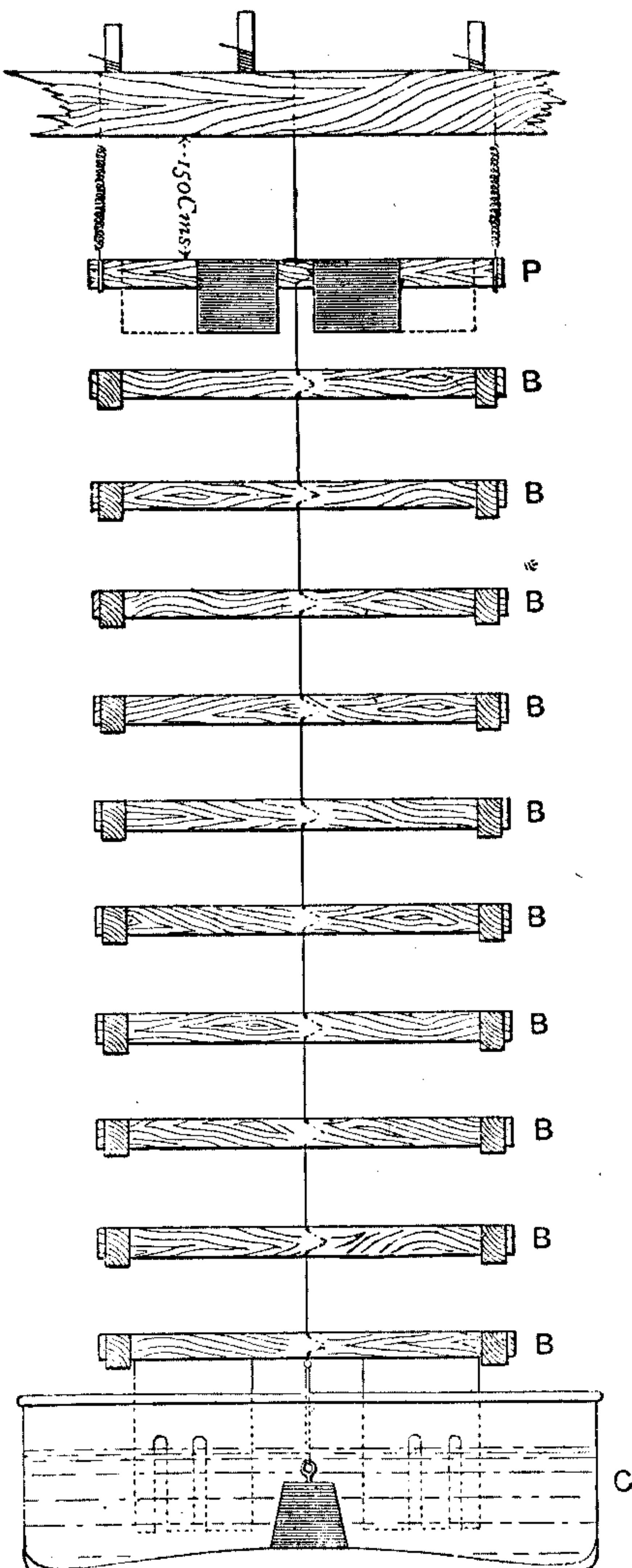


Рис. 34.

<sup>1)</sup> Этотъ приборъ, изображенный на рисункѣ 34, слѣдующихъ раз-

я начинаю сообщать простое гармоническое колебание нижнему стержню. Я имѣю здѣсь выпуклую чечевицу съ очень длиннымъ фокусомъ и кусокъ зеркального стекла съ вычерненной задней стороной. Когда я прижимаю выпуклую чечевицу къ куску зеркального стекла, вычерненного сзади, я вижу окрашенныя кольца; это явление будетъ вамъ показано на экранѣ при посредствѣ электрическаго свѣта, отраженного отъ заполненного воздухомъ промежутка между двумя стеклами. Явленіе это было впервые наблюдано сэръ Исаакомъ Ньютономъ и было впервые объяснено волновой теорией свѣта. [Теперь Ньютоновы кольца проектированы на экранъ передъ вами при помощи отраженного электрическаго свѣта]. Если я сдавливаю вмѣстѣ стекла, то вы видите темное пятно въ центрѣ; кольца появляются вокругъ этого центра, представляющагося темнымъ и съ неправильностями. Чтобы произвести это пятно, требуется давленіе. Отчего? Обыкновенно даваемый отвѣтъ:—«оттого, что стекло от-

мѣровъ и устройства. Рядъ равныхъ и подобныхъ стержней В, концы которыхъ представляютъ молекулы среды, и стержень-маятникъ Р, исполняющій роль возбудителя колебаній или кинетического запасателя колебательного движения, представляютъ собой куски дерева, каждый 50 сантиметровъ длиною, 3 сантиметра шириной и 1·5 сантиметра толщиною. Проволока, на которой они подвѣшены, есть стальная фортепьянная струна № 22 B. W. G. (0·07 см. диаметромъ) и стержни прикреплены къ ней слѣдующимъ образомъ. Три латунныхъ болта, около 0·4 сантиметра диаметромъ, свободно втиснуты въ каждый стержень въ указанномъ положеніи, т. е. образуя вершины равносторонняго треугольника съ основаниемъ, параллельнымъ линіи подвѣсной проволоки, и со сторонами около 1 мм. длиною. Подвѣсная проволока, проложенная въ желобахъ, вырѣзанныхъ въ болтахъ, проходить подъ верхнимъ болтомъ, снаружи болта у вершины треугольника, надъ верхней стороной нижняго болта и затѣмъ внизъ къ слѣдующему стержню. Верхній конецъ этой проволоки укрепленъ такъ: онъ продернутъ черезъ отверстіе въ поддерживающемъ весь приборъ брускѣ и нѣсколькоими оборотами закрученъ вокругъ болта, помѣщенного съ одного боку отъ отверстія, какъ это изображено на рисункѣ. Къ каждому концу стержня-маятника крѣпко приделано, какъ показано, по стальной спиральной пружинѣ; верхніе концы этихъ пружинъ прикреплены къ короткимъ веревкамъ, проходящимъ черезъ отверстія въ поддерживающемъ брускѣ и привязаннымъ двумя или тремя оборотами вокругъ болтovъ. Эти

талкиваетъ стекло на разстояніи двухъ или трехъ длии волны свѣта;—скажемъ, на разстояніи  $\frac{1}{5,000}$  сантиметра». Я ни на минуту не вѣрю этому. Каждущееся отталкиваніе стеколъ происходитъ отъ кусочковъ или частицъ пыли между ними. Черное пятно въ центрѣ есть мѣсто, гдѣ разстояніе между стеклами меньше четверти длины волны. Но длина волны для желтаго свѣта около  $\frac{1}{17,000}$  сантиметра, а четверть  $\frac{1}{17,000}$  будетъ около  $\frac{1}{70,000}$ . То мѣсто, гдѣ вы видите середину этого чернаго кружка, есть промежутокъ воздуха, толщина котораго менѣе, чѣмъ  $\frac{1}{70,000}$  сантиметра. Переходя отъ этого чернаго пятна къ первому кольцу наибольшаго свѣта, прибавимте полъ длины волны къ этой толщинѣ, и тогда мы можемъ сказать, каково разстояніе между стеклами въ этомъ мѣстѣ; прибавимте другую полъ длины волны,—и мы снова придемъ къ слѣдующему максимуму свѣта; но окраска препятствуетъ намъ говорить очень определенно, потому что мы имѣемъ дѣло съ многими различными длинами волнъ. Я упрощу явленіе, сводя все къ одному цвету, красному,—поставивъ на пути красное стекло. У васъ теперь одинъ цветъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ гораздо менѣе свѣта, по-

стальные пружины служатъ потенциальными запасателями колебательной энергіи, чередующимися при каждомъ колебаніи ролью съ кинетическимъ запасателемъ, представляемымъ стержнемъ-маятникомъ. Концы колеблющихся стержней В нагружены прикрепленными къ нимъ кусками свинца. Болѣе значительные куски свинца, которые видны на стержнѣ-маятникѣ, могутъ быть закрѣпляемы въ различныхъ положеніяхъ на этомъ стержнѣ,—на рисункѣ они изображены въ ихъ наименьшемъ возможномъ разстояніи другъ отъ друга. Къ самому нижнему стержню приделаны два жестяныхъ обращенныхъ внизъ крыла, которые погружены въ вязкую жидкость (разведенная водою патока), заключающуюся въ сосудѣ С. Тяжелая гиря, лежащая на днѣ этого сосуда и соединенная съ нижнимъ концомъ подвѣсной проволоки при посредствѣ натянутой каучуковой ленты, служить для того, чтобы удерживать въ надлежащемъ положеніи нижній конецъ прибора. Периоду колебанія стержня-маятника можно придать любую желаемую величину, передвигая внутрь или внаружу прикрепленные грузы, или же натягивая или отпуская веревки, привязанные къ верхнимъ концамъ спиральныхъ пружинъ.

(Прим. автора).

тому что это стекло пропускаетъ черезъ себя только однородный красный цвѣтъ или немного отличающійся отъ него. Взгляните теперь на то, что вы видите на экранѣ, и у васъ будетъ безошибочное доказательство существованія подпорокъ изъ пыли между стеклянными поверхностями. Когда я повертываю винтъ, я дѣлаю это центральное черное пятно болѣе блѣднымъ, заставляя упругое стекло, такъ сказать, вертѣться вокругъ безчисленныхъ мелкихъ осколковъ, представляемыхъ молекулами пыли; и куски стекла придавливаются не другъ къ другу, а къ этимъ осколкамъ. Здѣсь безчисленное количество,—скажемъ, тысячи,—мелкихъ частицъ пыли, притиснутымъ между стеклянными поверхностями,—нѣкоторые изъ нихъ, можетъ быть, въ  $\frac{1}{3,000}$  сантиметра диаметромъ,—скажемъ, въ 5 или 6 длини волны. Когда вы накладываете одинъ кусокъ стекла на другой, вы думаете, что вы прижимаете стекло къ стеклу,—ничего подобнаго: вы прижимаете стекло къ пыли. Это—очень красивое явленіе, и я показалъ вамъ этотъ опытъ только потому, что онъ даетъ намъ линейную мѣру, низводящую насъ сразу до  $\frac{1}{100,000}$  сантиметра.

Теперь я начну нѣсколько входить въ подробности тѣхъ причинъ, которыя четыре пути разсужденій даютъ намъ для указанія предѣла малости молекулъ матеріи. Первымъ я разберу электричество при соприкосновеніи,—очень кратко.

Когда я беру эти два куска цинка и мѣди и привожу ихъ въ соприкосновеніе двумя углами, то они электризируются и притягиваются другъ друга съ вполнѣ опредѣленной силой, величину которой можно узнать изъ абсолютныхъ измѣреній въ связи съ вполнѣ установленнымъ ученiemъ объ электричествѣ при соприкосновеніи. Я не чувствую этой силы, потому что она очень мала, но вы можете сдѣлать такъ, чтобы ее можно было измѣрить; вы можете на одинъ изъ кусковъ помѣстить небольшую металлическую шишечку или выступъ въ  $\frac{1}{100,000}$  сантиметра и прислонить другой кусокъ къ ней. Пусть на мѣди будутъ помѣщены три такія маленькия металлическія

ножки; коснитесь теперь пластинки цинка одной изъ нихъ и поворачивайте ее постепенно книзу, пока она не придется въ прикосновеніе съ другими двумя. Въ такомъ положеніи, съ промежуткомъ воздуха въ  $\frac{1}{100,000}$  сантиметра между поверхностями пластинокъ, цинковой и мѣдной, на этихъ пластинкахъ будетъ соответственно положительное и отрицательное электричество,—въ такомъ количествѣ, что оно вызываетъ взаимное притяженіе, достигающее двухъ граммовъ вѣса на каждый квадратный сантиметръ. Величина работы, совершенной надъ пластинками электрическимъ притяженіемъ втечение того времени, въ которое онъ, послѣ первоначального прикосновенія въ одномъ углу, подошли другъ къ другу на разстояніе  $\frac{1}{100,000}$  сантиметра, равна  $\frac{2}{100,000}$  граммъ-сантиметра,—въ предположеніи, что площадь каждой пластинки есть одинъ квадратный сантиметръ.

Позвольте мнѣ прочесть слѣдующее разсужденіе, взятое изъ статьи, напечатанной въ журналь *Nature*<sup>1)</sup> тринацдцать лѣтъ назадъ.

«Пусть теперь вторая пластинка цинка будетъ поднесена подобнымъ же способомъ къ другой сторонѣ пластинки мѣди; вторая пластинка мѣди къ противоположной сторонѣ этой второй пластинки цинка и такъ далѣе, пока не образуется столбикъ, состоящій изъ 50,001 пластинки цинка и 50,000 пластинокъ мѣди, разделенныхъ 100,000-ами промежутковъ, причемъ каждая пластинка и каждый промежутокъ будутъ толщиною въ  $\frac{1}{100,000}$  сантиметра. Вся работа, совершенная электрическимъ притяженіемъ при образованіи этого столбика, равна двумъ граммъ-сантиметрамъ.

«Вся масса металла равна восьми граммамъ. Отсюда вели-

<sup>1)</sup> Смотри статью «О размѣрѣ атомовъ» (On the Size of Atoms), напечатанную въ *Nature*, т. I, стр. 551, а также въ *Natural Philosophy* Томсона и Тэта, 2-е изданіе, 1883, т. I, ч. II, Прибавленіе F.

(Прим. автора).

чина работы на одинъ граммъ металла равна четверти граммъ-сантиметра. Но, 4,030 граммъ-сантиметровъ работы, представляютъ собой, соотвѣтственно механическому эквиваленту тепла Джуля, количество, потребное для нагрѣванія одного грамма цинка или мѣди на одинъ градусъ Цельзія. Слѣдовательно работа, совершенная электрическимъ притяженіемъ, могла бы нагрѣть вещество только на  $\frac{1}{16,120}$  градуса. Но пусть теперь толщина каждого куска металла и каждого промежуточного пространства будетъ  $\frac{1}{100,000,000}$  сантиметра вмѣсто  $\frac{1}{100,000}$ . Работа увеличится въ миллионъ разъ<sup>1)</sup>, если только  $\frac{1}{100,000,000}$  сантиметра це приблизится по малости къ размѣрамъ молекулы. Эквивалентнаго этой работы количества тепла было бы достаточно, чтобы поднять температуру всей массы на 62°. Это кое-какъ допустимо,—если еще допустимо,—если принять во вниманіе наши свѣдѣнія, или вѣрнѣе недостатокъ свѣдѣній, касательно теплоты соединенія цинка и мѣди. Но положимъ, что металлическія пластинки и промежуточныя пространства сдѣланы еще въ четыре раза тоньше, т. е. толщина каждого изъ нихъ равна  $\frac{1}{400,000,000}$  сантиметра. Работа и эквивалентное ей тепло увеличится въ шестнадцать разъ. Поэтому работы будетъ въ 990 разъ больше, чѣмъ нужно, чтобы нагрѣть всю массу на одинъ градусъ Цельзія, а это будетъ въ значительной степени больше, чѣмъ то, что, по всей вѣроятности, можетъ быть выдѣлено цинкомъ и мѣдью, при образованіи ими молекулярнаго соединенія. Еслибы въ дѣйствительности было что либо, близкое къ такой большой теплотѣ соединенія, какъ эта, то смѣсь цинковаго и мѣднаго порошка, будучи расплавлена въ одной точкѣ, сплавилась бы вся, выдѣляя болѣе тепла, чѣмъ надоѣно для того, чтобы расплавить оба порошка въ отдельности,—подобно тому, какъ большое количество пороха, будучи зажжено въ какой либо одной точкѣ, сгораетъ все, безъ новаго сообщенія тепла. Слѣдовательно, пластинки цинка

<sup>1)</sup> Такъ какъ сила притяженія обратно пропорціональна квадрату разстоянія.  
(Прим. перев.).

и мѣди въ  $\frac{1}{300,000,000}$  сантиметра толщиною, плотно сложенныя поперемѣнно вмѣстѣ, образуютъ близкое приближеніе къ химическому соединенію, если, конечно, можно было бы сдѣлать такія тонкія пластинки, не раскалывая атомы».

Смѣшивая при приготовленіи латуни вмѣстѣ цинкъ и мѣдь, мы вовсе не находимъ очень ясныхъ признаковъ химического сродства; тепла выдѣляется немного; смѣсь не нагрѣвается, смѣсь не взрывается. Отсюда мы, понятно, можемъ заключить, что дѣйствіе электричества при соприкосновеніи прекращается или не продолжаетъ возрастать по тому же самому закону, когда дѣленіе металловъ доведено до чего нибудь вродѣ  $\frac{1}{100,000,000}$  сантиметра. Это является чрезвычайно важнымъ доводомъ. Я имѣю представить вамъ непосредственно далѣе болѣе убѣдительныя данныя относительно дѣйствительной величины атомовъ или молекулъ, но у меня нѣтъ ничего болѣе убѣдительнаго для доказательства существованія предполагаемой ихъ малости. Мы не можемъ довести дѣленіе цинка и мѣди ниже известной толщины, не приводя ихъ тѣмъ самымъ въ условія, въ которыхъ они теряютъ свои свойства, какъ самостоятельные твердые металлы, и въ которыхъ, если мы приведемъ ихъ въ соприкосновеніе, мы не найдемъ того притяженія, которое мы получили бы, вычисляя его, какъ для болѣе толстыхъ пластинокъ. Я считаю невозможнымъ,—соответственно тому, что мы знаемъ о химическомъ сродствѣ и о слѣдствіяхъ сплавленія цинка и мѣди,—допустить, чтобы можно было раздѣлить кусокъ мѣди или цинка на части, много тоньше,—если даже только тоньше,— $\frac{1}{100,000,000}$  сантиметра, не разлучая атомы или не раздѣляя молекулы, или не покончивая съ тѣмъ соединеніемъ, которое, какъ цѣлое, составляетъ твердый металль. Короче, составные части, такъ сказать, тѣхъ кирпичей, или молекулъ, или атомовъ, изъ которыхъ построены цинкъ и мѣдь, не могутъ быть много меныше,—если только еще могутъ быть меныше,— $\frac{1}{100,000,000}$  сантиметра въ диаметрѣ, и могутъ быть значительно большие.

Подобныя же заключенія являются слѣдствіемъ разсмотрѣнія любопытнаго и въ высшей степени интереснаго явленія,— мыльного пузыря. Старые и молодые философы, занимающіеся мыльными пузырями, наблюдаютъ одинъ изъ самыхъ интересныхъ предметовъ въ физикѣ. Выдуйте мыльный пузырь и смотрите на него, — вы можете заниматься, можетъ быть, всю свою жизнь изученіемъ его, не переставая извлекать изъ него уроки физики. Вы увидите теперь на экранѣ изображеніе мыльной пленки въ металлическомъ кольцѣ. Свѣтъ отражается отъ пленки, заполняющей это кольцо, и наведенья фокусомъ на экранъ. На экранѣ получаются, какъ вы видите, цвѣта, аналогичные цвѣтамъ Ньютоновыхъ колецъ. Изображеніе въ томъ видѣ, какъ вы его видите, перевернутое. Жидкость струится внизъ (вверхъ на изображеніи), и пленка понемногу становится тоньше, прежде всего въ самой верхней ея точкѣ. Сначала вы видите этотъ яркій зеленый цвѣтъ. Пленка будетъ дѣлаться тамъ все тоньше и тоньше и будетъ переходить черезъ красивыя градаціи цвѣтовъ, пока вы не увидите, какъ теперь, цвѣтъ темно-красный, затѣмъ много свѣтлѣе, затѣмъ цвѣтъ перейдетъ въ темноватый, желтовато-блѣлый, потомъ въ зеленый, голубой, темно-фиолетовый и наконецъ въ черный,— но очень скоро послѣ того, какъ вы увидите черное пятно, пленка разрывается. Самая пленка начинаетъ, повидимому, терять свое натяженіе, когда ея толщина становится значительно меньше той четверти длины волны желтаго свѣта, которая представляетъ собой толщину, соответствующую темновато-блѣлому цвѣту, предшествующему конечному черному. Когда вы моете руки, вы можете образовать и осторожно наблюдать пленку, подобную этой, въ кольцѣ, образуемомъ указательными и большими пальцами обѣихъ рукъ, и слѣдить за цвѣтами. Каждый разъ, какъ только вы замѣтите черное пятно или нѣсколько черныхъ пятенъ, пленка скоро послѣ того лопается. Пленка сохраняетъ свое натяженіе, пока мы не дойдемъ до чернаго пятна, гдѣ толщина очевидно менѣе  $\frac{1}{60,000}$  сантиметра, вели-

чины, представляющей толщину, соответствующую темновато-блѣлому цвѣту<sup>1)</sup>.

Ньютонъ въ слѣдующемъ отрывкѣ изъ его «Оптики»<sup>2)</sup> (стр. 187 и 191 изданія 1721 года, Вторая Книга, Часть I) сказалъ больше объ этомъ важномъ явленіи чернаго пятна, чѣмъ известно многимъ лучшимъ современнымъ наблюдателямъ

«Наблюденіе 17. Если выдуть изъ воды, сдѣланной сначала тягучей чрезъ раствореніе въ ней небольшого количества мыла, пузырь, то обыкновенно наблюдается, что черезъ нѣсколько времени пузырь оказывается окрашеннымъ въ раз-

<sup>1)</sup> Послѣ того, какъ была прочитана эта лекція, профессоръ Рейнольдъ и Рюккеръ сообщили Королевскому Обществу работу «О предѣльной толщинѣ жидкихъ пленокъ». (On the Limiting Thickness of Liquid Films) и краткое извлеченіе изъ нея было напечатано въ Протоколахъ Общества отъ 19 апрѣля 1883 г.<sup>3)</sup>. Авторы даютъ слѣдующіе результаты измѣреній толщины черной пленки указанныхъ жидкостей.

Жидкость.	Способъ <sup>4)</sup> .	Средняя толщина.
„Liquide Glyc�rique“ Плато	{ электрическій . . . . . оптическій . . . . .	$0.119 \times 10^{-2}$ сант. 0.107 ,
Растворъ мыла. . . . .	{ электрическій . . . . . оптическій . . . . .	0.117 , 0.121 ,

Слѣдовательно толщина пленки *liquide glyc rique* [глицериновой жидкости] и толщина пленки раствора мыла, не содержащаго глицерина, почти одинаковы и равны, приблизительно,  $\frac{1}{50}$  длины волны натроваго пламени.

<sup>2)</sup> Optics or a Treatise of the reflections refractions, combinations, and colours of light. London. 1721, 1730 и др.

(Прим. автора).

<sup>3)</sup> Proc. Roy. Soc., 25, 149—151.

(Прим. перев.).

<sup>4)</sup> Рейнольдъ и Рюккеръ опредѣляли, во-первыхъ, [Proc. Roy. Soc., 30, 345, 1877, The Thickness of Soap Films (Толщина мыльныхъ пленокъ)], электрическое сопротивленіе чернаго пятна пленки, толщина котораго, по предварительнымъ изслѣдованіямъ (Trans. Roy. Soc., 172, 447, 1881), оказалась весьма постоянной и независимой отъ размѣровъ самого пятна, и изъ этого сопротивленія выводили толщину пленки, въ предположеніи, что удѣльное сопротивленіе не измѣняется (что они провѣрили до толщинъ въ  $3.74 \times 10^{-5}$  см.). Во-вторыхъ (Trans. Roy. Soc. 174, 645—672, 1883), они поступали такъ: въ стеклянной трубкѣ образовывали, обмакивая ее нѣсколько десятковъ разъ въ жидкость, нѣсколько

личные цвета. Чтобы защитить эти пузыри от колебаний ихъ външнимъ воздухомъ (чрезъ что ихъ цвета неправильно передвигаются одинъ посреди другого, такъ что нельзя дѣлать точныхъ наблюденія надъ окрашиваніями), я, какъ только выдувалъ какой нибудь изъ нихъ, покрывалъ его чистымъ стаканомъ, и благодаря этому цвета пузыря возникали въ очень правильномъ порядкѣ въ видѣ концентрическихъ колецъ, окружавшихъ вершину пузыря. И по мѣрѣ того, какъ пузырь дѣлался тоньше вслѣдствіе непрерывнаго расщепленія воды, эти кольца медленно расширялись и распространялись по всему пузырю, опускаясь въ полномъ порядке къ его основанію, гдѣ они последовательно исчезали. Тѣмъ временемъ, послѣ того, какъ все цвета прошли отъ вершины, тамъ въ центрѣ кольца появлялось небольшое круглое черное пятно, подобное пятну въ первомъ наблюденіи<sup>1)</sup>, которое непрерывно расширялось, пока не становилось иногда болѣе половины или трехъ четвертей дюйма шириной, передъ тѣмъ, какъ пузырю лопнуть. Сначала я думалъ, что отъ воды

десятковъ тонкихъ пленокъ, и затѣмъ наблюдали сдвигъ интерференціонныхъ полосъ въ рефрактометрѣ Жамена при прорываніи нѣсколькоихъ пленокъ при помощи стальной иглы, приводимой въ движение въ трубкѣ сильнымъ магнитомъ; изъ этого сдвига они вычисляли толщину каждой пленки, въ предположеніи, что показатель преломленія не измѣняется. Удовлетворительное согласіе результатовъ между собою [среднее отклоненіе процентовъ на 10 (0·0119) отъ средней величины (0·1164), а крайнія предѣлы суть 0·0718 и 0·1449] указываетъ на вѣрность этихъ предположеній.

<sup>1)</sup> «Наблюденіе 1. Сжимая крѣпко призмы вмѣстѣ, такъ, чтобы ихъ грани (которыя случайно оказались немножко выпуклыми) могли гдѣнибудь прикоснуться другъ къ другу, я нашелъ, что мѣсто, въ которомъ они соприкасались, сдѣлалось совершенно прозрачнымъ, какъ будто бы тамъ былъ одинъ сплошной кусокъ стекла. Ибо, когда свѣтъ падалъ настолько наклонно на воздухъ, который былъ въ другихъ мѣстахъ между ними, что весь отражался, то казалось, что въ этомъ мѣстѣ соприкосновенія онъ полностью пропускается насквозь, — такъ что, когда смотрѣли на это мѣсто, то оно казалось похожимъ на черное или темное пятно по причинѣ того, что отъ него отражалось мало или почти замѣтно не отражалось свѣта...» (стр. 169—170).

(Прим. перев.).

въ этомъ мѣстѣ свѣтъ не отражался вовсе, но, наблюдая пятно болѣе внимательно, я увидалъ внутри его нѣсколько меньшихъ круглыхъ пятенъ, которыя казались гораздо чернѣе и темнѣе, чѣмъ остальное, чрезъ что я узналъ, что было нѣкоторое отраженіе въ другихъ мѣстахъ, которыя были не такъ темны, какъ эти пятнышки. А изъ дальнѣйшихъ опытовъ я нашелъ, что можно видѣть изображенія нѣкоторыхъ предметовъ (какъ, напр., свѣчи, или солнца) очень слабо отраженными не только отъ большого чернаго пятна, но также и отъ маленькихъ болѣе темныхъ пятенъ, находившихся внутри его.

«Наблюденіе 18. Если вода была не очень тягучей, то черные пятна появлялись въ бѣломъ (цвѣтѣ) безъ замѣтного еще появленія голубого. А иногда они появлялись въ желтомъ, ему предшествующемъ, или въ красномъ, или, можетъ быть, въ голубомъ второго порядка,—прежде чѣмъ промежуточные цвета успѣвали появиться».

Теперь, у меня есть основаніе, и основаніе неопровергимое сказать, что пленка не можетъ сохранять свое сопротивленіе растяженію до толщины въ  $\frac{1}{100,000,000}$  сантиметра,—а именно работа, которая потребовалась бы, чтобы растянуть пленку немного болѣе этого, была бы достаточна, чтобы превратить всю пленку въ парь.

Теорія капиллярнаго притяженія показываетъ, что, когда пузырь,—напримѣръ, мыльный пузырь,—раздуваютъ все больше и больше, то растягиваніемъ пленки, сопротивляющейся растяженію, какъ будто это есть упругая перепонка съ постоянной стягивающей силой, совершаются работы. Эта стягивающая сила должна выражаться известнымъ числомъ единицъ силы на единицу ширины<sup>1)</sup>. Наблюденія надъ поднятіемъ воды въ капиллярныхъ трубкахъ показываютъ, что стягивающая сила тонкой пленки воды равна шестнадцати миллиграммамъ вѣса на миллиметръ ширины. Слѣдовательно, работа, совершаемая при растяги-

<sup>1)</sup> Томсонъ хочетъ показать этимъ, что сила относится къ единицѣ длины линіи раздѣла поверхности, перпендикулярной направлению силы.

(Прим. перев.).

ванії пленки воды до любой степени тонкости, считаемая въ миллиграммъ-миллиметрахъ, равна взятому 16 разъ числу квадратныхъ миллиметровъ, на которое увеличилась поверхность, если только пленка не сдѣлалась настолько тонкой, что получилось какое нибудь замѣтное уменьшеніе ея стягивающей силы. Въ статьѣ «О тепловомъ дѣйствіи растяженія пленки жидкости» («On the Thermal Effect of Drawing out a Film of Liquid»), напечатанной въ Протоколахъ Королевскаго Общества за апрѣль 1858 года, [Math. and. Phys. Papers, т. III, ст. XCIV<sup>1)</sup>], я вывелъ изъ второго закона термодинамики, что пленкѣ нужно сообщить еще около половины этого количества энергіи, въ формѣ тепла, чтобы предотвратить пониженіе ея температуры въ то время, какъ ее вытягиваютъ. Отсюда, внутренняя энергія [intrinsic energy] массы воды, взятой въ видѣ пленки, поддерживаемой при постоянной температурѣ, увеличивается на 24 миллиграммъ-миллиметра на каждый квадратный сантиметръ, прибавляемый къ ея поверхности.

Положимъ, затѣмъ, что дана пленка толщиною въ миллиметръ, и положимъ, что ея плошадь увеличивается въ 10,001 разъ: затраченная работа была бы равна 240,000 миллиграммъ-миллиметровъ на каждый квадратный миллиметръ первоначальной пленки, т. е. на миллиграммъ массы. Эквивалентное этому количеству тепла соотвѣтствуетъ поднятію температуры вещества болѣе, чѣмъ на полъ градуса Цельзія ( $0^{\circ}57$ ). Толщина, къ которой сведена пленка въ этомъ предположеніи, съ большимъ приближеніемъ равняется  $\frac{1}{10,000}$  сантиметра. Самое обыкновенное наблюденіе надъ мыльнымъ пузыремъ показываетъ, что при уменьшеніи толщины до  $\frac{1}{10,000}$  сантиметра, нѣть замѣтнаго уменьшенія стягивающей силы; тѣмъ болѣе что толщина, которая даетъ первый максимумъ свѣта вокругъ чернаго пятна, которое видно, когда пленка наиболѣе тонка, равна только около  $\frac{1}{6,000}$  миллиметра.

<sup>1)</sup> Proc. Roy. Soc., 9, 255—260; въ Math. Phys. Pap., изданія 1890 года, этой статьи вовсе нѣть.  
(Прим. перев.).

Очень умѣренная величина работы, указанная въ предыдущемъ разсчетѣ, вполнѣ совмѣстима съ этимъ уменьшеніемъ толщины. Но положимъ теперь, что пленка растягивается далѣе, пока ея толщина не будетъ доведена до  $\frac{1}{10,000,000}$  миллиметра ( $\frac{1}{100,000,000}$  сантиметра). Работа, затраченная на это, въ тысячу разъ больше той, которую мы сейчасъ вычислили. Эквивалентное ей тепло въ 570 разъ больше количества, потребнаго, чтобы поднять температуру жидкости на  $1^{\circ}$  Цельзія. Это много болѣе того, чѣмъ мы можемъ допустить, какъ возможное количество работы, совершающейся при растяженіи жидкой пленки. Это болѣе того количества работы, которое, будучи затрачено на жидкость, обратило бы ее въ паръ при обыкновенныхъ атмосферныхъ условіяхъ. Неизбѣжное заключеніе отсюда, что у водянной пленки значительно понижается ея стягивающая сила прежде, чѣмъ пленка дойдетъ до толщины въ  $\frac{1}{10,000,000}$  миллиметра. Какую бы мы молекулярную теорію ни допускали, едва ли возможно, чтобы могло быть какое нибудь значительное пониженіе стягивающей силы до тѣхъ поръ, пока въ толщѣ пленки еще заключается много молекулъ. Поэтому вѣроятно, что въ толщѣ воды въ  $\frac{1}{10,000,000}$  миллиметра не находится много молекулъ.

Разъ мы занимаемся теперь подраздѣленіемъ матеріи на части, взгляните на эти чудные цвѣта, которые вы видите въ этой маленькой шкатулкѣ, оставленной Королевскому Институту, мнѣ кажется, профессоромъ Бранде. Она заключаетъ въ себѣ полированные стальные бруски, окрасившіеся благодаря нагреванію ихъ до различныхъ температуръ, какъ это дѣлается въ процессѣ отпусканія твердо-закаленной стали. Эти цвѣта, производимые жаромъ и на другихъ полированныхъ металлахъ кромѣ стали, происходить отъ тонкихъ пленокъ прозрачной, окиси и ихъ окраска, какъ окраска мыльного пузыря и тонкаго слоя воздуха въ «ньютоновыхъ кольцахъ», зависить отъ толщины пленки, образованіе которой при соединеніи окисляю-

щагося металла съ кислородомъ воздуха подъ вліяніемъ жара представляеть собою настоящій пожаръ поверхности.

Вы всѣ хорошо знакомы съ яркими и красиво распределенными полосами цвѣтовъ, производимыми жаромъ на полированыхъ стальныхъ рѣшеткахъ и кочергахъ, если онѣ ускользнутъ отъ тѣхъ несчастныхъ правилъ домашней эстетики, которые слишкомъ часто сохраняютъ эти предметы блестящими, холодными и бесполезными; и это дѣлается вмѣсто того, чтобы дать имъ обнаружить изящную игру тепловой окраски, появляющейся естественнымъ и неизбѣжнымъ образомъ, когда ихъ употребляютъ въ дѣло, составляющее цѣль ихъ существованія. Толщина той пленки окиси, которая даетъ первый замѣтный цвѣтъ, — очень блѣдно-оранжевую или свѣтло-желтую [buff] окраску, которая зависитъ отъ ослабленія или погашенія фиолетового цвѣта, ослабленія голубого цвѣта и меньшаго, въ зависимости отъ ихъ естественного порядка, ослабленія другихъ цвѣтовъ, — ослабленія, происходящаго отъ интерференціи лучей, отраженныхъ отъ двухъ поверхностей пленки, — толщина эта, будучи нѣсколько меныше четверти длины волны фиолетового цвѣта, равна около  $\frac{1}{100,000}$  сантиметра<sup>1)</sup>.

Чрезвычайная дѣйствительность электричества для отысканія и обнаруживанія чего либо приходитъ и здѣсь къ намъ на помощь и при посредствѣ силы, распространенной, такъ сказать, по такой пленкѣ, доказываетъ намъ существованіе пленки тогда, когда она значительно тоньше  $\frac{1}{100,000}$  сантиметра, когда на самомъ дѣлѣ она до такой степени тонка, что не производить

<sup>1)</sup> Можетъ быть, толщина эта значительно меныше, потому что нормальное отраженіе на поверхности раздѣла металла и прозрачного окисла сопровождается потерей около  $\frac{3}{4}$  длины волны (Винеръ, Wied. Ann. 40, 203, 1890); когда прозрачный слой довольно толстъ, то разность хода двухъ интерферирующихъ лучей будетъ около  $\frac{3}{4} \lambda + 2e - \frac{\lambda}{2}$  или  $\frac{\lambda}{4} + 2e$ ; такъ какъ она равна  $2 \cdot \frac{\lambda}{4}$ , то толщина  $e$  будетъ равна, приблизительно,  $\frac{1}{8}$  длины волны.  
(Прим. перев.).

абсолютно никакого замѣтнаго дѣйствія на отраженный свѣтъ, т. е. такъ тонка, что абсолютно невидима<sup>1)</sup>. Если въ приборѣ для измѣренія электричества при соприкосновеніи<sup>2)</sup>, рисунокъ котораго находится передъ вами (Nature, т. XXIII, стр. 567), помѣстить въ Вольтовъ конденсаторъ двѣ свѣже отполированныхъ мѣдныхъ пластинки, то полученное дѣйствіе съ большой точностью равняется нулю. Если, затѣмъ, одну изъ пластинокъ вынуть, слегка нагрѣть, положивъ на кусокъ го-

<sup>1)</sup> Наименьшая толщи отложенного на стеклѣ слоя серебра, присутствіе которыхъ обнаруживалось замѣтнымъ измѣненіемъ въ свойствахъ отраженного свѣта, доходятъ до  $\frac{2}{10,000,000}$  миллиметра ( $2 \times 10^{-8}$  сантиметра).

Винеръ „Объ измѣненіи фазы свѣта при отраженіи и способы опредѣленія толщины тонкихъ листковъ“ (Ueber die Phasenänderung des Lichtes bei der Reflection und Methoden zur Dickenbestimmung dünner Blättchen).—Wied. Ann., 31, 666, 1887. (Прим. перев.).

<sup>2)</sup> Приборъ этотъ (рис. 34 А) состоить изъ квадратнаго электрометра, соединяемаго съ испытуемыми пластинками (съ Вольтовымъ конденсаторомъ).

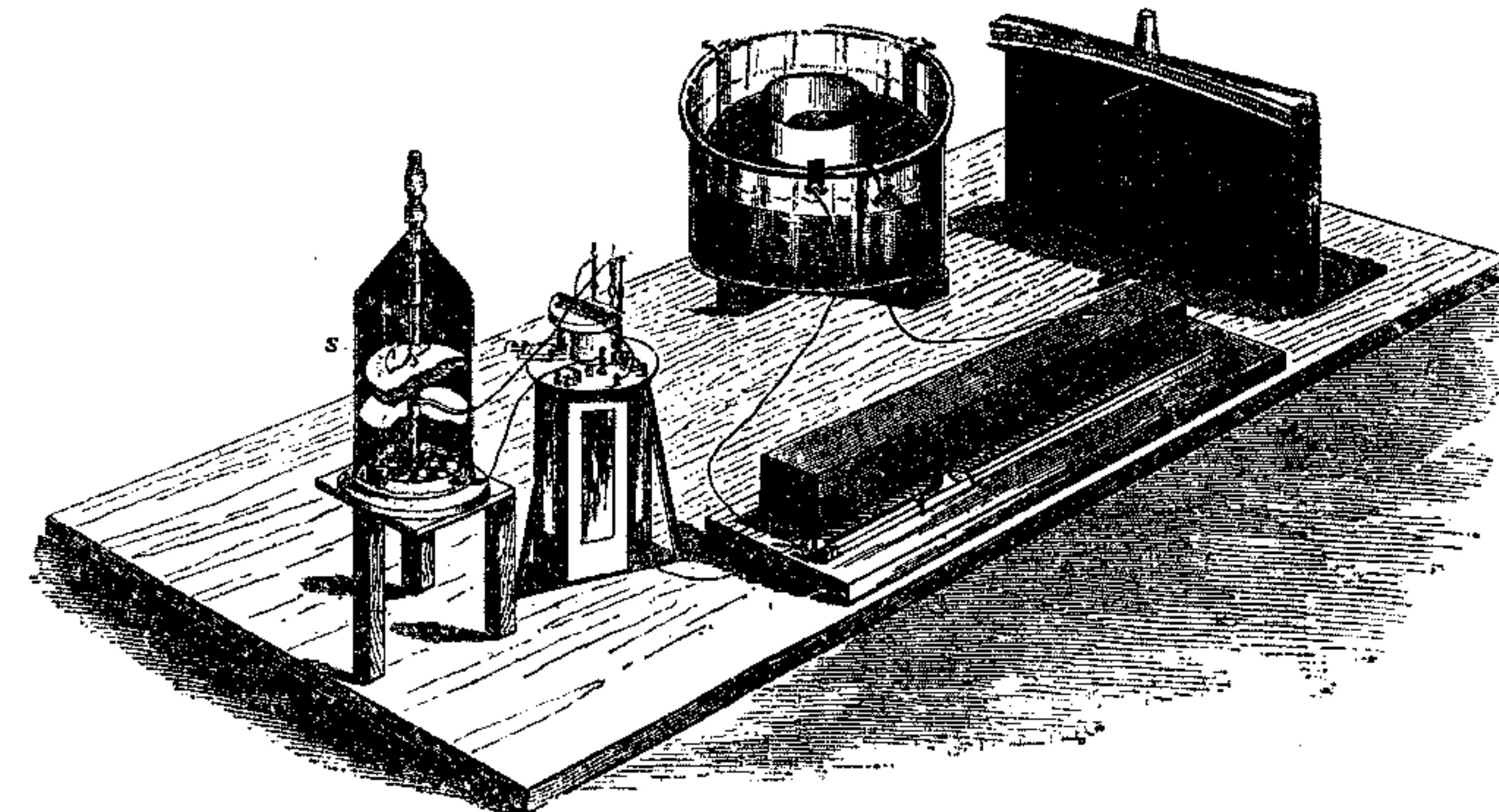


Рис. 34 А.

ромъ), изъ элемента Даніеля въ формѣ, приданной ему Томсономъ (Proc. Roy. Soc., 1871, 253—9), и изъ раздѣлителя (divider), который позволяетъ получить, при посредствѣ подвижнаго контакта, какую угодно часть электродвижущей силы этого элемента, — часть, служившую для компенсаціи электродвижущей силы, получавшейся между изслѣдуемыми пластинками.

(Прим. перев.).

рячаго желѣза,—затѣмъ дать ей снова остыть и положить ее опять въ Вольтовъ конденсаторъ, то оказывается, что на подвергнутой такой операциіи поверхности собирается отрицательное электричество, а на блестящей мѣдной поверхности, расположенной противъ нея, собирается положительное электричество, когда эти поверхности находятся въ металлическомъ соединеніи. Если повторить ту же операцию при нѣсколько болѣе высокихъ температурахъ или нѣсколько болѣе продлить нагреваніе, то электрическая разница между пластинками увеличивается. Такое явленіе наблюдается раньше, чѣмъ на мѣдной поверхности, измѣненной нагреваніемъ, появляется какая либо замѣтная окраска. Явленіе это продолжаетъ усиливаться при возвышении температуры нагревающаго тѣла, пока не начнетъ появляться окраска окисловъ, начинающаяся съ свѣтло-желтаго цвѣта и переходящая черезъ болѣе красный къ темно-синему цвѣту аспидной доски, при которомъ никакое дальнѣйшее нагреваніе не увеличиваетъ, повидимому, интензивности явленія. Наибольшее явленіе электризациіи при соприкосновеніи, какое я такимъ образомъ получиль, между свѣже отполированной блестящей мѣдной поверхностью и противолежащей стороной мѣди, ставшей почти черной вслѣдствіе окисленія, было таково, что для компенсирующаго потенціала въ моемъ способѣ изслѣдованія<sup>1)</sup> требовалось около половины потенціала одного элемента Даніеля.

Нѣсколько до сихъ поръ еще не опубликованныхъ опытовъ надъ полированными серебряными пластинками, произведенныхъ мною пятнадцать лѣтъ тому назадъ, показали мнѣ, даже поразительно, электрическое вліяніе совсѣмъ безконечно-малыхъ слѣдовъ паровъ іода. Дѣйствіе на свойства поверхности

<sup>1)</sup> Описанъ въ первый разъ въ письмѣ къ Джулю, напечатанномъ въ *Proceedings of the Literary and Philosophical Society of Manchester* отъ 21 января 1862 г.<sup>2)</sup>, где я также впервые показалъ выводъ предѣла величины молекулъ изъ измѣреній электричества при соприкосновеніи. Способъ измѣренія болѣе полно описанъ въ вышеупомянутой статьѣ въ *Nature* (т. XXIII, стр. 567).

(Прим. автора).

<sup>2)</sup> Proc. Manch. Soc. 2, 176—78.

по отношенію къ электричеству при соприкосновеніи возрастаетъ, повидимому, непрерывно, начиная съ первого наложенія на металль,—наложенія, совершенно незамѣтного для всякихъ другихъ способовъ обнаруживанія,—нѣсколькихъ атомовъ или молекулъ дѣйствующаго на него вещества (напр., кислорода, или іода, или сѣры, или хлора), и продолжаетъ увеличиваться, пока пленка окисла, или іодистаго, или какого нибудь другого соединенія, какое тамъ можетъ образоваться, не достигнетъ нѣкоторой такой толщины, какъ  $\frac{1}{30,000}$  или  $\frac{1}{40,000}$  сантиметра.

Этотъ предметъ—одинъ изъ тѣхъ, которые заслуживаютъ, чтобы имъ посвящали гораздо больше тщательной экспериментальной работы и измѣреній, чѣмъ это дѣлали до сихъ поръ. Я ссылаюсь на этотъ предметъ въ настоящую минуту для того, чтобы указать вамъ, что благодаря такому электрическому явленію мы въ состояніи, такъ сказать, зондировать глубину океана молекулъ, притянувшихъ къ металлической поверхности благодаря пару [attracted by the vapour] или газу, входящему въ соединеніе съ ней.

Когда мы приходимъ къ толщинамъ, значительно меньшимъ длины волны, то мы находимъ, что твердые металлы становятся прозрачными. Благодаря любезности проф. Дьюара я въ состояніи показать вамъ нѣкоторая чрезвычайно тонкія пленки платины, золота и серебра, помѣщенныя на стеклянныхъ пластинкахъ,—пленки, толщина которыхъ измѣрена. Эта плата—толщиною  $1.9 \times 10^{-5}$  сантиметра и она совершенно непрозрачна; но вотъ золотая пленка почти такой же толщины,—она прозрачна для электрическаго свѣта, какъ вы видите, и пропускаетъ прекрасный зеленый цвѣтъ, который вы видите на экранѣ. Толщина этого золота ( $1.9$  или около  $2 \times 10^{-5}$  сантиметра) равна какъ разъ половинѣ длины волны фіолетового свѣта въ воздухѣ. Это прозрачное золото, пропускающее на экранъ зеленый свѣтъ, въ то же время, какъ вы видите, отражаетъ желтый свѣтъ на потолокъ. Теперь я покажу вамъ серебро. Оно тоньше,—толщина его всего  $1.5 \times 10^{-5}$  сантиметра или  $\frac{3}{8}$  длины волны фіолетового свѣта въ воздухѣ. Оно

отношение скорости распространения въ эфирѣ къ скорости распространенія въ этой прозрачной средѣ.

Что скорость распространения будеть различной въ различныхъ средахъ и что она будеть въ большинствъ случаевъ меныше въ болѣе плотной, чѣмъ въ менѣе плотной средѣ, есть именно то, чего мы должны, соотвѣтственно принципамъ механики, ожидать отъ всякаго постижимаго строенія свѣтоноснаго эфира и осязаемаго прозрачнаго вещества. Но что скорость распространенія въ какомъ нибудь одномъ прозрачномъ веществѣ различна для свѣта различныхъ цвѣтовъ, т. е. различныхъ периодовъ колебанія, не есть то, чего

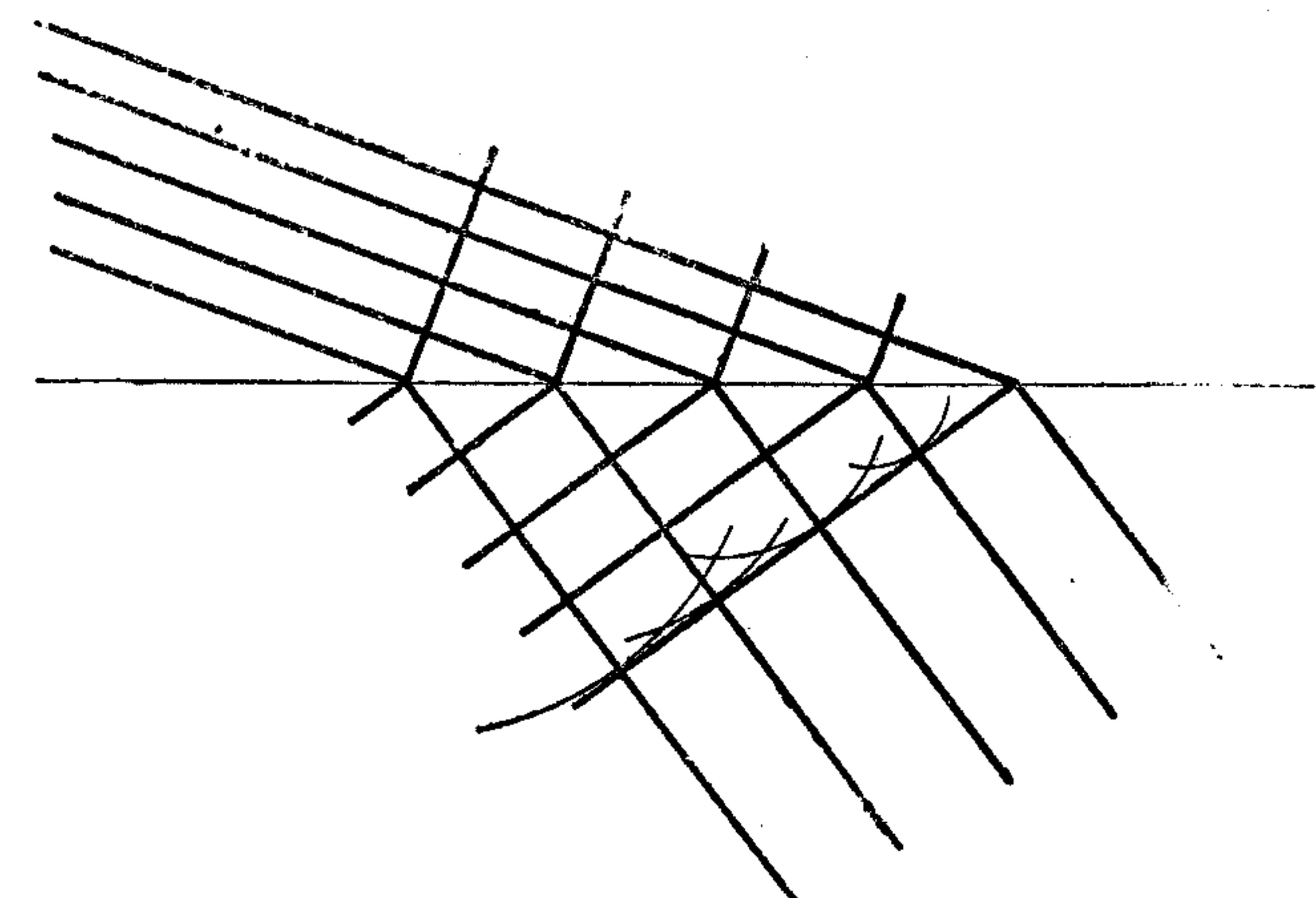


Рис. 35. Чертежъ построенія Гюйгенса для передней части волны преломленнаго свѣта; нарисованъ для свѣта, проходящаго изъ воздуха въ флинтглазь.

мы должны были бы ожидать, и это, въроятно, не могло бы быть въ действительности, если бы среда была однородной и если бы не существовало какого либо предѣла малости частей, свойства которыхъ сравниваются. Фактъ, что скорость распространенія *зависитъ* отъ периода, даетъ намъ неопровержимое, по моему мнѣнію, доказательство того, что вещество осязающей прозрачной матеріи,—такой, какъ вода, стекло или двухсѣрнистый углеродъ этой призмы, спектръ котораго наход-

дится передъ вами,—не до бесконечности однородно, но что, наоборотъ, если изслѣдовать смежныя части любой такой среды—дѣйствительно, любой среды, которая можетъ дать призматические цвѣта,—чрезъ промежутки, не бесконечно малые въ сравненіи съ длинами волны, то откроются совершенно неоднородные свойства,—такая неоднородность, какъ та, которую мы признаемъ въ осязаемой матеріи, какъ разницу между твердымъ и жидкимъ тѣломъ, или между веществами, очень сильно различающимися по плотности; —или такая неоднородность, какъ разницы въ скорости и направлениіи движенія при различныхъ положеніяхъ вихревого кольца въ однородной жидкости; —или такія разницы въ материалѣ, занимающемъ изслѣдуемое пространство, какъ тѣ, которыя мы находимъ въ большой массѣ кирпичаго зданія, когда мы переходимъ отъ кирпича къ кирпичу черезъ известку (или черезъ *пустоту*, какъ это слишкомъ часто оказывается у насъ въ домашнихъ кирпичныхъ по-шотландски выстроенныхъ каминахъ).

Коши, мнѣ кажется, былъ первымъ изъ математиковъ и естественниковъ, который позволилъ себѣ дойти до заключенія, что разсѣяніе свѣта преломленіемъ можетъ быть объяснено только конечной степенью молекулярной крупнозернистости въ строеніи прозрачной преломляющей матеріи. И такъ какъ, съ какой бы мы точки зрѣнія ни рассматривали вопросъ и какъ бы сильно мы ни чувствовали себя принужденными отступить отъ деталей того молекулярного строенія и молекулярныхъ взаимодѣйствій, которыхъ принялъ Коши, мы все съ большей и большей увѣренностью укрѣпляемся въ его заключеніи, что конечная крупнозернистость прозрачной осязаемой матеріи есть причина разницы въ скоростяхъ различныхъ цвѣтовъ распространяющагося черезъ нее свѣта, то мы должны смотрѣть на Коши, какъ на создателя динамической теоріи призматическихъ цвѣтовъ.

Но теперь мы приходимъ къ главной трудности въ теоріи Коши<sup>1)</sup>. Посмотрите на эту небольшую таблицу (таблица II),

<sup>1)</sup> Какъ изложеніе механической теоріи «дисперсіи свѣта», смотри

ТАБЛИЦА II.

Скорость  $v$  въ зависимости отъ числа  $N$  частицъ въ длины волны.

$N$	$V = 100 \frac{\sin \frac{\pi}{N}}{\frac{\pi}{N}}$
2	63·64
4	90·03
8	97·45
12	98·86
16	99·36
20	99·59
$\infty$	100·00

и вы увидите въ заголовкѣ формулу, которая даетъ скорость въ функции числа частицъ въ длины волны, въ предположеніи, что среда состоитъ изъ равныхъ частицъ, расположенныхъ въ кубическомъ порядкѣ, и что каждая частица притягиваетъ шесть ближайшихъ сестръ своихъ силою,

«Взглядъ на волновую теорію въ примѣненіи ея къ дисперсіи свѣта»  
Баденъ Пауэллъ (View of the Undulatory Theory as applied to the  
Dispersion of Light, by the Rev. Baden Powell, M. A. etc... London,  
1848).  
(Прим. автора).

изменяющеся прямо пропорционально избытку разстояния между ними надъ некоторой постоянной линіей (длина которой должны быть выбрана соответственно степени сжимаемости, которую обладает упругое тѣло, которое мы желаем изобразить этимъ скопищемъ взаимодѣйствующихъ молекулъ). Если мы представимъ себѣ, что частицы дѣйствительной матеріи расположены въ кубическомъ порядке и что шесть спиральныхъ пружинъ изъ стальной проволоки или упругихъ каучуковыхъ лентъ прикреплены къ каждой частицѣ инатянуты между нею и ея шестью ближайшими соседями, то такой моделью эти силы будутъ воспроизведены со всей надлежащей точностью; и если бы мы могли усиленно *пожелать*, чтобы амфитеатръ Королевскаго Института былъ перенесенъ въ центръ земли и оставленъ тамъ на пять минутъ, то я бы имѣлъ большое удовольствие показать вамъ модель упругаго твердаго тѣла, такимъ образомъ построеннаго, и показать вамъ волны, распространяющіяся черезъ него такъ, какъ распространяются волны свѣта въ свѣтоносномъ эфирѣ. Тяжесть является той несчастной случайностью въ нашемъ настоящемъ положеніи, которая препятствуетъ мнѣ показать это вамъ здѣсь теперь. Но вместо этого у васъ есть эти двѣ модели волнъ (см. рис. 34, стр. 109), каждая изъ которыхъ показываетъ вамъ перемѣщеніе и движение ряда частицъ при распространеніи волны чрезъ наше воображаемое твердое тѣло трехъ измѣреній, причемъ выбранный рядъ молекулъ представляетъ собой тѣ, которыя при равновѣсіи находятся на одной прямой линіи, направляющей кубического расположения, а у предполагаемой волны ея передняя сторона перпендикулярна къ этой линіи, а направление колебанія ея есть направленіе одной изъ двухъ другихъ направляющихъ линій кубического расположения.

Предъ вами находится также этотъ рядъ чертежей (рис. 36—41), изображающихъ волны въ упругомъ твердомъ тѣлѣ, составленномъ изъ молекулъ. Два этихъ чертежа (рис. 36 и 37) изображаютъ волну, въ которой на разстояніе длины одной волны приходится двѣнадцать молекулъ; одинъ чертежъ (рис. 36) изображаетъ (длиною и положеніемъ стрѣлокъ) величину и на-

правленіе скорости каждой молекулы въ тотъ моментъ, когда одна изъ молекулъ находится на гребнѣ волны или дошла до наибольшаго своего перемѣщенія: другой чертежъ (рис. 37) по-

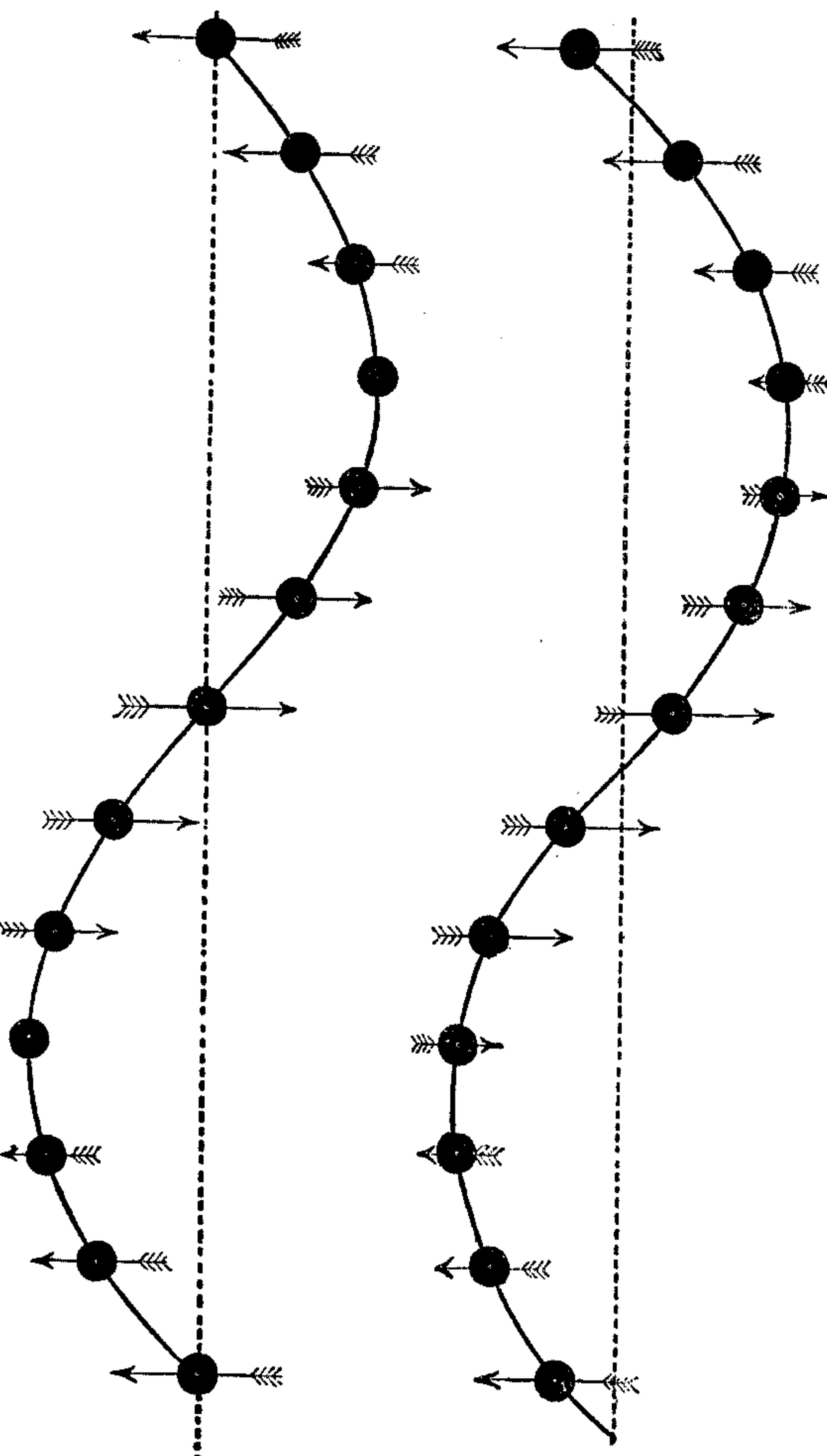


Рис. 36.

Двѣнадцать частицъ въ длину одной волны.

Рис. 37.

казываетъ величину и направленіе скоростей послѣ того, какъ

волна подвинулась впередъ на такое разстояніе, (въ этомъ случаѣ равное  $\frac{1}{24}$  длины волны), что гребень волны ока-

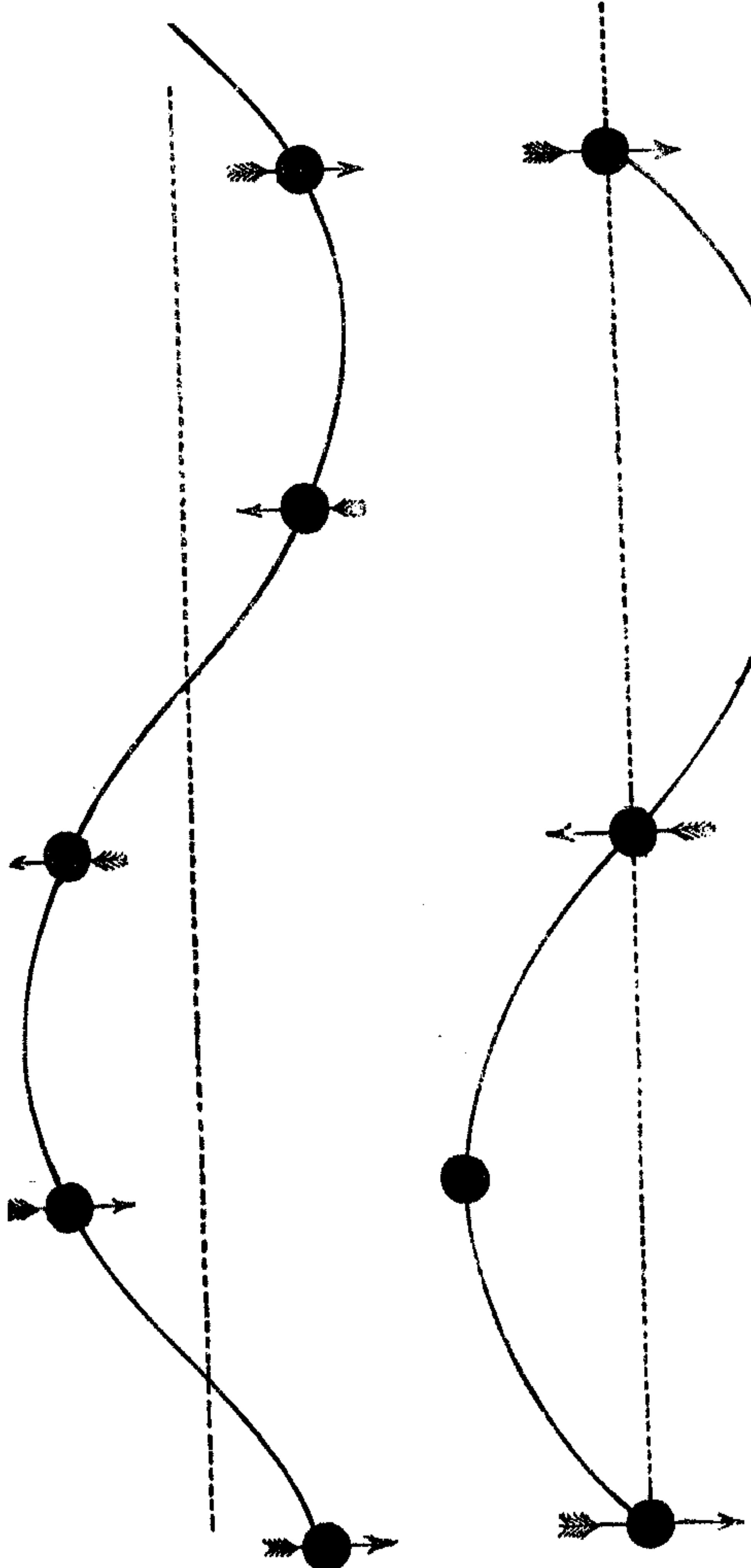


Рис. 38.  
Четыре частицы въ длину одной волны.

зывается на серединѣ пути между двумя молекулами. Эта пара чертежей (рис. 38 и 39) показываетъ то же самое для волны,

имѣющей четыре молекулы въ длинѣ одной волны, а эта пара (рис. 40 и 41) — для волны, имѣющей двѣ молекулы въ длинѣ одной волны.

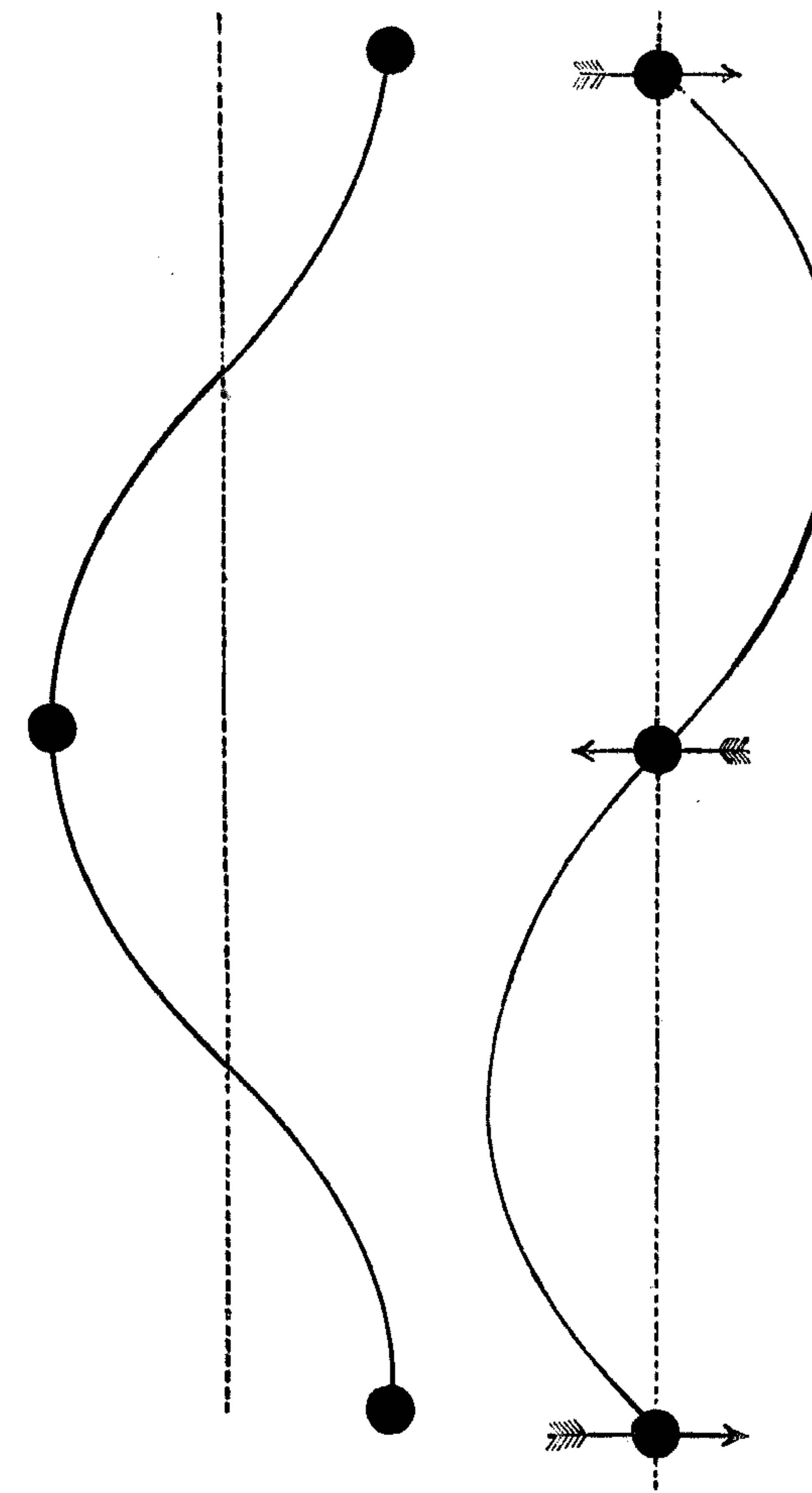


Рис. 40. Рис. 41.  
Две частицы въ длину одной волны.

Чѣмъ болѣе приближаемся мы къ этому критическому случаю, т. е. чѣмъ длина волны короче и ближе къ низшему

предѣлу своему,—двойному разстоянію отъ молекулы до молекулы—тѣмъ меныше становится разница между двумя видами движенія, которые представляютъ собой волны, распространяющіяся по противоположнымъ направлениимъ. Въ крайнемъ или критическомъ случаѣ разница сводится къ нулю и движение не есть волнобразное движение, а представляеть собою случай того, что часто называется «стоячимъ колебаніемъ». Прежде, чѣмъ я закончу сегодняшнюю бесѣду, я надѣюсь объяснить подробнѣ рода движенія, которое мы получаемъ вмѣсто волнобразного движенія (становящагося въ математическомъ смыслѣ мнимымъ), когда періодъ колебанія возбудителя немнога меныше этого критического значения, потому что этотъ случай крайне важенъ и интересенъ въ физической оптицѣ, если принять во вниманіе до сихъ поръ еще не опубликованное объясненіе фосфоресценціи Стокса.

Это предположеніе, что каждая молекула дѣйствуетъ съ нѣкоторой силой непосредственно на своихъ ближайшихъ соседей, не представляетъ собой въ точности то положеніе, на которомъ основывается Коши. Коши предполагаетъ, что каждая молекула дѣйствуетъ на всѣ, ея окружающія, по нѣкоторому закону быстрого уменьшенія дѣйствія по мѣрѣ увеличенія разстоянія; но это должно сдѣлать вліяніе зернистости строенія на скорость распространенія еще незначительнѣе, чѣмъ оно будетъ при простомъ предположеніи, осуществляемомъ моделями и чертежами, которые находятся передъ вами, и представляющими поэтому крайній предѣлъ примѣнимости неизмѣненной теоріи Коши къ объясненію дисперсіи.

Теперь, взглянувъ на ту небольшую таблицу (таблица II, стр. 129) вычисленныхъ результатовъ, вы увидите, что, когда въ длине волны находится всего 20 молекулъ, скорость распространенія равна  $99\frac{1}{2}$  процентовъ той, которая имѣла бы безконечнаго числа молекулъ; отсюда, крайняя разница въ скоростяхъ распространенія, объясняемая неизмѣненной теоріей Коши въ ея идеальномъ крайнемъ случаѣ взаимодѣйствія, ограничивающагося ближайшими

сосѣдями, достигаетъ  $\frac{1}{200}$ . Но взгляните теперь на эту таблицу (таблица III) показателей преломленія; вы видите, что

### ТАБЛИЦА III.

Таблица показателей преломленія.

Линія спектра.	В Е Щ Е С Т В О				
	твѣрдый кронгласъ.	экстра-плот- ный флинт- гласъ.	вода при $15^{\circ}\text{Ц.}$	сѣроугле- родъ при $11^{\circ}\text{Ц.}$	алкоголь при $15^{\circ}\text{Ц.}$
A	1·5118	1·6391	1·3284	1·6142	1·3600
B	1·5136	1·6429	1·3300	1·6207	1·3612
C	1·5146	1·6449	1·3307	1·6240	1·3621
D	1·5171	1·6504	1·3324	1·6333	1·3638
E	1·5203	1·6576	1·3347	1·6465	1·3661
b	1·5210	1·6591	...	...	...
F	1·5231	1·6642	1·3366	1·6584	1·3683
G	1·5283	1·6770	1·3402	1·6836	1·3720
h	1·5310	1·6836	...	...	...
H	1·5328	1·6886	1·3431	1·7090	1·3751

Числа первыхъ двухъ столбовъ определены д-ромъ Гопкинсономъ, числа послѣднихъ трехъ—гг. Гладстономъ и Дэлемъ. Показатель преломленія воздуха для свѣта, близкаго къ линіи E, есть 1·000294.

разница скоростей краснаго свѣта A и фиолетового свѣта H доходитъ въ двухъристомъ углеродѣ до  $\frac{1}{17}$ ; въ плотномъ флинт-гласѣ, приблизительно, до  $\frac{1}{30}$ , въ твердомъ кронгласѣ—до  $\frac{1}{73}$  а въ водѣ и алкоголь немного болѣе, чѣмъ до  $\frac{1}{100}$ . Слѣдовательно, ни одно изъ этихъ веществъ не можетъ имѣть въ

длинъ волны даже 20 молекулъ, если объяснять дисперсію по неизмѣнной теоріи Коши; обращаясь назадъ къ небольшой таблицѣ (таблица II, стр. 129) вычисленныхъ результатовъ, вы увидите, что въ длину волны фіолетового свѣта въ водѣ или алкоголь не могло бы быть болѣе 12 молекулъ; скажемъ, 10—въ твердомъ кронгласѣ; 8—въ флинтглазѣ, а въ двухстѣрнистомъ углеродѣ, дѣйствительно, не могло бы быть болѣе 4 молекулъ въ длину волны, если бы намъ пришлось для объясненія дисперсіи разсчитывать только на неизмѣнную теорію Коши. Совершенно невозможно допустить столь сильную крупнозернистость обыкновенныхъ прозрачныхъ, твердыхъ или жидкихъ, тѣль. Прежде, чѣмъ закончить, я намѣреваюсь показать вамъ на основаніи кинетической теоріи газовъ *высший предѣлъ* величины молекулъ, соотвѣтственно которому въ стеклѣ или въ водѣ, вѣроятно, на длину волны приходится что нибудь вродѣ 600 молекулъ и, почти навѣрно, *не менѣе* 200, или 300, или 400. Но даже, безъ всяаго такого опредѣленного указанія высшаго предѣла величины молекулъ, есть много доводовъ противъ допущенія вѣроятности или возможности того, что на длину волны можетъ приходиться всего четыре, или пять, или шесть молекулъ. Одно проведеніе Нобертомъ 4,000 линій на протяженіи одного миллиметра,—или 40,000, если рас считать на сантиметръ,—или около двухъ на длину волны въ эфирѣ голубого (F) свѣта<sup>1)</sup>, служить, уже, повидимому, совершеннымъ отрицаніемъ идеи о какой либо возможности того, чтобы на длину волны приходилось всего пять-шесть молекулъ,—если бы мы даже не должны были объявить себя противниками этой идеи изъ-за теоріи и наблюденій отраженія свѣта отъ полированныхъ поверхностей.

<sup>1)</sup> Лошмидтъ, приводящій это изъ отчета отдѣла Таможеннаго съѣзда Лондонской Международной Выставки 1862 года, стр. 83<sup>2)</sup> и изъ книги Гартинга «On the Microscope», стр. 881,—*Sitzungsberichte der Wiener Akademie Math. Phys.* 1865, т. III. (Прим. автора).

<sup>2)</sup> Special Kat. der Ausstellung des Zollvereins in der Londoner Austellung 1862 p. 83 und Harting, das Microscop, übersetzt von Theile, p. 881 (Sitz. Wien. Akad., 3, прим. на стр. 405). (Прим. перев.).

Мы должны, слѣдовательно, найти другое объясненіе дисперсіи,—и я думаю, что есть другое объясненіе. Я думаю, что мы, оставляя въ сторонѣ неизмѣнную теорію Коши, найдемъ, что тѣ же самыя общія основанія остаются приложимыми, и что, представляя себѣ, что каждая молекула является отягощенной нѣкоторымъ опредѣленнымъ образомъ, упругими связями съ болѣе тяжелой матеріей,—представляя, что каждая молекула эфира, въ осязаемой прозрачной матеріи, имѣть, такъ сказать, небольшую бахрому изъ частицъ, которая по своимъ размѣрамъ становится все больше и больше по мѣрѣ удаленія отъ молекулы и соединены съ нею упругими связями,—мы получимъ грубое механическое объясненіе, осуществимое при помощи очень не труднаго добавленія соответственныхъ приспособленій къ находящимся передъ вами динамическими моделямъ,—приспособленій, которая служили бы для объясненія свѣторазсѣянія преломленіемъ въ безконечно-мелко зернистомъ строеніи. Не прошло еще семнадцати часовъ съ того времени, какъ я усмотрѣлъ возможность такого объясненія. мнѣ кажется, что я ее ясно вижу теперь, но вы простите мнѣ, что я не вхожу глубже въ эту теорію при этихъ обстоятельствахъ<sup>1)</sup>. Эта трудность въ теоріи Коши тяжело давила меня, когда я обдумывалъ изложеніе передъ вами этого предмета. Я не могъ изложить его вамъ и сказать, что въ длину волны находится всего четыре частицы, и я не могъ изложить его вамъ, не сказавъ, что есть другое объясненіе. Я думаю, что другое объясненіе получится несомнѣнно, если итти по тому пути, который я слегка намѣтилъ.

Взгляните теперь на это красивое распределеніе цвѣтовъ

<sup>1)</sup> Дальнѣйша изслѣдованія, мнѣ кажется, подтвердили это первое впечатлѣніе, и въ мемуарѣ «О динамической теоріи дисперсіи» (On the Dynamical Theory of Dispersion), прочитанномъ передъ Королевскимъ Эдинбургскимъ Обществомъ 5 марта<sup>2)</sup> я далъ математическія изысканія по этому вопросу.—В. Т. 16 Марта 1883.

(Прим. автора).

<sup>2)</sup> Въ Proc. Roy. Soc. Edin., 12, № 114, 128, содержится только заглавіе этого мемуара (Прим. перев.).

на экранъ передъ вами. Это—дифракціонные спектры отъ ку-  
сочка стекла, разграфленного 2000-ами линій въ одномъ дюймѣ.  
Взгляните снова,—вы видите одинъ дифракціонный спектръ,  
получаемый отраженiemъ отъ одной изъ Рутерфордовскихъ  
рѣшетокъ, у которой на полированномъ зеркальномъ металлѣ  
находится 17,000 линій въ одномъ дюймѣ. Объясненіе «интерфе-  
ренціей» является одинаковымъ, по существу, съ тѣмъ, которое  
волновая теорія даетъ для Ньютоновыхъ колецъ свѣта, отра-  
женного отъ двухъ поверхностей,—кольцо, которымъ вы уже  
видѣли. Въ тѣхъ мѣстахъ, въ которыхъ свѣтовыя волны, исходя-  
щія изъ отверстій между послѣдовательными полосками рѣ-  
шетки, достигаютъ экрана въ одинаковыхъ фазахъ, онъ про-  
изводятъ свѣтъ; — а въ тѣхъ мѣстахъ, где онъ находится въ  
противоположныхъ фазахъ, онъ производятъ темноту.

Красивые цвѣты, которые получаются, зависятъ отъ того,  
что мѣста на экранѣ, где колебанія помогаютъ и препятству-  
ютъ другъ другу, различны для свѣтовыхъ волнъ различныхъ  
длинъ волнъ; и именно изъ измѣреній размѣровъ дифракціон-  
наго спектра,—такого, какъ тотъ, который вы видѣли сперва  
(или же болѣе мелкихъ спектровъ, отъ болѣе грубыхъ рѣше-  
токъ),—Фраунгоферъ опредѣлилъ впервые длины волнъ раз-  
личныхъ цвѣтовъ.

Благодаря д-ру Тиндаллю, я могу теперь показать вамъ  
въ высшей степени красивый и интересный опытъ, тѣсно со-  
прикасающійся съ вопросомъ о величинѣ атомовъ,—искус-  
ственное «голубое небо», производимое удивительнейшимъ, от-  
крытымъ Тиндаллемъ, дѣйствиемъ свѣта на матерію. У насъ здѣсь  
пустая стеклянная трубка,—она «оптически пуста». Пучекъ эле-  
ктрическаго свѣта проходитъ теперь черезъ нее,—вы не видите  
ничего. Теперь мы прекращаемъ доступъ свѣту и впускаемъ  
въ эту трубку пары сѣристаго углерода. Теперь туда вве-  
дено немнога этихъ паровъ до давленія дюйма въ три,—а так-  
же введенъ, въ количествѣ, соотвѣтствующемъ 15 дюймамъ<sup>1)</sup>  
давленія, воздухъ, напитанный небольшимъ количествомъ азот-

ной кислотой, такъ что все вмѣстѣ составляетъ немного менѣе  
атмосфернаго давленія. Здѣсь надо обнаружить присутствіе мо-  
лекулъ веществъ, получающихся отъ разложенія сѣристаго  
углерода свѣтомъ. Въ настоящую минуту вы ничего не видите въ  
трубкѣ; она все еще продолжаетъ бытъ, какъ и до впусканія па-  
ровъ, оптически прозрачной: но постепенно вы начнете видѣть  
прелестное голубое облачко. Это и есть «голубое небо» Тиндалля.  
Теперь вы видите его. Я беру Николеву призму и, глядя черезъ  
нее, нахожу, что лазуревый свѣтъ, исходящій отъ паровъ въ ка-  
комъ нибудь направленіи, перпендикулярномъ къ возбуждаю-  
щему пучку свѣта, почти вполнѣ поляризованъ въ плоскости  
проходящей черезъ мой глазъ и возбуждающій пучекъ. Онъ  
состоитъ изъ свѣтовыхъ колебаній въ одномъ опредѣленномъ  
направленіи и этимъ направленіемъ,—какъ окончательно доказано  
(въ чёмъ, по моему мнѣнію, не можетъ быть никакого  
сомнѣнія) профессоромъ Стоксомъ, на основаніи обсужденія  
этого явленія поляризациіи<sup>1)</sup>, которое онъ наблюдалъ при раз-

<sup>1)</sup> Извлеченіе изъ мемуара профессора Стокса «Объ измѣненіи пре-  
ломляемости свѣта» (On the Change of Refrangibility of Light), прочи-  
танаго передъ Королевскимъ Обществомъ 27 мая 1852 г. и напечата-  
наго въ Трудахъ его подъ тѣмъ же числомъ<sup>2)</sup>.

<sup>2)</sup> § 184. Эта результатъ мнѣ кажется тѣсно связаннымъ съ вопро-  
сомъ о направленіяхъ колебанія въ поляризованномъ свѣтѣ. До тѣхъ  
поръ, пока подвѣшенныя частики велики въ сравненіи съ длинами  
волны, отраженіе происходитъ такъ, какъ оно происходило бы отъ  
части поверхности погруженаго въ жидкость твердаго тѣла большихъ  
размѣровъ и нельзя вывести, тѣмъ или инымъ путемъ, никакихъ заклю-  
ченій. Но, если диаметры частицъ малы по сравненію съ длиною волны  
свѣта, то кажется яснымъ, что колебанія въ отраженномъ лучѣ не  
могутъ быть перпендикулярны къ колебаніямъ въ падающемъ лучѣ.  
Положимъ на время, что, въ случаѣ дѣйствительно наблюдавшихся  
пучковъ свѣта, подвѣшенныя частицы были малы въ сравненіи съ дли-  
ною волны свѣта. Наблюденіе показало, что отраженный лучъ былъ по-  
ляризованъ. Но всѣ явленія, представляемыя лучемъ, поляризованнымъ  
въ плоскости, симметричны по отношенію къ падающему лучу. Слѣдо-  
вательно, мы должны для направленія колебаній въ отраженномъ лучѣ сдѣ-  
лать выборъ между двумя направленіями, а именно: направленіемъ падаю-  
щаго луча и направленіемъ, перпендикулярнымъ къ обоимъ лучамъ, па-

<sup>1)</sup> 3 и 15 дюймовъ=7·6 и 38 сантиметрамъ. (Прим. перев.).

<sup>2)</sup> Trans. Roy. Soc. 142, 463—562.

(Прим. перев.).

личныхъ расположенияхъ опытовъ, дававшимъ ему разсѣянныя по прозрачной средѣ мельчайшія твердыя или жидкія частицы,— этимъ направлениемъ должно быть направленіе, перпендикулярное къ плоскости поляризациі.

То, что вы сейчасъ увидите, и то, что, какъ я говорилъ вамъ, я видѣлъ черезъ Николеву призму, происходит отъ того, что я могъ бы назвать вторичными или производными волнами свѣта, расходящимися отъ мельчайшихъ жидкихъ шариковъ, сгустившихъ вслѣдствіе химического разлагающаго вліянія, производимаго пучкомъ свѣта на матерію, которая заключается въ трубкѣ и которая была вся газообразной, когда свѣтъ былъ пропущенъ первый разъ.

Чтобы уразумѣть эти производныя волны, вы должны сначала смотрѣть на нихъ, какъ на волны, происходящія отъ движенія эфира вокругъ каждого шарика, причемъ самый шарикъ почти безусловно неподвиженъ, потому что его плотность значительно больше плотности окружающаго его эфира. Можно смотрѣть на движеніе, которымъ обладалъ эфиръ въ силу одного только возбуждающаго луча свѣта, когда еще шарики не начали своего существованія, какъ на соединяющееся съ отно-

дающему и отраженному. Первое было бы по необходимости перпендикулярно къ направлениямъ колебаній въ падающемъ лучѣ и потому мы принуждены выбрать послѣднее и, слѣдовательно, предположить, что колебанія въ плоскополяризованномъ свѣтѣ перпендикулярны къ плоскости поляризациі,— разъ опытъ показываетъ, что плоскость поляризациі въ отраженномъ лучѣ есть плоскость отраженія. Согласно съ этой теоріей, если мы разложимъ колебанія въ [горизонтальномъ] падающемъ лучѣ на горизонтальные и вертикальные, разложенныя части будуть соотвѣтствовать двумъ лучамъ, поляризованнымъ соотвѣтственно въ плоскости отраженія и перпендикулярно къ ней,— лучамъ, на которые можно считать раздѣляющимися падающей лучъ,— и изъ этихъ лучей только первый способенъ дать..... лучъ, отраженный вертикально вверхъ [чтобы быть видимымъ глазомъ, помѣщеннымъ надъ линіей падающаго луча и смотрящимъ вертикально внизъ]. И, на самомъ дѣлѣ, опытъ показываетъ, что для того, чтобы погасить разсѣянный пучокъ, достаточно,—вместо того, чтобы анализировать отраженный свѣтъ,— поляризовать падающей свѣтъ въ плоскости, перпендикулярной къ плоскости отраженія»

(Прим. автора).

сительнымъ движеніемъ эфира относительно каждого шарика, чтобы произвести полное составное движеніе, испытываемое эфиромъ, когда пучокъ свѣта проходитъ вдоль трубы и виденъ лазуревый свѣтъ, исходящій отъ нея въ стороны. Но это второе составляющее движеніе есть, очевидно, то же самое, какимъ было бы полное движеніе эфира, если бы возбуждающій свѣтъ былъ уничтоженъ, а каждый шарикъ продолжалъ совершать колебанія противоположнаго направленія, туда и назадъ, съ тою же самой амплитудой, какую имѣлъ на его мѣстѣ эфиръ, въ силу возбуждающаго свѣта, тогда, когда шарика тамъ не было.

Предположимъ теперь, на минуту, что поддерживаются, совсѣмъ безъ всякаго возбуждающаго пучка, колебанія съ очень небольшими амплитудами, параллельными одной линіи<sup>1)</sup>, большого числа мельчайшихъ частицъ. Если вы помѣстите

<sup>1)</sup> Динамика этого вопроса,—и въ частности движеніе эфира, производимое тѣмъ, что поддерживаются колебанія туда и назадъ по прямой линіи одного шарика, помѣщенного въ него,—разбирается въ частяхъ (a) и (d) слѣдующаго вопроса, предложенного на послѣднемъ экзаменѣ на премію Сміса (Smith's Prize Examination) въ Кэмбриджѣ (Cambridge University Calendar for 1883, номеръ отъ вторника 30 янв. 1883 г.).

«8. (a). Исходя изъ извѣстнаго явленія, что свѣтъ безоблачнаго голубого неба, рассматриваемаго въ любомъ направленіи, перпендикулярномъ къ направленію солнца, почти вполнѣ поляризованъ въ плоскости, проходящей черезъ солнце, и принимая, что этотъ свѣтъ зависитъ отъ присутствія частицъ матеріи съ діаметрами, малыми по сравненію съ длиною волны свѣта, доказать, что направленіе колебаній плоско-поляризованного свѣта перпендикулярно къ плоскости поляризациі».

«(b). Показать, что уравненія движенія однороднаго изотропнаго упругаго твердаго тѣла, плотность котораго единица, суть

$$\begin{aligned}\frac{d^2\alpha}{dt^2} &= (k + \frac{1}{3} n) \frac{d\ddot{\alpha}}{dx} + n \nabla^2 \alpha, \\ \frac{d^2\beta}{dt^2} &= (k + \frac{1}{3} n) \frac{d\ddot{\beta}}{dy} + n \nabla^2 \beta, \\ \frac{d^2\gamma}{dt^2} &= (k + \frac{1}{3} n) \frac{d\ddot{\gamma}}{dz} + n \nabla^2 \gamma,\end{aligned}$$

гдѣ  $k$  обозначаетъ коэффициентъ сопротивленія сжатію;  $n$ —коэффициентъ крѣпости;  $\alpha, \beta, \gamma$ ,—составляющія перемѣщенія въ точкѣ  $(x, y, z)$  и

вашъ глазъ въ плоскости, проходящей черезъ длину трубы и перпендикулярной къ этой линіи, то вы увидите свѣтъ отъ всѣхъ частей трубы, и этотъ свѣтъ будетъ состоять изъ колебаній, параллельныхъ этой линіи. Но, если вы помѣстите вашъ глазъ на линіи колебанія одного изъ шариковъ, расположенныхъ близъ середины трубы, то вы не будете видѣть свѣта въ этомъ направлениі; но если, оставляя вашъ глазъ въ томъ же самомъ положеніи, вы посмотрите подъ угломъ на тотъ или другой конецъ трубы, то вы увидите свѣтъ, переходящій въ темноту по мѣрѣ того, какъ вы переводите свой взглядъ съ этого или другого конца трубы къ серединѣ ея. Отсюда слѣдуетъ,

$$\delta = \frac{d\alpha}{dx} + \frac{d\beta}{dy} + \frac{d\gamma}{dz},$$

$$\nabla^2 = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}.$$

«(c). Показать, что всякое возможное рѣшеніе заключается въ слѣдующемъ:

$$\alpha = \frac{d\varphi}{dx} + u, \beta = \frac{d\varphi}{dy} + v, \gamma = \frac{d\varphi}{dz} + w,$$

гдѣ  $u, v, w$  таковы, что

$$\frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} = 0.$$

Найти дифференціальныя уравненія для опредѣленія  $\varphi, u, v, w$ . Найти соответственныя скорости волнъ для рѣшенія  $\varphi$  и для рѣшенія  $(u, v, w)$ .

«(d). Доказать, что слѣдующія далѣе величины суть рѣшенія и истолковать каждое изъ нихъ для значеній  $r \left[= \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}\right]$ , очень

большихъ въ сравненіи съ  $\lambda$  (длиною волны).

$$(1) \begin{cases} \alpha = \frac{d\varphi}{dx}, \beta = \frac{d\varphi}{dy}, \gamma = \frac{d\varphi}{dz}, \\ \text{гдѣ } \varphi = \frac{1}{r} \sin \frac{2\pi}{\lambda} (r - t \sqrt{k + \frac{4}{3} n}). \end{cases}$$

$$(2) \begin{cases} \alpha = 0, \beta = -\frac{d\psi}{dz}, \gamma = \frac{d\psi}{dy}, \\ \text{гдѣ } \psi = \frac{1}{r} \sin \frac{2\pi}{\gamma} (r - t \sqrt{n}). \end{cases}$$

$$(3) \alpha = \left(\frac{2\pi}{\lambda}\right)^2 \psi + \frac{d^2\psi}{dx^2}, \beta = \frac{d^2\psi}{dx dy}, \gamma = \frac{d^2\psi}{dx dz}.$$

(Прим. автора)

дуетъ, что, если возбуждающій пучокъ будетъ состоять изъ плоско-поляризованного свѣта,—т. е. свѣта, всѣ колебанія котораго параллельны одной линіи,—и если посмотрите на трубку въ направлениі, перпендикулярномъ къ этой линіи и къ длине трубы, то вы увидите свѣтъ, колебанія котораго будутъ параллельны этой самой линіи. Но, если вы посмотрите на трубку въ какомъ либо направлениі, параллельномъ этой линіи, то вы не увидите свѣта,—а линія, вдоль которой вы не видите свѣта, есть направление колебаній въ возбуждающемъ пучкѣ; и это направление, какъ вы теперь видите, есть направление, перпендикулярное къ тому, что въ техническомъ языке называется плоскостью поляризациіи свѣта. Слѣдовательно, вотъ у васъ *experimentum crucis* Стокса, которымъ онъ отвѣтилъ,—по моему мнѣнію, вѣвъ всякихъ сомнѣній,—на старый спорный вопросъ: *перпендикулярно* ли колебаніе *къ* плоскости поляризациіи или происходитъ *въ* ней? Чтобы показать вамъ этотъ опытъ, я, вмѣсто того, чтобы употребить для возбуждающего пучка неполяризованный свѣтъ, какъ въ предыдущемъ опытѣ, и держать въ своей рукѣ Николеву призму и говорить вамъ, что я вижу, когда я смотрю черезъ нее,—я помѣщаю,—это уже сдѣлано теперь,—этую большую Николеву призму на пути этого пучка свѣта передъ тѣмъ, какъ онъ входитъ въ трубку. Я поворачиваю теперь около оси эту Николеву призму и затѣмъ вращаю весь приборъ такъ, что вы всѣ, сидя во всѣхъ частяхъ амфитеатра, можете увидѣть трубку въ томъ направлениі, которое нужно для того, чтобы послѣдовательно получились въ ней явленія «свѣта» и «отсутствія свѣта». Вы видите теперь, что эти явленія вполнѣ соответствуютъ тому описанію ихъ, которое я предварительно далъ вамъ. Еслиъ каждый изъ васъ имѣлъ въ рукѣ николеву призму, то вы бы узнали, что, когда вы видите свѣтъ полностью, то его плоскость поляризациіи находится въ плоскости, проходящей черезъ вашъ глазъ и ось трубы; и я надѣюсь, вы всѣ теперь совершенно понимаете доказательство того, что направление колебаній перпендикулярно плоскости поляризациіи.

Теперь я хочу изложить вамъ нѣчто, что уже давно было со-

общено мнѣ профессоромъ Стоксомъ: каждый годъ я просилъ его напечатать это, но онъ этого не сдѣлалъ, и потому я по-просилъ у него позволенія разскажать вамъ про это сегодня вечеромъ. Это—механическое объясненіе того удивительного явленія, которое называется флуоресценціей или фосфоресценціей. Принципъ, на которомъ основано объясненіе, изображается механически этой моделью (описанною выше по поводу рис. 34, стр. 110—111). Моя рука, какъ вы теперь видите, поддерживаетъ въ самомъ верхнемъ стержнѣ простое гармоническое движение съ периодомъ секунды въ четыре. Вы видите, что правильное волнобразное движение распространяется внизъ по линіи молекулъ, изображаемыхъ этими круглыми дисками на концахъ стержней, и энергія, непрерывно сообщаемая моей рукой верхнему стержню, непрерывно поглощается находящимся внизу соудомъ съ патокой и водой и превращается въ немъ въ тепло. Теперь я отнимаю свою руку и предоставляю всю систему самой себѣ. Очень значительное количество кинетической и потенциальной энергіи, которымъ обладаютъ эти большія массы и спиральные пружины, прикрепленныя къ верхнему стержню, постепенно расходуется на посланіе внизъ по линіи ряда затихающихъ волнъ и, въ концѣ концовъ, превращается въ тепло въ патокѣ и водѣ. Вы видите, что въ полминуты потерялось около половины амплитуды колебанія, а слѣдовательно около трехъ четвертей энергіи.

Вы увидите, насколько отличается отъ этого тотъ результатъ, который получится при ускореніи колебаній. Скорые колебанія, которыя я сообщаю теперь верхнему стержню (періодъ доведенъ до секундъ полутора), не въ состояніи послать волны вдоль линіи молекулъ; вотъ эти-то быстрыя колебанія частицъ и составляютъ, по Стоксу, скрытый или запасенный свѣтъ (см. рис. 42). Замѣтьте теперь, что, когда я отнимаю руку отъ верхняго стержня, то, такъ какъ волны не распространяются внизъ по ряду, въ патокѣ не расходуется энергія и колебанія будутъ продолжаться вѣчно (или, чтобы быть болѣе точными, скажемъ, одну минуту), какъ вы видите, *безъ всякой потери* (или, чтобы мои слова были въполномъ согласии съ

тѣмъ, что мы видимъ, позвольте мнѣ сказать: почти безъ всякой замѣтной потери). Это есть механическая модель, правильно

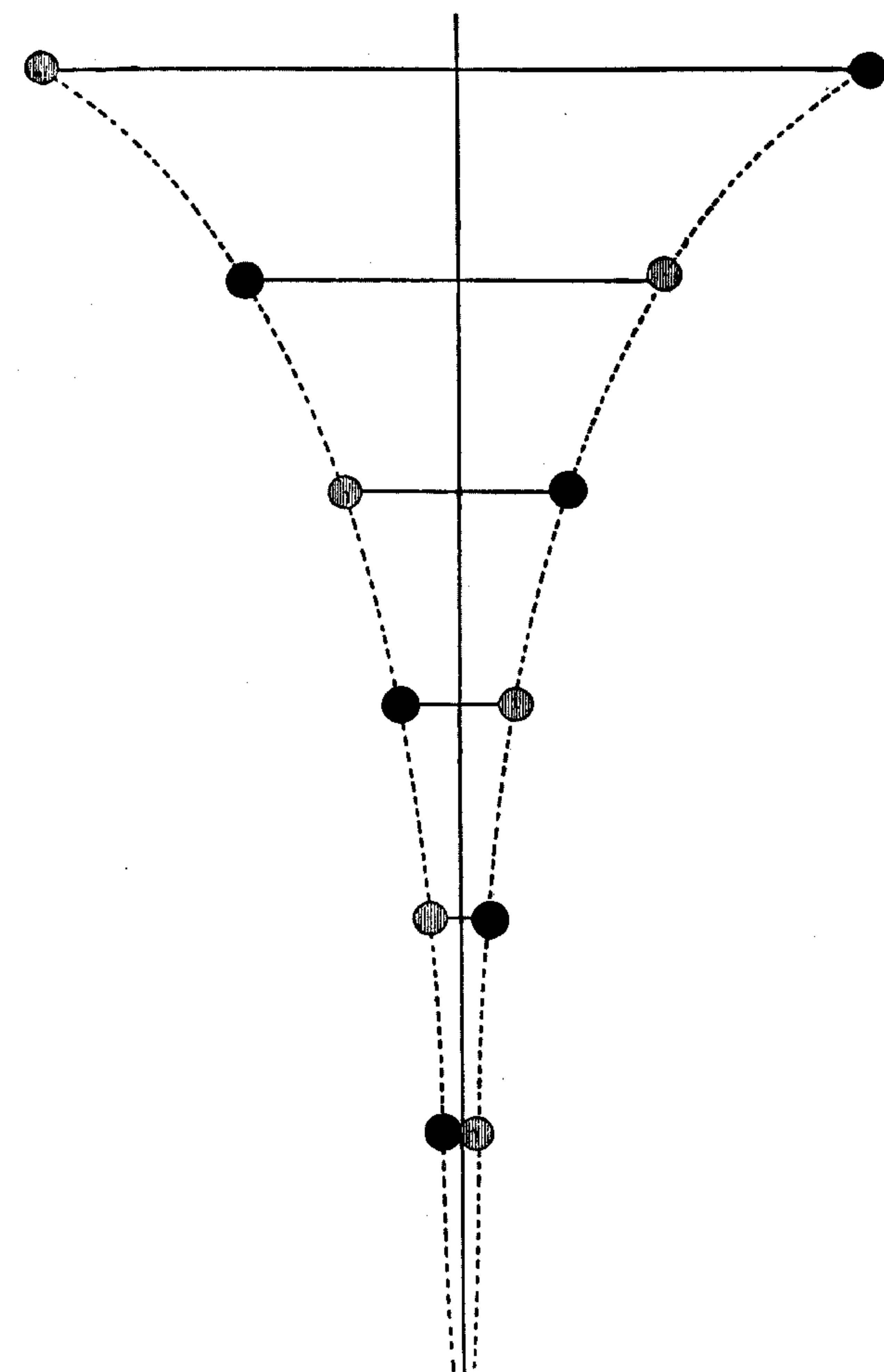


Рис. 42. Чертежъ, показывающій различныя амплитуды колебанія ряда частицъ, колеблющихся съ періодомъ, меньшимъ, чѣмъ ихъ крайній періодъ колебанія волною.

илюстрирующая механическое основаніе Стоксовскаго объясненія фосфоресценціи или запасеннаго свѣта,—запасеннаго, какъ

въ этой теперь общеизвестной свѣщающейся краскѣ, дѣйствіе которой вы видите на этомъ образчикѣ, и въ находящихся въ этихъ стеклянныхъ трубкахъ фосфоресцирующихъ сѣрнистыхъ соединеніяхъ кальція, любезно одолженныхъ мнѣ г. Де Ла Рю. (Показанъ опытъ).

Теперь я покажу вамъ Стоксовское явленіе *флуоресценціи* въ кускѣ урановаго стекла. Я держу его въ пучкѣ свѣта отъ электрической лампы, разсѣваемаго, какъ вы видите, призмой. Вы видите, что урановое стекло становится видимымъ, — будучи освѣщено невидимыми лучами. Лучи, которые дѣлаютъ его свѣщающимся даже прежде, чѣмъ оно войдетъ въ видимые лучи, суть, очевидно, лучи невидимые, — поскольку экранъ, воспринимающій спектръ, можетъ служить для испытанія видимости; ибо урановое стекло и мои руки, держащія его, не отбрасываютъ тѣни на экранъ. И вы видите урановое стекло, которое я держу въ рукѣ въ ультра-фиолетовомъ свѣтѣ, — между тѣмъ, какъ вы не видите моей руки. Я теперь подношу стекло ближе къ тому мѣstu, гдѣ вы видите воздухъ (или, вѣрѣте, пыль въ немъ), освѣщенный фиолетовымъ свѣтомъ: все еще нѣть тѣни на экранѣ, но урановое стекло въ моей рукѣ свѣтится теперь ярче своимъ зеленымъ свѣтомъ очень смѣшанного состава, состоящимъ изъ волнъ съ періодами, болѣе длинными, чѣмъ періодъ ультра-фиолетового свѣта, — изъ волнъ, испускать которыя побуждаетъ частицы уранового стекла падающей свѣтѣ, имѣющей болѣе короткій періодъ, чѣмъ періодъ фиолетового свѣта. Этотъ цвѣтъ вполнѣ неполяризованъ. Вотъ это безусловное отсутствіе поляризациіи фактъ, что его періоды всѣ меныше періодовъ возбуждающаго свѣта, и побудили Стокса отличать то освѣщеніе, которое вы видите въ урановомъ стеклѣ<sup>1)</sup>, отъ простого молеку-

<sup>1)</sup> То же самое явленіе можно великолѣпно наблюдать въ сѣрнокисломъ хининѣ. Можно сдѣлать интересный опытъ, написавъ на экранѣ изъ бѣлой бумаги что нибудь пальцемъ или кистью, обмокнутой въ растворъ сѣрнокислаго хинина. Написанное совершенно незамѣтно въ обыкновенномъ свѣтѣ; но, если откинуть на экранъ призматический спектръ, — такъ, чтобы ультра-фиолетовый невидимый свѣтъ падалъ на ту часть, на

лярнаго освѣщенія, дающаго свѣтъ (всегда, если не вполнѣ, то частью поляризованный, и всегда того же самаго периода, какъ и свѣтъ, возбуждающій явленіе), который мы видѣли раньше въ опытѣ д-ра Тиндалля.

Стоксъ далъ этому свѣченію свѣтомъ съ болѣшимъ періодомъ, чѣмъ возбуждающій свѣтъ, название флуоресценціи, потому что оно наблюдалось въ флуориатѣ<sup>1)</sup>, а онъ желалъ избѣжать всякой гипотезы при выборѣ названія. Онъ выставилъ на видъ сильное сходство между этимъ свѣченіемъ и давно уже известнымъ явленіемъ фосфоресценціи; но онъ нашелъ между этими двумя явленіями нѣсколько кажущихся различій, которая помѣшали ему прійти къ заключенію, что флуоресценція есть, въ дѣйствительности, частный случай фосфоресценціи.

которой было написано сѣрнокислымъ хининомъ, — то написанное сдѣлается видимымъ и будетъ свѣтиться голубоватымъ свѣтомъ, а кругомъ останется темнота. Это явленіе, представляемое сѣрнокислымъ хининомъ и многими другими растительными растворами, нѣкоторыми минералами, какъ, напримѣръ, плавиковымъ шпатомъ, и различными цвѣтными стеклами, какъ желтое богемское стекло, называемое въ торговлѣ «canary glass» (дающее разсѣянный зеленоватый свѣтъ), было открыто сэромъ Дэвидомъ Брюстеромъ [Труды Королевскаго Эдинбургскаго Общества, 1833, и Британской Ассоціації, 1838<sup>2)</sup>] и изучено сэромъ Джономъ Гершелемъ и названо имъ «эпиполической дисперсіей» [Phil. Trans., 1845]. Полное опытное изслѣдованіе этого явленія, показывающее, что собственно такое наблюдало предшествующіе наблюдатели, и объясняющее многія особенно таинственные вещи, которыя они замѣтили, было произведено Стоксомъ и описано имъ въ его мемуарѣ «Объ измѣненіи способности преломленія свѣта» [Phil. Trans., 27 Мая, 1852]. (Прим. автора).

<sup>1)</sup> Плавиковый шпатъ.

(Прим. перев.).

<sup>2)</sup> Brewster, *On the Colours of Natural Bodies*. (О цвѣтахъ естественныхъ тѣлъ), Trans. Roy. Soc. Edin., 12, 538—545, 1834 и Rep. Brit. Ass., 7, 10; Herschel, *On a Case of Superficial Colour presented by a Homogeneous Liquid internally Colourless* (о случаѣ поверхностнаго цвѣта, представляемаго однородной жидкостью, внутри безцвѣтной) и *On the Epipolic Dispersion of Light* (Объ эпиполической дисперсіи свѣта). Phil. Trans. Roy. Soc., 145 и 147, 1845; Stokes, *On the Change of Refrangibility of Light* Phil. Trans. Roy. Soc. 142, 463—562, 1852.

(Прим. перев.).

Сравнивая эти два явленія (параграфы 221—225 его мемуара 1852 года), Стокъ говорить слѣдующее: «но гораздо болѣе поразительный контрастъ между этими двумя явленіями состоить въ мгновенномъ, повидимому, возникновеніи и прекращеніи свѣченія, какъ только допускается или задерживается свѣть, вызывающій внутреннее свѣторазсѣяніе. Нѣть ничего такого, чтѣ заставляло бы подозрѣвать какую либо замѣтную продолжительность подобнаго явленія. Когда внутренняя дисперсія вызывается при посредствѣ электрической искры, то она кажется столь же мгновенной, какъ освѣщеніе ландшафта молніей. Я не пробовалъ опредѣлить, можно ли открыть какую либо замѣтную продолжительность этого явленія при посредствѣ вращающагося зеркала». Изслѣдованіе, о которомъ упомянуто сейчасъ, было на самомъ дѣлѣ произведено Эдмондомъ Бэkkerелемъ, и на вопросъ,—имѣеть ли какую нибудь замѣтную продолжительность свѣченіе флуоресценціи,—дала положительный отвѣтъ эта прекрасная и простая маленькая находящаяся передъ вами машинка, которую Бэkkerель изобрѣлъ для этой цѣли. Опытъ, дающій отвѣтъ на поставленный вопросъ, въ высшей степени интересенъ, и я увѣренъ, вы посмотрите на него съ удовольствіемъ. Приборъ состоить изъ плоской круглой коробки съ двумя приходящимися другъ противъ друга отверстіями, сдѣланными въ двухъ основаніяхъ коробки недалеко отъ окружности; внутри коробки находятся два диска, укрепленные на быстро вращающейся оси, при помощи которыхъ отверстія поперемѣнно закрываются и открываются, причемъ одно отверстіе бываетъ открыто, когда другое закрыто, и обратно. Небольшой кусокъ уранового стекла помѣщенъ внутри коробки между двумя отверстіями и пучекъ свѣта отъ электрической лампы падаетъ на одно изъ этихъ отверстій. Вы же смотрите въ другое.

Теперь, когда я врашаю ось медленно, вы не видите ничего. Въ этотъ моментъ свѣтъ падаетъ на урановое стекло чрезъ открытое отверстіе, которое находится позади отъ васъ, но вы не видите ничего, потому что ближайшее къ вамъ отверстіе закрыто. Теперь ближайшее къ вамъ отверстіе открыто,

но вы не видите ничего, потому что отверстіе, ближайшее къ свѣту, закрыто, и урановое стекло не обнаруживаетъ замѣтнаго послѣсвѣченія, которое являлось бы вслѣдствіе предшествующаго освѣщенія его. Это вполнѣ согласуется съ тѣмъ, что вы видѣли, когда я держалъ большую плитку уранового стекла въ ультра-фioletовой части призматического спектра. Пока я держалъ урановое стекло тамъ, вы видѣли, что оно свѣтилось, — въ то мгновеніе, когда я его выводилъ изъ невидимаго свѣта, оно переставало свѣтиться. То, что мы понимали тамъ подъ «мгновеніемъ», могло быть десятой долей секунды. Если бы урановое стекло продолжало тогда замѣтно свѣтиться втечение двадцатой или пятидесяти доли секунды, то нашему запаздывающему чувству зрѣнія казалось бы, что свѣченіе прекратилось въ то мгновеніе, когда стекло было выведено. Теперь я вращаю колесо съ такою скоростью, чтобы отверстіе, находящееся передъ вами, открывалось, приблизительно, черезъ одну пятидесятую секунды послѣ того, какъ урановое стекло окунулось въ свѣть, — вы все еще ничего не видите. Я вращаю колесо все быстрѣе и быстрѣе, и теперь стекло начинаетъ свѣтиться, — когда ближайшее къ вамъ отверстіе открывается, приблизительно, черезъ двухсотую секунды послѣ непосредственно предшествующаго допущенія свѣта черезъ другое отверстіе. Я вращаю его все быстрѣе и быстрѣе, и оно свѣтится все болѣе и болѣе ярко,—наконецъ, теперь, оно свѣтится, какъ до-красна накаленный уголь; дальнѣйшее увеличеніе скорости обнаруживаетъ, какъ вы видите, лишь небольшую разницу въ свѣченіи.

Такимъ образомъ, повидимому, флуоресценція есть то же самое, что и фосфоресценція; и можно ожидать, что будутъ найдены вещества, которые образуютъ собой мостъ надъ разницей въ качествахъ этого уранового стекла, которое свѣтится только нѣсколько тысячъ секунды, и свѣтящихся сѣрнистыхъ соединеній, которые свѣтятся часы, дни, недѣли, послѣ прекращенія возбуждающаго свѣта.

Я оставилъ на конецъ назначенаго мнѣ времени самый рѣшительный и вѣрный способъ опредѣленія величины ато-

мовъ,— способъ, основанный на кинетической теоріи газовъ. Вотъ чертежъ (рис. 43) скопища атомовъ или молекулъ, изображающій, въ масштабѣ въ 1,000,000 разъ большемъ, чѣмъ дѣйствительные размѣры, всѣ молекулы воздуха, центры которыхъ могутъ въ какой нибудь моментъ времени находиться въ пространствѣ квадрата, сторона котораго  $\frac{1}{10,000}$  сантиметра,

толщина— $\frac{1}{100,000,000}$  сантиметра. Сторона квадрата, который вы видите на чертежѣ, есть метръ и онъ изображаетъ собою  $\frac{1}{10,000}$  сантиметра. На чертежѣ показано ровно 100 молекулъ, что представляетъ  $\frac{1}{10,000}$  всего числа частицъ ( $10^6$ ), умѣщающихся въ кубѣ, имѣющемъ сторону въ  $\frac{1}{10,000}$  сантиметра, или всѣ молекулы въ слой его, толщиною въ  $\frac{1}{10,000}$  толщины всего куба. Представьте себѣ кубъ, наполненный частицами, подобными этимъ стекляннымъ шарамъ<sup>1)</sup>, разсѣянными по произволу въ пространствѣ, превосходящемъ въ 1000 разъ сумму ихъ объемовъ. Такое скопище можетъ быть уплотнено (точно такъ же, какъ можно уплотнить воздухъ) до  $\frac{1}{1000}$  своего объема, но такое уплотненіе приведетъ молекулы въ соприкосновеніе. Можно пред-

<sup>1)</sup> Приборъ, который былъ показанъ при этомъ, служилъ иллюстраціей столкновеній, происходящихъ между молекулами газообразного вещества, и диффузію одного газа въ другомъ. Онъ состоялъ изъ доски, приблизительно, въ одинъ квадратный метръ, въ которой было просверлено 100 отверстій въ десять рядовъ, по десяти отверстій въ каждомъ ряду. Изъ каждого отверстія висѣла веревка въ пять метровъ длиною. Къ нижнему концу каждой веревки въ пяти смежныхъ рядахъ былъ прикрепленъ окрашенный въ голубой цветъ стеклянныи шаръ въ четыре сантиметра діаметромъ,—подобнымъ же образомъ къ каждой веревкѣ другихъ пяти рядовъ былъ прикрепленъ шаръ, окрашенный въ красный цветъ и такихъ же размѣровъ. Отклоняли въ сторону шаръ изъ одного изъ виѣшнихъ рядовъ; когда его отпускали, то онъ врѣзывался внутрь другихъ, вызывая столкновенія на протяженіи всей плоскости, въ которой были расположены подвѣшенныи шары.

(Прим. автора).

ставить себѣ, что нѣчто, сравнимое съ этимъ, представляютъ условія обыкновенного воздуха при обыкновенной его плотности, какъ въ нашей атмосферѣ. Чертежъ этотъ (рис. 43), въ которомъ величина молекулъ, если бы изобразить ихъ въ надлежащемъ масштабѣ, была бы равна одному миллиметру, чтобы изобразить дѣйствительный діаметръ въ  $\frac{1}{10,000,000}$  сантиметра,—т. е. была

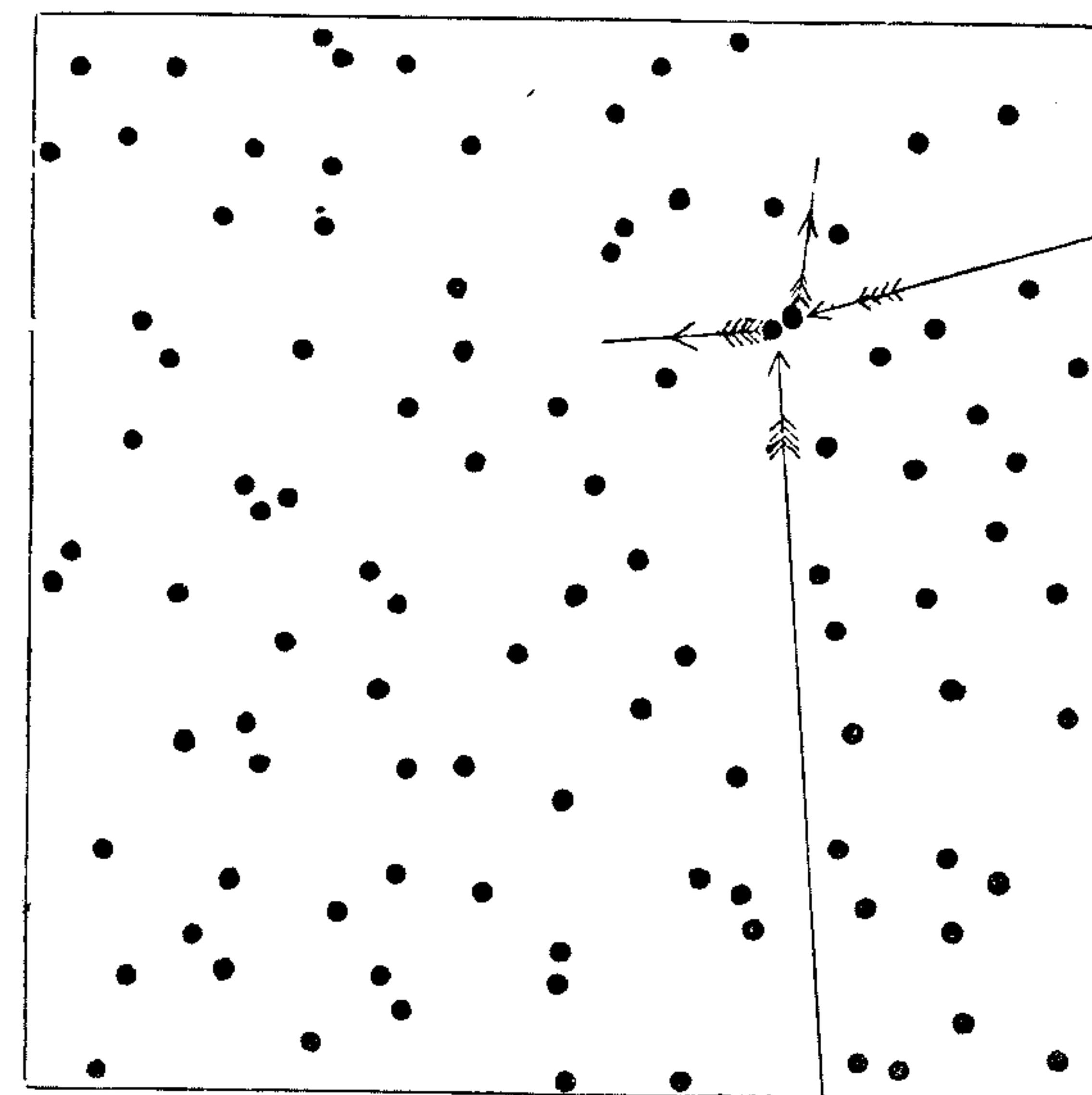


Рис. 43. Чертежъ, иллюстрирующій число молекулъ въ пространствѣ въ  $\frac{1}{10,000}$  сантиметра въ квадратѣ и въ  $\frac{1}{100,000,000}$  сантиметра толщиною<sup>1)</sup>.

бы слишкомъ мала, чтобы вы могли ее видѣть,—представляетъ газъ, въ которомъ сгущеніе въ  $\frac{1}{10}$  по длине или въ  $\frac{1}{1000}$  по объему привело бы молекулы въ полное соприкосновеніе.

<sup>1)</sup> Масштабъ рисунка въ книгу 75,000:1 (на лекціи было 1,000,000:1). Частицы въ  $\frac{1}{10,000,000}$  сантиметра діаметромъ (случай воздуха) должны были бы изобразиться точками въ 0·075 миллиметра діаметромъ; средняя длина свободного пути была бы 0·75 сантиметра. (Прим. перев.).

Теперь вамъ нужно представить себѣ эти частицы дви-  
гающимися по всѣмъ направленіямъ, при чёмъ каждая частица  
движется по прямой линіи, до тѣхъ поръ, пока не столкнется  
съ другой. Средняя длина свободного пути на нашемъ чер-  
тежѣ есть 10 сантиметровъ, что представляетъ въ дѣйстви-  
тельности  $\frac{1}{100,000}$  сантиметра. И чтобы согласовать это со слу-  
чаемъ атмосферного воздуха обыкновенной плотности и при  
обыкновенномъ давленіи, вы должны предположить, что дѣй-  
ствительная скорость каждой частицы равна 50,000 сантимет-  
ровъ въ секунду, откуда для средняго промежутка времени отъ  
столкновенія до столкновенія получается  $\frac{1}{5,000,000,000}$  секунды.

Время настолько ушло впередъ, что я не могу говорить  
о подробностяхъ этой превосходной кинетической теоріи; но я  
скажу только, что три пункта, изслѣдованные Максвеллемъ и  
Клаузіусомъ, а именно вязкость или отсутствіе совершенной  
текучести въ газахъ, диффузія газовъ одного въ другомъ и  
диффузія тепла черезъ газы,—всѣ они, будучи сопоставлены,  
служатъ для опредѣленія средней длины свободного пути мо-  
лекулы. Далѣе, красавая теорія Клаузіуса даетъ намъ воз-  
можность вычислить изъ средней длины свободного пути ве-  
личину атома. Это и сдѣлалъ Лошмидтъ <sup>1)</sup>, и я, идя, — самъ  
не зная того,—по его слѣдамъ, пришелъ къ тому же заклю-  
ченію—т. е. мы пришли къ безусловной увѣренности въ томъ,  
что размѣры молекулы воздуха представляются близкими къ  
тѣмъ, которыя я упомянулъ.

Четыре пути разсужденій, которые я теперь указалъ, ве-  
дутъ всѣ къ тому же самому, по существу, опредѣленію раз-  
мѣровъ молекулярнаго строенія. Они въ совокупности уста-  
навливаютъ — съ вѣроятностью, которую мы не можемъ раз-  
сматривать иначе, какъ очень высокую степень вѣроятности,—  
то заключеніе, что въ любой обыкновенной жидкости, прозрач-  
номъ твердомъ тѣлѣ или повидимому непрозрачномъ твердомъ

<sup>1)</sup> Sitzungsberichte Вѣнской Академіи, 12 Октября 1865 г., стр. 395.  
(Прим. автора).

тѣлѣ среднее разстояніе между центрами смежныхъ молекулъ  
менѣе  $\frac{1}{5,000,000}$  и болыше  $\frac{1}{1,000,000,000}$  сантиметра.

Чтобы составить себѣ нѣкоторое представление о томъ, на  
сколько крупна зернистость, указываемая этимъ заключеніемъ,  
вообразите, что шаръ, водяной или стеклянныи, величиною  
въ ножной мячъ <sup>1)</sup> [foot-ball <sup>2)</sup>] увеличился до размѣровъ  
земли, причемъ каждая изъ молекулъ, его составляющихъ, уве-  
личилась въ томъ же отношеніи. При такомъ увеличеніи этого  
шара его строеніе было бы болѣе крупно-зернисто, чѣмъ строеніе  
кучи мелкой дроби, но, вѣроятно, менѣе крупно-зернисто, чѣмъ  
строеніе кучи ножныхъ мячей.

<sup>1)</sup> Или, скажемъ, шаръ въ 16 сантиметровъ диаметромъ.  
(Прим. автора).

<sup>2)</sup> Название англійской игры, въ которой большой мячъ, которымъ  
играютъ, можно катать и подкидывать только ногами.  
(Прим. перев.).