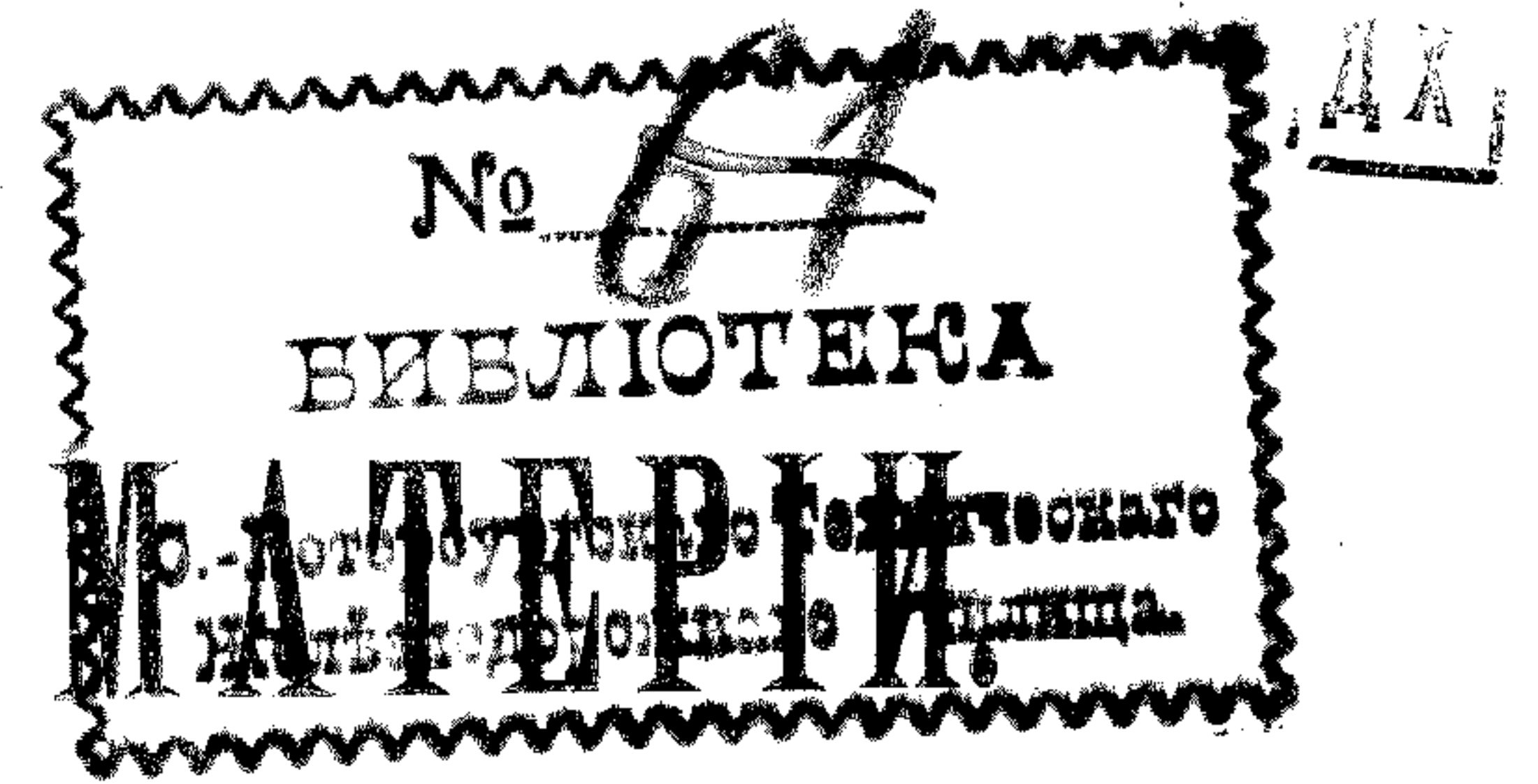
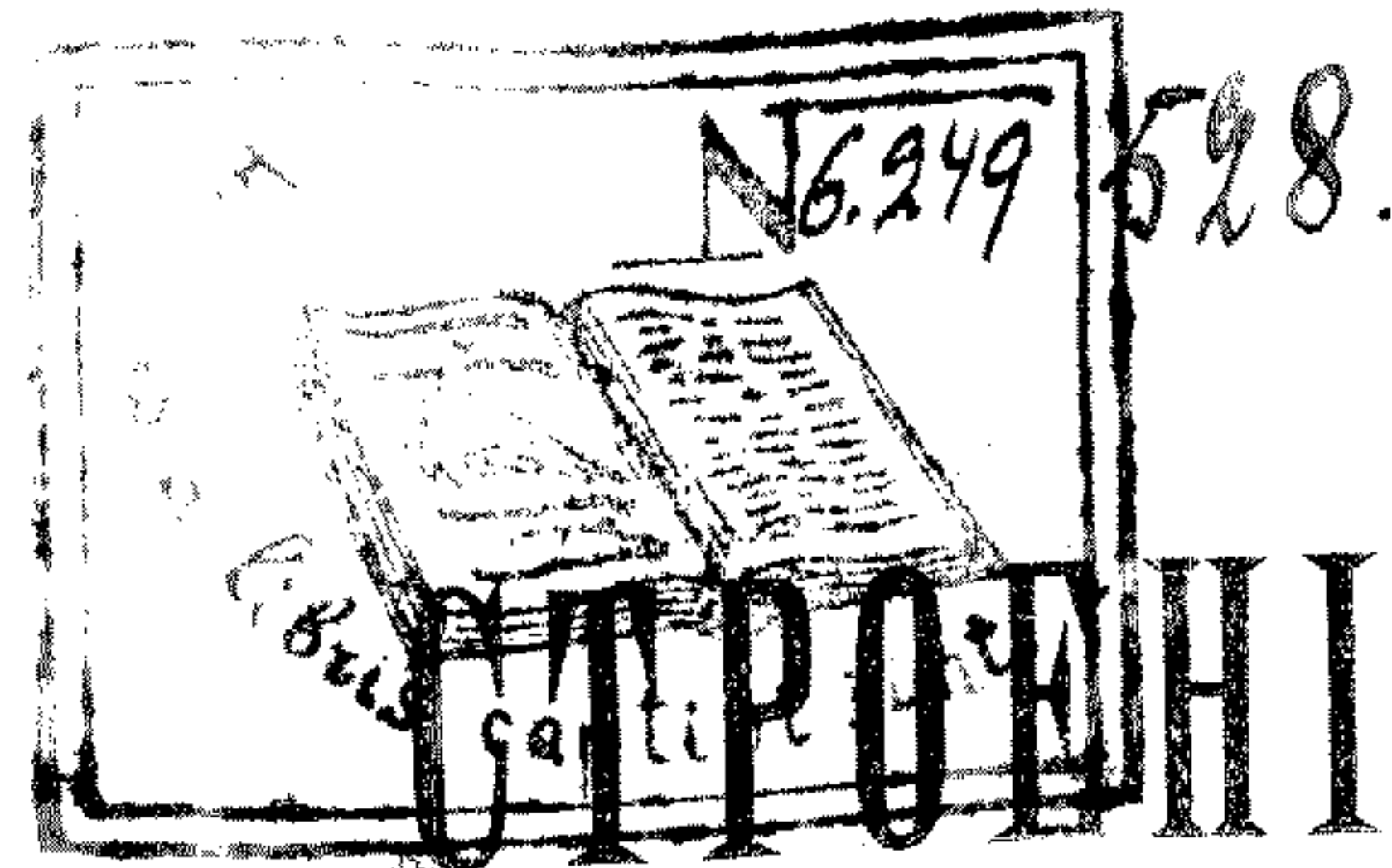


885



СТРОЕНИЕ МАТЕРИИ

ПОПУЛЯРНЫЕ ЛЕКЦИИ

II

РѢЧИ

Сэра Вилльяма Томсона
(лорда Кельвина)

доктора правъ, члена Королевскаго Общества, члена Эдинбургскаго Королевскаго Общества и др., профессора натуральной философіи Глазговскаго университета и члена Коллегіи Св. Петра въ Кембриджъ.

ПЕРЕВОДЪ СЪ АНГЛІЙСКАГО

Б. П. Вейнберга.

ПОДЪ РЕДАКЦІЕЙ

профессора Императорскаго С.-Петербургскаго университета

И. И. Боргмана.

Съ 67-ю рисунками въ текстѣ.

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Изданіе Л. Ф. Пантелѣева.

1895.

ПРЕДИСЛОВІЕ КЪ ПЕРВОМУ ИЗДАНІЮ.

Вскорѣ послѣ того, какъ я въ январѣ 1886 года прочелъ въ Королевскомъ Институтѣ лекцію «О капиллярности», г. Локьеръ далъ мнѣ мысль, что слѣдовало бы сдѣлать эту лекцію болѣе общедоступной и удобопонятной, чѣмъ она могла бы быть въ «Сообщеніяхъ Королевскаго Института» [Transactions of the Royal Institution] или на страницахъ журнала «Nature». Вслѣдствіе этого было рѣшено издать, въ видѣ одной изъ книгъ библиотеки «Nature Series», небольшой томъ, который заключалъ бы въ себѣ эту лекцію «О капиллярности» вмѣстѣ съ нѣкоторыми другими статьями, относящимся къ тому же предмету.

Но то время, какъ первые листы этой книжки были уже въ печати, мнѣ пришло въ голову что было бы хорошо переиздать въ собранномъ видѣ нѣкоторыя другія лекціи и рѣчи популярнаго характера, которыя мнѣ приходилось читать отъ времени до времени и которыя не находили себѣ надлежащаго мѣста въ моемъ «Собраніи Математическихъ и Физическихъ Работъ» [Reprint of Mathematical and Physical Papers], издававшемся въ то время типографіей кэмбриджскаго университета. Обдумавъ, я рѣшилъ измѣнить характеръ предположенной книжки «О капиллярности», увеличить ея объемъ и сдѣлать ее первымъ изъ трехъ томовъ серіи, которая составитъ перепечатку всѣхъ моихъ популярныхъ лекцій и рѣчей.

Порядокъ, въ которомъ расположены различныя статьи,

какъ въ этомъ томѣ, такъ и въ тѣхъ, которые должны послѣдовать за нимъ основанъ, вообще говоря, на содержаніи.— Такъ въ настоящей томъ входятъ лекціи, относящіяся ко внутреннему строенію матеріи. Предметомъ второго тома будутъ вопросы, имѣющіе связь съ геологіей, а третій томъ будетъ посвященъ, главнымъ образомъ, океаническимъ явленіямъ и морскому дѣлу.

Эти лекціи перепечатываются въ томъ самомъ видѣ, въ которомъ онѣ появлялись первоначально; единственнымъ перемѣны заключаются въ томъ, что въ нѣсколькихъ случаяхъ сдѣланы легкія измѣненія въ словахъ,—исключительно для ясности.

Вилльямъ Томсонъ.

Университетъ, Глазго.
21 дек. 1888.

ПРЕДИСЛОВІЕ КО ВТОРОМУ ИЗДАНІЮ.

Съ любезнаго разрѣшенія лорда Рэля, недавно появившейся мемуаръ его, заключающій въ себѣ описаніе измѣренія количествъ масла, достаточныхъ для прекращенія движеній камфары на водѣ, помѣщенъ въ этомъ второмъ изданіи, какъ прибавленіе къ статьѣ «Капиллярное притяженіе». Онъ имѣетъ также большое значеніе при сопоставленіи со статьей «О величинѣ атомовъ», находящейся въ другой части книги.

Я присоединилъ къ статьѣ, озаглавленной: «Шаги къ кинетической теоріи матеріи», прибавленіе, которое можетъ быть прочтено съ интересомъ и, можетъ быть, даже съ нѣкоторой степенью удовольвенія всѣми тѣми, кто могъ бы признать, что на кинетическую теорію газовъ брошена тѣнь тѣмъ предполагаемымъ затрудненіемъ, которое выставлено въ этой статьѣ.

Третій томъ, обѣщанный въ предисловіи къ первому изданію перваго тома, будетъ по типографскимъ причинамъ выпущенъ въ свѣтъ послѣ перваго тома. Онъ теперь весь въ печати и появится почти немедленно. Второй томъ будетъ, я надѣюсь, опубликованъ черезъ годъ, или два.

Вилльямъ Томсонъ.

Университетъ, Глазго.
16 Февр. 1891.

ПРЕДИСЛОВІЕ ПЕРЕВОДЧИКА.

Настоящій переводъ сдѣланъ со второго англійскаго изданія (London, 1891), причемъ, ввидѣ прибавленій, по образцу французскаго перевода («Conferences scientifiques et allocutions, traduites et annotées sur la deuxième édition par P. Ligoï, agrégé des sciences physiques, professeur au Lycée de Pau, avec des extraits des mémoires récents de sir W. Thomson et quelques notes par M. Brillouin, maître de conférences à l'école normale. Constitution de la matière. Paris, 1893»), переведено нѣсколько научныхъ работъ сэра В. Томсона, относящихся, главнымъ образомъ, къ его оригинальной теоріи строенія матеріи (см. прим. 1 на стр. 169) — переведено, большею частью, съ тѣми же сокращеніями, какъ и во французскомъ изданіи.

Изъ французскаго изданія заимствованы также многія примѣчанія (изъ числа помѣченныхъ словами «*прим. перев.*» = «*примѣчанія переводчиковъ*»), а именно, М. Бриллюэну принадлежатъ: примѣчаніе 1 на стр. 122; 1, 123; 1, 160; 1, 169; 1, 193; 1, 196; 1 (часть), 203; 1, 206; 1, 225; 1, 291; 3, 303; 1, 322; 2, 325; 1, 331; 1, 339; 1, 364; 1, 370, а П. Люголю — примѣчанія 2 и 3 на стр. 70; 2, 71; 1, 89; 1, 90; 1, 108; 4, 156; 2, 188; 1, 191; 2, 214; 1, 253; 1, 266; 1 и 271, 1, 278; 2 и 3, 313; 1, 315 (курсивомъ обозначены передѣланныя примѣчанія, — остальные переведены).

Считаю долгомъ извиниться передъ читателями за шерохо-

ватость и мѣстами неясность перевода, происшедшія отчасти отъ стремленія быть возможно ближе къ подлиннику, отличающемуся, при удивительномъ изобиліи глубокихъ мыслей, шероховатостью и иногда большою сжатостью изложенія.

Б. В.

С.-Петербургъ
Іюль 1894.

ПОПУЛЯРНЫЯ ЛЕКЦІИ И РѢЧИ.

Капиллярное притяженіе.

(Пятничное вечернее чтеніе въ Королевскомъ Институтѣ, 29 января 1886)
[Proc. Roy. Inst., т. XI, ч. III ¹⁾].

Свойство тяжести матеріи извѣстно столько тысячъ лѣтъ, сколько живутъ на землѣ люди и философы, но до открытія Ньютономъ всемірнаго тяготѣнія никто не подозрѣвалъ и не воображалъ, что тяжесть зависитъ отъ дѣйствія на разстояніи между двумя частями матеріи. Электрическія притяженія и отталкиванія и магнитныя притяженія и отталкиванія уже втеченіе двухъ или трехъ тысячъ лѣтъ знакомы натуралистамъ и философамъ. Джилбертъ, показавъ, что земля, дѣйствуя, какъ большой магнитъ, является причиной того что стрѣлка компаса указываетъ на сѣверъ, расширилъ тѣмъ самымъ общее мнѣніе относительно разстояній, на которыхъ магниты могутъ оказывать замѣтное дѣйствіе. Но ни онъ, ни кто другой не высказалъ мысли, что вѣсъ есть результатъ взаимныхъ притяженій между всѣми частями тяжелаго тѣла и всѣми частями земли, и никому не приходило въ голову предположить, что различныя части матеріи на поверхности земли, или даже болѣе почтенныя массы, называемыя небесными тѣлами, взаимно притягиваютъ другъ друга. Самъ Ньютонъ не далъ ни одного доказательства, основаннаго на опытѣ или на наблюденіи, для взаимнаго притяженія между какими нибудь

¹⁾ 483—507; Nature, 34, 270—2, 290—4, 366—9, 1886.

(Прим. перев.).

такими двумя тѣлами, которыя оба были бы меньше луны. Самое незначительное изъ дѣйствій тяготѣнія, включенное имъ въ выводимыя изъ наблюдений основанія его теоріи, было дѣйствіе луны на воды океана,—дѣйствіе, которымъ производятся приливы; но индуктивное заключеніе Ньютона, что тяжесть куска вещества на поверхности земли есть результатъ притяженій этого куска всѣми частями земли,—притяженій, дѣйствующихъ обратно пропорціонально квадратамъ разстояній,—дѣлало въ высшей степени вѣроятнымъ и то, что куски вещества, находящіеся на разстояніи нѣсколькихъ футовъ или нѣсколько дюймовъ, притягиваютъ другъ друга по тому же закону зависимости отъ разстояній, и великолѣпные опыты Кэвендиша оправдали это послѣднее заключеніе. Но перейдемъ теперь къ предмету нашихъ занятій на сегодняшній вечеръ. Продолжаетъ ли это притяженіе между любой частицей матеріи въ одномъ тѣлѣ и любой частицей матеріи въ другомъ—измѣняться обратно пропорціонально квадрату разстоянія, когда разстояніе между ближайшими точками двухъ тѣлъ уменьшается до одного дюйма [опыты Кэвендиша не доказываютъ этого, но дѣлаютъ это чрезвычайно вѣроятнымъ ¹⁾], или до одного сантиметра, или до стотысячной сантиметра, или до стомилліонной сантиметра? Я погружаю теперь свой палецъ въ этотъ сосудъ съ водой, и вы непосредственно убѣждаетесь въ существованіи силы притяженія между пальцемъ и каплей, повисшей на немъ, и между частицами матеріи по обѣимъ сторонамъ любой горизонтальной плоскости, которую вы можете вообразить пересѣкающею эту висящую воду. Эти силы въ милліоны разъ больше, чѣмъ тѣ, которыя вы бы получили, вычисляя ихъ на основаніи закона Ньютона и въ предположеніи, что вода есть совершенно однородное тѣло. Отсюда слѣдуетъ, что или эти силы притяженія на очень малыхъ раз-

¹⁾ Замѣтимъ, что Бойсъ (Boys) при помощи кварцевыхъ нитей, отличающихся замѣчательной тониною и упругостью (*Nature*, 42, 604—8, 1890), произвелъ опытъ Кэвендиша въ миниатюрныхъ размѣрахъ,—стержень крутильныхъ вѣсовъ равнялся 1,5 см.

(Прим. перев.).

стояніяхъ должны рости несравненно болѣе быстро, чѣмъ по закону Ньютона, или же вещество воды неоднородно. Въ настоящее время мы знаемъ, что оно неоднородно. Ньютонская теорія тяготѣнія въ настоящее время представляется для насъ настолько же достовѣрною, какъ и атомическая или молекулярная теорія въ химіи и физикѣ,—по крайней мѣрѣ, постольку, поскольку она утверждаетъ неоднородность во внутреннемъ строеніи вещества, которое представляется какъ нашимъ чувствамъ, такъ и самымъ чувствительнымъ нашимъ методамъ непосредственнаго изслѣдованія при помощи инструментовъ—однороднымъ. Отсюда слѣдуетъ,—если только мы не придемъ къ выводу, что неоднородность и ньютонскій законъ притяженія не въ состояніи вмѣстѣ объяснить сцѣпленія и капиллярнаго притяженія,—что мы не принуждены искать объясненія въ отклоненіи силы тяготѣнія отъ Ньютонскаго закона. Въ сообщеніи, сдѣланномъ въ Единбургскомъ Королевскомъ Обществѣ двадцать четыре года тому назадъ ¹⁾, я показалъ, что неоднородность вещества можетъ служить достаточнымъ объясненіемъ для какой угодно силы сцѣпленія, какъ бы она велика ни была, если только мы придадимъ достаточно большую плотность самимъ молекуламъ въ этомъ неоднородномъ строеніи.

Однако кажется, что нельзя прійти ни къ какому удовлетворительному или очень интересному въ механическомъ отношеніи результату, если попробуешь какъ либо развивать эту теорію, не принимая во вниманіе частичныхъ движеній, которыя, какъ мы знаемъ, присущи матеріи и составляютъ ея тепло. Но настолько, насколько дѣло касается главныхъ явленій капиллярнаго притяженія, достаточно знать, что полная молекулярная теорія не могла бы привести въ итогъ къ иному окончательному результату, какъ и предположеніе, что вода и твердыя тѣла, прикасающіяся къ ней, представляютъ собою вполне, до бесконечно малыхъ частей, однородныя тѣла и

²⁾ «Замѣтка о тяготѣніи и сцѣпленіи» (*Note on Gravity and Cohesion*) *Proceedings of the Royal Society of Edinburgh*, 21 Апрѣля 1862, (т. IV). Эта замѣтка перепечатана полностью въ прибавленіи **B** къ этой статьѣ.

(Прим. автора).

что на нихъ дѣйствуютъ силы взаимнаго притяженія, достаточно большія между тѣми частями матеріи, которыя чрезвычайно близки другъ къ другу, но совершенно неуловимыя между частями матеріи, находящимися на замѣтныхъ разстояніяхъ. Въ самомъ дѣлѣ,—какой молекулярной теоріи ни придерживались бы мы или могли бы придерживаться послѣдующія поколѣнія для объясненія внутренней природы этихъ взаимодействій,—эта идея о незамѣтномъ притяженіи на замѣтныхъ разстояніяхъ есть ключъ къ теоріи капиллярнаго притяженія, и этой идеей мы обязаны Гоксби ¹⁾. Лапласъ ²⁾ взялся снова за эту идею и вполнѣ съ удивительнымъ искусствомъ разработалъ ее съ математической стороны. Единственная часть теоріи, которую онъ оставилъ недостаточно разработанной,—дѣйствіе твердаго тѣла на жидкость и взаимодействие между двумя жидкостями,—была доведена до совершенства съ механической точки зрѣнія Гауссомъ ³⁾, а послѣдніе штрихи математической теоріи были сдѣланы Нейманомъ ⁴⁾, установившимъ для жидкостей правило, соответствующее правилу Гаусса относительно угловъ соприкосновенія жидкостей и твердыхъ тѣлъ.

Гауссъ, выражая восторженную оцѣнку труду Лапласа, принимаетъ то же основное положеніе о притяженіи, замѣтномъ только на незамѣтныхъ разстояніяхъ, и, хотя главною своею цѣлью онъ считалъ завершеніе той части теоріи, которую недостаточно разработалъ его предшественникъ, рѣшаетъ заново эту механическую задачу замѣчательно усовершенствованнымъ способомъ, цѣликомъ основывая это рѣшеніе на прин-

¹⁾ Transactions Royal Society, XXVI, XXVII, 1709—1713; или же сокращенное изданіе д-ра Гуттона и другихъ, т. V, стр. 464 и слѣд.

(Прим. автора).

²⁾ Mécanique Céleste, прибавленіе къ десятой книгѣ, вышедшее въ 1806 году; также, Supplément à la Théorie de l'Action capillaire, образующее второе прибавленіе къ десятой книгѣ. (Прим. автора).

³⁾ Principia generalia Theoriæ Figuræ Fluidorum in Statu Equilibrii (Göttingen, 1830); или Werke, т. V, стр. 29. (Göttingen, 1887).

(Прим. автора).

⁴⁾ Herr F. E. Neumann.

(Прим. автора).

ципѣ того, что мы называемъ теперь потенциальной энергіей. Такимъ образомъ, хотя формулы, при помощи которыхъ Гауссъ выражаетъ въ математической формѣ свои идеи, почти такъ же страшны на видъ, какъ и формулы Лапласа, ихъ очень легко передать словами, причемъ вся эта теорія сдѣлается совершенно понятной для лицъ, считающихъ себя неспособными понимать шестерные интегралы. Для большаго удобства вообразимъ себя расположенными въ центрѣ земли, чтобы избѣжать вліянія силы тяжести. Возьмемъ теперь двѣ порціи воды; пусть эти порціи на извѣстной части своей поверхности,—назовемъ эту часть *A* для одной порціи и *B* для другой,—имѣютъ такую форму, что, будучи сложены вмѣстѣ, онѣ какъ разъ придутся другъ къ другу по всей этой площади. Чтобы избѣжать всякихъ хлопотъ при обращеніи съ предполагаемыми частями воды, пусть онѣ на время станутъ совершенно крѣпкими и пусть при этомъ не произойдетъ никакихъ измѣненій въ ихъ взаимномъ притяженіи. Поднесемъ ихъ теперь другъ къ другу такъ, чтобы поверхности *A* и *B* подошли одна къ другой на разстояніе стотысячной дюйма, т. е. сорокатысячной сантиметра или двухсотъ пятидесяти микрометровъ (около половины длины волны зеленого свѣта). На такомъ большомъ разстояніи притяженіе имѣетъ совершенно незамѣтную величину: мы можемъ быть вполнѣ увѣрены въ томъ что оно отличается всего на нѣсколько процентовъ отъ той ничтожно малой силы притяженія, которую мы получили бы, вычисляя ее на основаніи Ньютоновскаго закона и въ предположеніи полной равномерности распредѣленія плотности въ каждомъ изъ притягивающихъ тѣлъ. Извѣстныя всѣмъ явленія пузырей и водныхъ пленокъ, смачивающихъ твердыя тѣла, дѣлаютъ вполнѣ достовѣрнымъ то, что частичное притяженіе становится замѣтнымъ только тогда, когда разстояніе станетъ гораздо меньше, чѣмъ 250 микро-метровъ. Изъ разсмотрѣнія такихъ явленій Квинке ¹⁾

¹⁾ Pogg. Ann. der Phys. und der Chem. Bd. CXXXVII, 1869 *).

(Прим. автора).

* Ueber die Entlarmung, in welcher die Molekularkräfte der Capillarität noch wirksam sind. стр. 402—14. (Прим. перев.).

пришелъ къ заключенію, что частичное притяженіе становится замѣтнымъ на разстояніи около пятидесяти микрометровъ. Его заключеніе поразительно подтверждается очень важнымъ открытіемъ Рейнольда и Рюккера ¹⁾, что черная пленка, всегда образующаяся передъ тѣмъ, какъ лопнетъ предоставленный самому себѣ мыльный пузырь, имѣетъ равномерную или почти равномерную толщину, микрометровъ въ одиннадцать или двѣнадцать. Внезапное возникновеніе и продолжительная устойчивость черной пленки доказываютъ предложеніе первой важности въ молекулярной теоріи: — натяженіе пленки, остающееся замѣтно постояннымъ, пока толщина ея превышаетъ пятьдесятъ микрометровъ, уменьшается до минимума и начинаетъ затѣмъ снова увеличиваться, когда толщина уменьшилась до десяти микрометровъ. Кажется невозможнымъ объяснить этотъ фактъ какимъ бы то ни было воображимымъ закономъ силы между различными частями пленки, если предполагать ее однородной, — и мы принуждены заключить, что это зависитъ отъ молекулярной неоднородности. Когда, такимъ образомъ, теорія коренной однородности матеріи опровергнута наблюденіями и когда доказано, что принятіе ея закона притяженія, увеличивающагося, когда разстояніе становится меньше пятидесяти микрометровъ, быстрое, чѣмъ слѣдуетъ по закону **Ньютона**, оказывается неудовлетворительнымъ, то развѣ мы не можемъ пойти далѣе и сказать, что вовсе не нужно предполагать какое нибудь отклоненіе отъ ньютоновскаго закона измѣненія силы обратно пропорціонально квадрату разстоянія, — сплошнымъ образомъ, отъ миллионной микрометра до разстояній самой отдаленной звѣзды или самой отдаленной части вещества во вселенной, — и развѣ мы не можемъ, до той поры, когда увидимъ, что самое тяготѣніе можетъ быть объяснено — такъ, какъ **Ньютонъ** и **Фарадей** считали, что

¹⁾ Proc. Roy. Soc., 21 іюня 1877 и Trans. Roy. Soc., 19 апрѣля 1883 *).
(Прим. автора).

*) О предѣльной толщинѣ жидкихъ пленокъ. (On the Limiting Thickness of Liquid Films (Proc. Roy. Soc. 26, 334, Trans. Roy. Soc. 174, 645—662.
(Прим. перев.).

нужно объяснить его, — какимъ нибудь непрерывнымъ дѣйствіемъ промежуточной или окружающей матеріи, временно удовлетвориться объясненіемъ капиллярнаго притяженія, какъ просто ньютоновскаго притяженія, усиливающагося вслѣдствіе присутствія чрезвычайно плотныхъ молекулъ, подвижныхъ одна относительно другой, — молекулъ, собраніе которыхъ представляетъ массу жидкаго или твердаго тѣла.

Но отбросимъ въ настоящую минуту и на весь остальной вечеръ всякую мысль о молекулярной теоріи и будемъ имѣть въ виду теорію коренной однородности матеріи ¹⁾ въ чистомъ и простомъ видѣ, — теорію Лапласа и Гаусса; вернемся къ нашимъ двумъ ставшимъ крѣпкими частямъ воды, оставленнымъ на разстояніи 250 микрометровъ другъ отъ друга. Держа эти части въ двухъ своихъ рукахъ, я даю имъ приближаться все ближе и ближе другъ къ другу, пока они не соприкоснутся по всей поверхности частей *A* и *B*. Они начинаютъ притягивать другъ друга съ силою, которая можетъ быть едва замѣтна для моихъ рукъ, когда разстояніе ихъ другъ отъ друга равно пятидесяти микрометрамъ и даже десяти микрометрамъ, но которая навѣрно дѣлается замѣтною, когда разстояніе дѣлается однимъ микрометромъ или дробью микрометра, и громадною, равною сотнямъ или тысячамъ килограммовъ (вѣсъ), передъ тѣмъ, какъ они придутъ въ абсолютное соприкосновеніе. Я полагаю при этомъ, что площадь каждой изъ этихъ поверхностей равна нѣсколькимъ квадратнымъ сантиметрамъ. Для опредѣленности, я буду предполагать, что она равна ровно тридцати квадратнымъ сантиметрамъ. Если бы мое чувство силы было достаточно точнымъ измѣрителемъ, то я нашелъ бы, что работа, совершенная притяженіемъ окрѣпшихъ частей воды при стягиваніи моихъ рукъ, была какъ разъ около четырехъ съ половиною граммъ-сантиметровъ. Если бы сила оставалась постоянной на протяженіи всего этого пространства въ пятьдесятъ микрометровъ (пять миллионныхъ сантиметра), то для того,

¹⁾ Томсонъ называетъ ее просто коренной теоріей (the molar theory), — для ясности мы позволили себѣ нѣсколько распространить это названіе.
(Прим. перев.).

чтобъ произвести такую работу, она должна была бы равняться девятистамъ тысячъ граммовъ вѣса, т. е. девяти десятымъ тонны ¹⁾. Но въ дѣйствительности, эта работа совершается силой, возрастающей отъ чего-то, очень небольшого, когда разстояніе равно пятидесяти микромиллиметровъ, до нѣкоторой неизвѣстной весьма большой величины. Быть можетъ, эта сила достигаетъ максимума еще до абсолютнаго контакта и затѣмъ начинаетъ уменьшаться,—или, можетъ быть, она увеличивается и увеличивается до самаго соприкосновенія—мы не можемъ рѣшить, что имѣетъ мѣсто. Но, каковъ бы ни былъ законъ измѣненія силы, достовѣрно, что на протяженіи небольшой части нашего разстоянія она значительно больше одной тонны. Возможно, что она несравненно больше одной тонны, чтобы совершить выше опредѣленное количество работы въ четыре с половиною грамм-сантиметра на протяженіи пятидесяти микромиллиметровъ.

Теперь измѣнимъ немного обстоятельства опыта. Я беру двѣ части окрѣпшей воды и подношу ихъ другъ къ другу такъ, чтобы они прикоснулись парой соотвѣтствующихъ точекъ, лежащихъ на краяхъ двухъ поверхностей *A* и *B*,—держа при этомъ остальные части этихъ поверхностей далеко порознь (см. рис. 1). Работа, совершенная надъ моими руками при этомъ процессѣ, безконечно мала. Теперь, не измѣняя нисколько закона притягательной силы, положимъ, что на всемъ протяженіи каждой изъ поверхностей делается снова подвижной очень тонкая пленка окрѣпшей воды, вы видите теперь именно то, что получается въ этомъ случаѣ. Куски вещества, которые я держу въ рукахъ, не наши воображаемые куски окрѣпшей воды,—это два куска стекла, поверхности которыхъ *A* и *B* сдѣланы вполне чистыми и смочены на всемъ протяженіи тонкимъ слоемъ воды. То же самое, что происходитъ у васъ на глазахъ, имѣло бы мѣсто, если бы все происходило какъ разъ согласно съ нашими идеальными представленіями. Поэтому, представьте себѣ, что это дѣйствительно два куска воды, оба неизмѣняемые за исключеніемъ тонкой жидкой пленки на каждой изъ поверх-

¹⁾ Тонна=1000 килограммовъ.

(Прим. перев.).

ностей *A* и *B*, которыя должны быть приложены другъ къ другу. Помните также, что Королевскій Институтъ, въ которомъ мы сошлись, перенесенъ для этого случая въ центръ земли, такъ что сила тяжести ни въ какомъ отношеніи не оказываетъ на насъ вліянія. Вы видите, намъ не мѣшаетъ никакое стеканіе внизъ этихъ жидкихъ пленокъ,—впрочемъ я не долженъ говорить *внизъ*, у насъ здѣсь нѣтъ ни низа, ни верха,—онѣ не стекаютъ вдоль этихъ поверхностей по направленію къ столу,—по крайней мѣрѣ, вы должны вообразить, что этого не происходитъ. Теперь я поворачиваю одинъ или оба этихъ куска вещества до тѣхъ поръ, пока они не будутъ такъ близко соприкасаться другъ съ другомъ на всемъ протяженіи поверх-

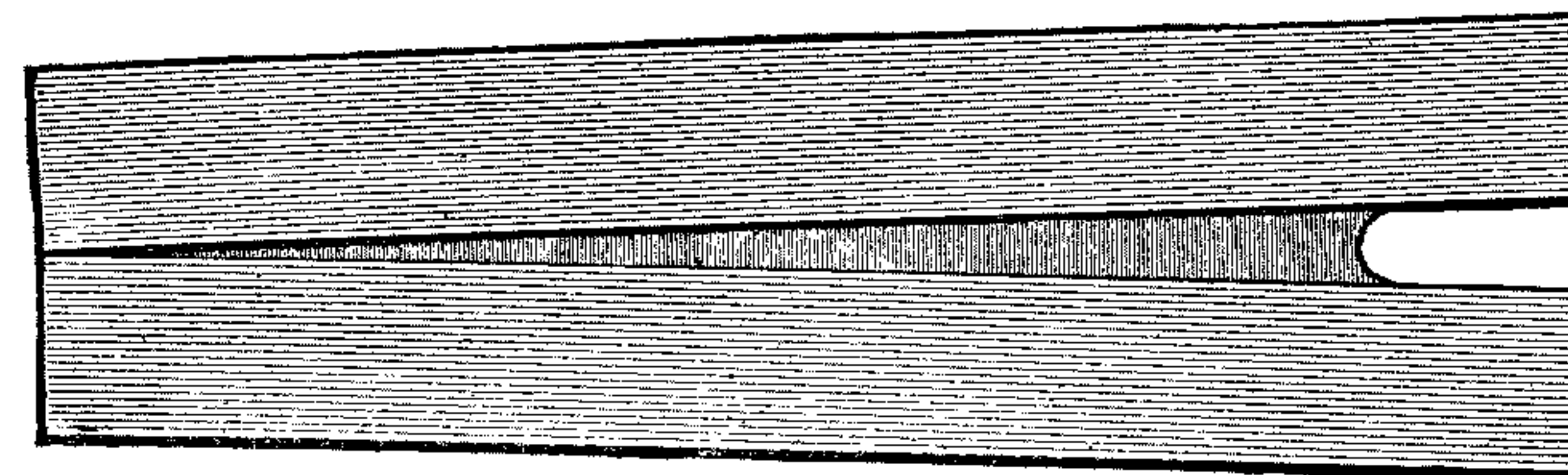


Рис. 1.

ностей *A* и *B*, что весь промежутокъ между ними станетъ заполненъ водою. Моя способность мѣрить чувствомъ осязанія говорить мнѣ, что опять было произведено ровно четыре с половиною грамм-сантиметра работы,—но на этотъ разъ не чрезвычайно большой силой на протяженіи пространства, меньшаго пятидесяти микромиллиметровъ, но очень слабой силой, дѣйствовавшей на большомъ протяженіи того поворачивающаго или складывательнаго движенія, которое вы видѣли—и теперь снова видите. Дѣйствительно, изъ элементарнаго принципа работы, совершаемой въ консервативной системѣ ¹⁾, мы знаемъ, что работа, совершенная въ первомъ случаѣ, при непосредственномъ сближеніи двухъ тѣлъ, и во второмъ случаѣ, при прикосновеніи сначала только двумя точками и затѣмъ складыва-

¹⁾ Т. е. системы, въ которой силы имѣютъ потенциалъ.

(Прим. перев.).

ни тѣль вмѣстѣ, должна быть одной и той же, и мое измѣрительное чувство осязанія сказало мнѣ въ этомъ частномъ случаѣ только то, что, мы всѣ знаемъ теоретически, должно быть вѣрно во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда мы къ одному и тому же концу приходимъ различными путями, исходя изъ одного и того же начала.

Но, слѣдуя по этому второму пути, мы, совершая складывательное движеніе, уменьшили поверхность воды на шестьдесятъ квадратныхъ сантиметровъ. Легко видѣть, что, если только радіусъ кривизны въ каждомъ мѣстѣ поверхности превышаетъ въ сто или двѣсти разъ то разстояніе, до котораго молекулярное притяженіе еще имѣетъ замѣтную величину или, какъ мы можемъ сказать на практикѣ, если только радіусъ кривизны вездѣ больше 5000 микрометровъ (т. е. двухсотой миллиметра), то мы получили бы такое же количество работы при томъ же уменьшеніи поверхности воды, какъ бы ни было произведено этоу меншеніе. Отсюда въ результатѣ, мы находимъ, что уменьшенію поверхности на каждый квадратный сантиметръ соотвѣтствуетъ $4.5/60$ (или $3/40$) грамм-сантиметра работы. А это совершенно тотъ же результатъ, какой мы получили бы, еслибы предположили, что вода абсолютно лишена притягательной силы между водой и водой и что вся ея поверхность покрыта безконечно тонкой стягивающейся пленкой, обладающей равномерной стягивательной силой въ $3/40$ вѣса грамма или въ 75 миллиграммовъ на линейный сантиметръ.

Теперь удобно держаться нашей идеальной пленки, оставивъ идею о томъ, что согласно нашимъ современнымъ представленіямъ о междучастичныхъ дѣйствіяхъ есть вещь, болѣе реальная, а именно, взаимное притяженіе между различными частями жидкости. Но я настоятельно прошу васъ, не впадите въ парадоксальное обыкновение представлять себѣ эту поверхностную пленку чѣмъ либо инымъ, какъ только способомъ мысленнаго представленія окончательнаго результата взаимныхъ притяженій между различными частями жидкости. Посмотримъ теперь на одинъ изъ нашихъ мысленно окрѣпшихъ кусковъ воды или, если вамъ угодно, на эти два куска, сложенныхъ

вмѣстѣ и составляющихъ одинъ. Помните, что мы находимся въ центрѣ земли. Что произойдетъ, если внезапно этотъ кусокъ вещества, покоящійся передъ вами въ воздухѣ, перестанетъ быть крѣпкимъ? Вообразите себѣ, что онъ, какъ я уже говорилъ, заключенъ въ пленку, стремящуюся вездѣ стянуться съ силою, равной $3/40$ грамма или семидесяти пяти миллиграммамъ вѣса на линейный сантиметръ. Эта стягивающаяся пленка будетъ, очевидно, производить наибольшее давленіе въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ выпуклость наибольшая. Весьма элементарная теорема математики говоритъ намъ, что на окрѣпшей выпуклой поверхности, которую вы видите, величина давленія на квадратный сантиметръ получится, если помножимъ сумму ¹⁾ кривизнъ двухъ взаимно-перпендикулярныхъ нормальныхъ сѣченій на величину силы, рассчитанной на линейный сантиметръ. Въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ поверхность вогнутая, дѣйствіе поверхностнаго натяженія стремится втянуть ее наружу, т. е., на математическомъ языкѣ, производить отрицательное давленіе внутрь. Теперь предположимъ, что крѣпость моментально уничтожается, и кусокъ стекла, который вы видите, становится водою, оставаясь все еще изъятимъ изъ-подъ вліянія силы тяжести. Мгновенное дѣйствіе этихъ неравныхъ давленій на поверхность воды приведетъ ее въ движеніе. Если бы вода была «совершенной» жидкостью, то она продолжала бы безконечно долго колебаться дико-неправильнымъ образомъ, разъ ея первоначальная форма была такой угловатой, какъ то, что я держу въ рукѣ. Но, въ дѣйствительности, вода, какъ и всякая другая жидкость, обладаетъ вязкостью и потому колебанія ея будутъ постепенно успокаиваться, и нашъ кусокъ вещества приметъ въ концѣ концовъ форму шара, слегка нагрѣвшись, благодаря работѣ, совершенной силами взаимнаго притяженія, которыми онъ былъ приведенъ въ движеніе изъ своего первоначальнаго вида. Работа, совершаемая этими силами въ то время, какъ тѣло переходитъ изъ одной своей формы въ другую, прямо пропорціональна уменьшенію

¹⁾ Эту сумму для краткости я буду съ этихъ поръ называть просто «кривизною поверхности» въ какой-нибудь ея точкѣ.

(Прим. автора).

величины всей поверхности тѣла; и фигура равновѣсія,— въ томъ случаѣ, когда исключено вліяніе силы тяжести или какихъ либо постороннихъ твердыхъ или жидкихъ тѣлъ,— есть та фигура,— сфера,— которая, при условіи заключать въ себѣ данный объемъ вещества, представляетъ возможно наименьшую поверхность.

Я вычислилъ періодъ колебанія сферы воды ¹⁾ (росинки!) и нашелъ, что онъ равенъ $\frac{1}{4} a^{3/2}$, гдѣ a радіусъ въ сантиметрахъ,— такъ:

для радіуса въ	$\frac{1}{4}$	сантим.—	періодъ	$\frac{1}{32}$	секунды.
»	»	»	1	»	$\frac{1}{4}$
»	»	»	2.54	»	1
»	»	»	4	»	2
»	»	»	16	»	16
»	»	»	36	»	54 ²⁾
»	»	»	1407	»	13,200

Вся механика этого предмета, поскольку касается одной только жидкости, вполне заключается въ той математикѣ безъ формулъ, которую я вамъ изложилъ. Двадцать страницъ, покрытыхъ шестерными интегралами, не могли бы сообщить намъ больше этого.

До сихъ поръ мы рассматривали только взаимное притяженіе между частями двухъ порцій одной и той же жидкости,— напр., воды. Разсмотримъ теперь двѣ различныхъ жидкости; напр., воду и двухсѣрнистый углеродъ (который я, для краткости, буду называть сѣроуглеродомъ). Поступимъ съ ними точно такъ же, какъ мы поступали съ двумя порціями воды.

¹⁾ См. мемуаръ лорда Рэля въ Proc. Roy. Soc., № 196, 5 мая 1879 *)
(Прим. автора).

²⁾ У Томсона по ошибкѣ и здѣсь стоитъ 36.

(Прим. перев.).

*) „О капиллярныхъ явленіяхъ струй“ (On the Capillary phenomena of Jets). Proc. Roy. Soc., 29, 71—97.

(Прим. перев.).

Мнѣ нѣтъ надобности снова повторять весь ходъ разсужденій: результатъ вполне очевиденъ. Помноженная на тридцать разность между суммой поверхностныхъ натяженій каждой жидкости въ отдѣльности и натяженіемъ раздѣла между ними равна работѣ, совершенной при сближеніи этихъ двухъ тѣлъ до полного соприкосновенія на протяженіи тридцати квадратныхъ сантиметровъ. Отсюда, *поверхностное натяженіе, существующее на поверхности раздѣла двухъ жидкостей и рассчитанное на единицу площади* ¹⁾, равно разности между суммой поверхностныхъ натяженій каждой жидкости въ отдѣльности и работой, совершенной при непосредственномъ сближеніи этихъ двухъ тѣлъ до соприкосновенія на протяженіи единицы поверхности каждаго изъ нихъ. Въ частномъ случаѣ двухъ одинаковыхъ тѣлъ, приходящихъ въ совершенное соприкосновеніе, натяженіе раздѣла между ними должно быть равно нулю и потому работа, совершаемая при сближеніи ихъ до соприкосновенія на протяженіи единицы поверхности, должна быть какъ разъ равна удвоенному поверхностному натяженію; этотъ именно случай мы сперва и рассматривали.

Если работа, совершаемая, въ случаѣ двухъ различныхъ жидкостей, при сближеніи ихъ до соприкосновенія на небольшой площади, превышаетъ сумму поверхностныхъ натяженій, то натяженіе раздѣла отрицательное. Слѣдствіемъ этого является, мгновенное сморщиваніе поверхности раздѣла,— какъ начало диффузіи,— и затѣмъ слѣдуетъ общеизвѣстный процессъ непрерывной внутренней диффузіи.

Разсмотримъ далѣе взаимное притяженіе между твердымъ тѣломъ и жидкостью. Выберемъ какой нибудь площадку на поверхности твердаго тѣла и придадимъ заблаговременно нѣко-

¹⁾ Подъ поверхностнымъ натяженіемъ на единицу площади понимается работа, совершенная этимъ поверхностнымъ натяженіемъ, дѣйствующимъ на единицу длины, на протяженіи единицы,— т. е. совершенная при образованіи единицы поверхности.

(Прим. перев.).

²⁾ The result is an instantaneous puckering of the surface,— эту свою мысль Томсонъ развиваетъ въ замѣчаніи (30 янв. 1886 г.), помѣщенномъ далѣе.

(Прим. перев.).

торой части жидкости такую форму, чтобы она какъ разъ приходилась по этой площадкѣ.

Приведемъ теперь жидкость, которую мы на это время примемъ окръпшею, въ соприкосновеніе съ этой площадкой твердаго тѣла. Величина, на которую работа, совершаемая единицею площади соприкосновенія, меньше поверхностнаго натяженія жидкости, равна натяженію на поверхности раздѣла между жидкостью и твердымъ тѣломъ. Если работа, совершаемая единицею поверхности, какъ разъ равна натяженію свободной поверхности жидкости, натяженіе раздѣла равно нулю. Въ этомъ случаѣ, поверхность жидкости, когда послѣдняя находится въ равновѣсіи въ мѣстѣ встрѣчи жидкости и твердаго тѣла, составляетъ прямой уголъ съ поверхностью твердаго тѣла. Уголъ между свободными поверхностями жидкости и твердаго тѣла будетъ острымъ или тупымъ, смотря по тому, каково натяженіе раздѣла — положительное или отрицательное; косинусъ этого угла равенъ натяженію раздѣла, раздѣленному на натяженіе свободной поверхности. Наибольшее возможное значеніе, которое натяженіе раздѣла можетъ имѣть, когда оно положительно, есть, очевидно, натяженіе свободной поверхности, и оно достигаетъ этого предѣльнаго значенія только въ томъ, не чисто статистическомъ, случаѣ, когда жидкость покоится на твердомъ тѣлѣ, обладающемъ большою теплопроводностью и поддерживаемомъ при температурѣ, значительно превышающей температуру кипѣнія жидкости, — какъ это будетъ въ томъ общезвѣстномъ явленіи, на которое было обращено вниманіе Лейденфростомъ и Бутиньи. Подобнаго предѣла не существуетъ для абсолютной величины натяженія раздѣла въ томъ случаѣ, когда оно отрицательное, но эта абсолютная величина должна быть меньше натяженія свободной поверхности, чтобы возможно было равновѣсіе вдоль линіи, раздѣляющей жидкость и твердое тѣло. Если отрицательно взятое натяженіе раздѣла какъ разъ равно натяженію свободной поверхности, — уголъ между свободными поверхностями на линіи раздѣла равенъ ровно 180° . Если отрицательно взятое натяженіе раздѣла превышаетъ натяженіе свободной поверхности, — жидкость разбѣгается по по-

верхности твердаго тѣла, какъ, напр., разбѣгается вода по стеклянной, очень хорошо вычищенной пластинкѣ. Если мы на минуту покинемъ центръ земли и предположимъ, что находимся гдѣ

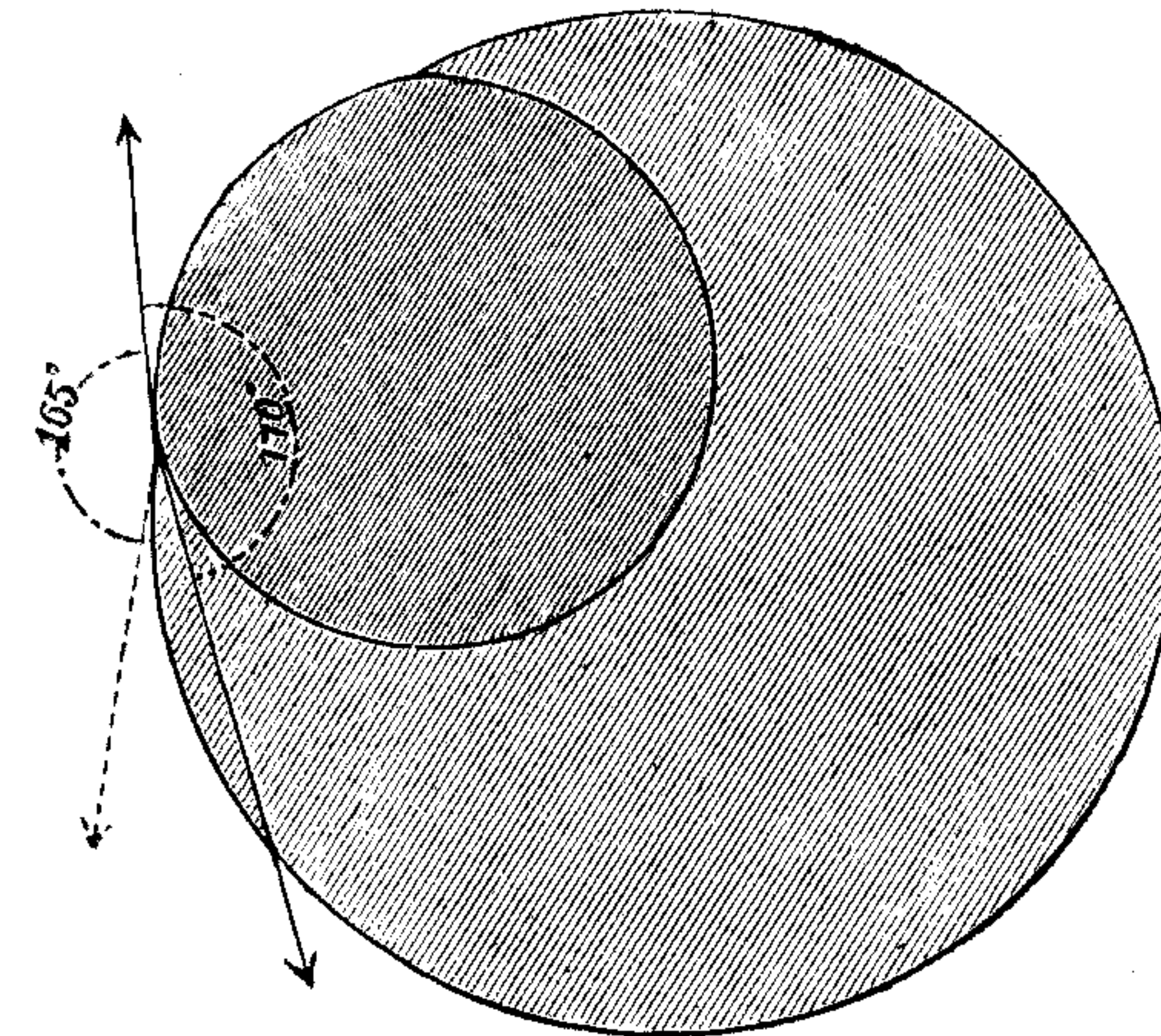


Рис. 2.

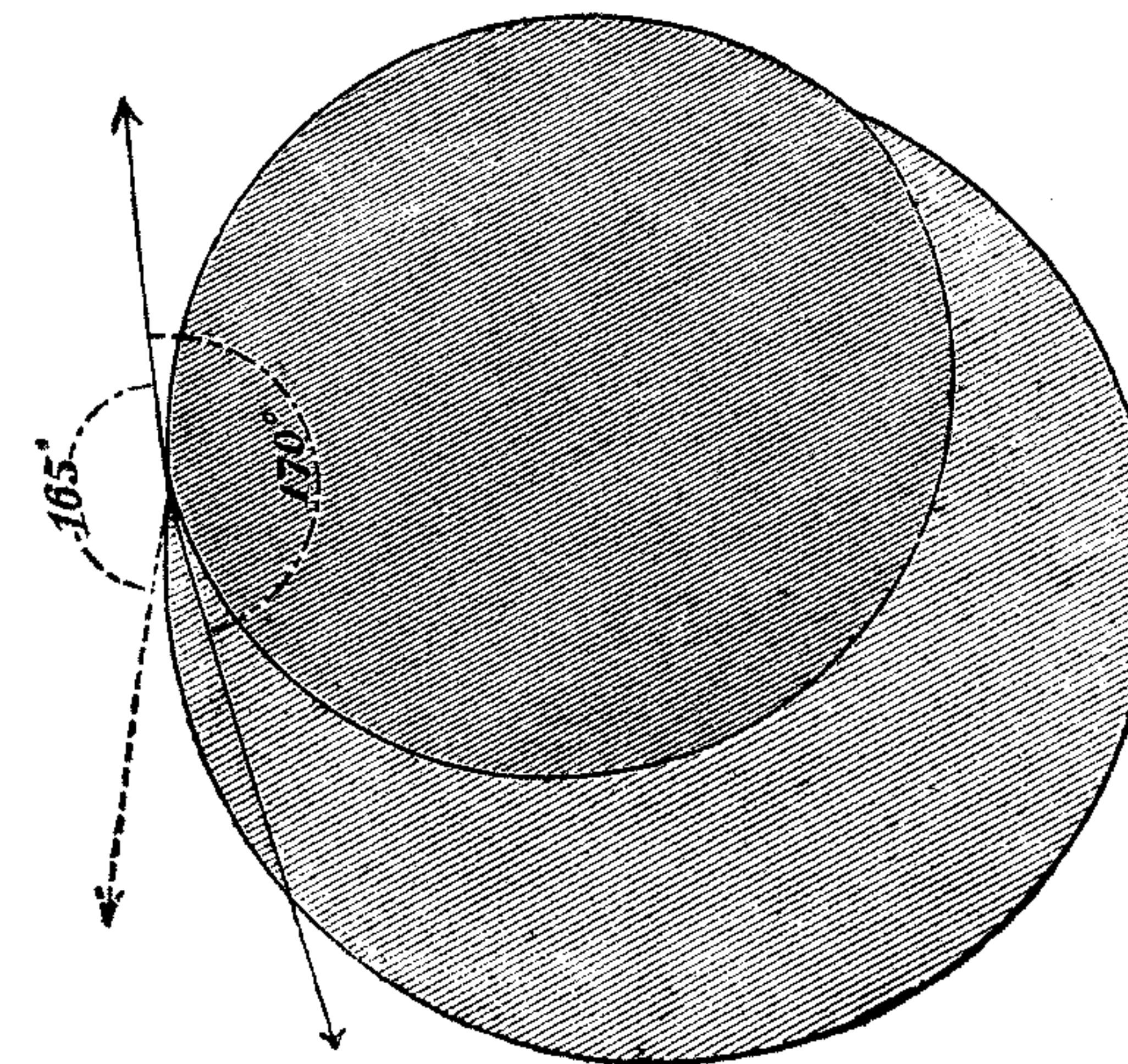


Рис. 3.

нибудь въ другомъ мѣстѣ, внутри или внѣ земли, мы найдемъ, что жидкость въ видѣ тонкой пленки побѣжитъ вверхъ наперекоръ силѣ тяжести, по верхней части сосуда, ее заключающаго, при чемъ въ раздѣлѣ получается уголъ въ 180° между свобод-

ной поверхностью жидкости и поверхностью пленки, прилипающей къ твердому тѣлу надъ линіей, представляющей границу

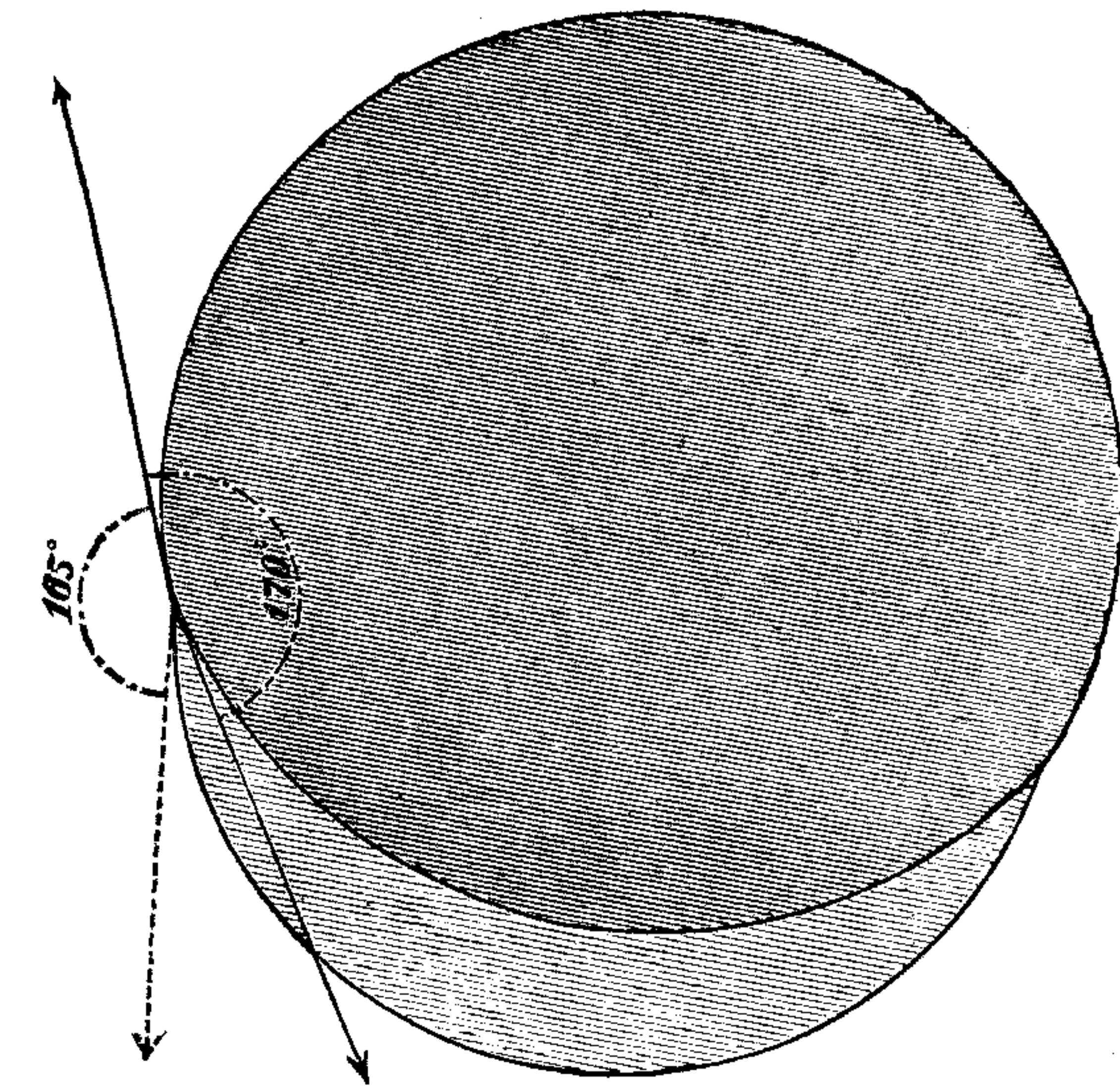


Рис. 4.

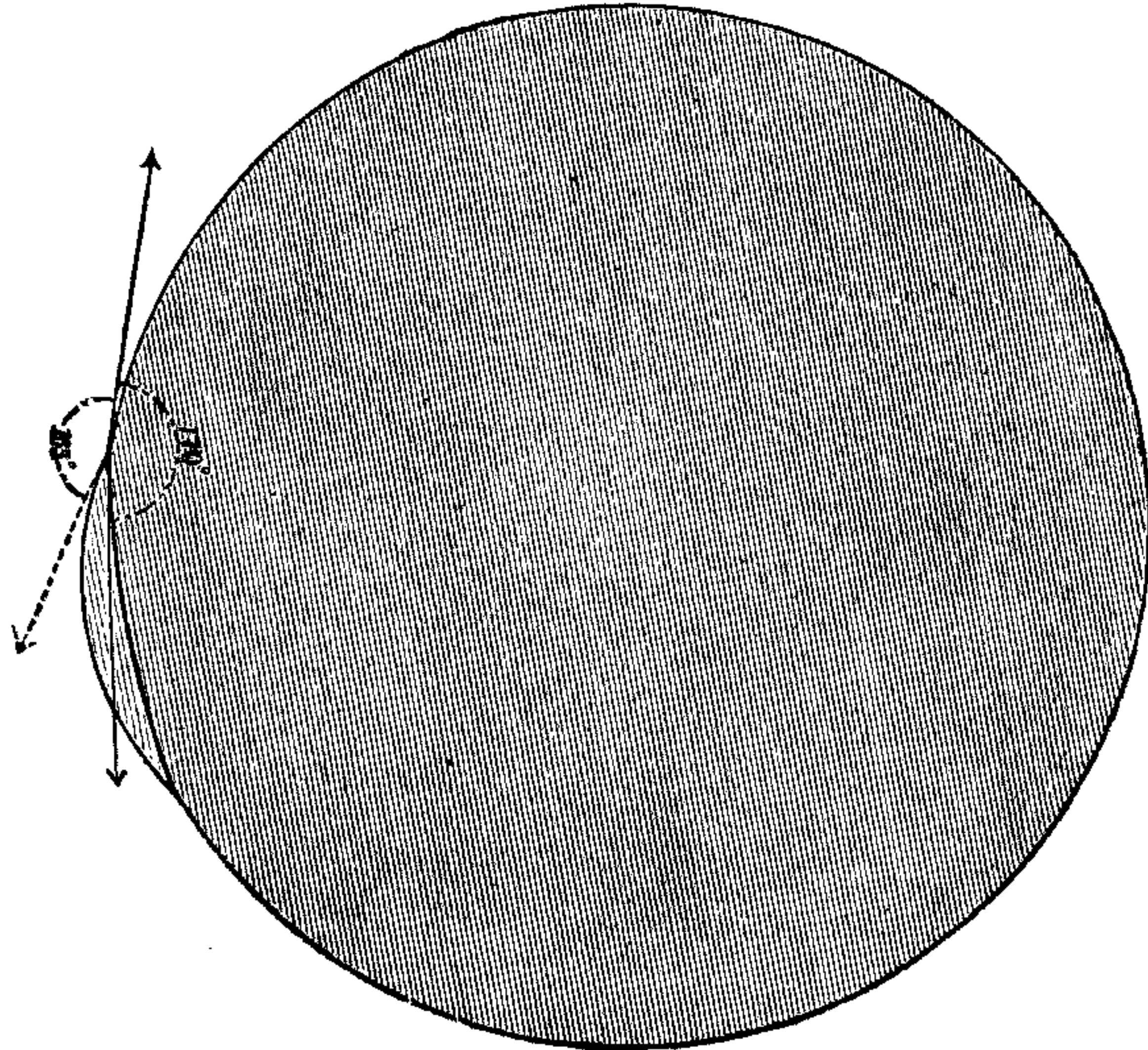


Рис. 5.

свободной поверхности жидкости. Это, именно, и будетъ съ водою, заключающейся въ стеклянномъ сосудѣ или находящейся въ

соприкосновеніи съ кускомъ стекла какой угодно формы, если только поверхность стекла совершенно чиста.

Когда двѣ не смѣшивающіяся жидкости, т. е. двѣ жидкости, натяженіе раздѣла которыхъ—положительное, приведены въ соприкосновеніе и предоставлены самимъ себѣ, причемъ исключено вліяніе силы тяжести (положимъ, въ нашей любимой лабораторіи въ центрѣ земли), то, совершивъ нѣсколько, затихающихъ вслѣдствіе вязкости, колебаній, эта сложная масса придетъ въ состояніе покоя, принявъ форму фигуры, состоящей изъ двухъ взаимно пересѣкающихся сегментовъ шаровыхъ поверхностей, образующихъ внѣшнія границы двухъ жидкихъ массъ, и изъ третьяго сегмента шаровой поверхности, проходящаго черезъ пересѣченіе первыхъ двухъ и представляющаго собой раздѣлъ между двумя жидкостями. Эти три шаровыя поверхности встрѣчаются подъ такими же тремя углами, какъ три взаимно уравновѣшивающіяся въ одной плоскости силы, величины которыхъ соответственно равны поверхностнымъ натяженіямъ внѣшнихъ поверхностей обѣихъ жидкостей и натяженію ихъ раздѣла. Рисунки 2—5 иллюстрируютъ тѣ формы, которыя получаются въ случаѣ сѣроуглерода и воды при нѣсколькихъ различныхъ отношеніяхъ объемовъ обѣихъ жидкостей [во всѣхъ этихъ рисункахъ болѣе темныя части представляютъ воду (или цинковый купоросъ)]. Когда даны объемы каждой жидкости и извѣстны углы встрѣчи этихъ трехъ поверхностей, то задача вычертить эти три шаровыя поверхности есть задача вполне опредѣленная. Это довольно интересная геометрическая задача.

Если мы оставимъ теперь на время нашу освобожденную отъ силы тяжести лабораторію и, вернувшись въ амфитеатръ Королевскаго Института, приведемъ въ соприкосновеніе двѣ наши массы жидкости, какъ я дѣлаю это теперь въ этомъ стеклянномъ сосудѣ, то у насъ одна жидкость будетъ плавать на другой, и форму, принимаемую этой плавающей жидкостью, можно будетъ изучить, для нѣсколькихъ различныхъ случаевъ, по явленіямъ, демонстрируемымъ въ этихъ бутылкахъ и стеклянныхъ стаканчикахъ и изображеннымъ въ увеличен-

номъ размѣрѣ на этихъ двухъ рисункахъ (рис. 6 и 7), которые представляютъ сѣроуглеродъ, плавающий на поверхности цинковаго купороса; а въ этомъ случаѣ (рис. 8) капля сѣроуглерода почти достигаетъ наибольшей величины, при которой она можетъ еще плавать. Вотъ стеклянка, содержимое которой

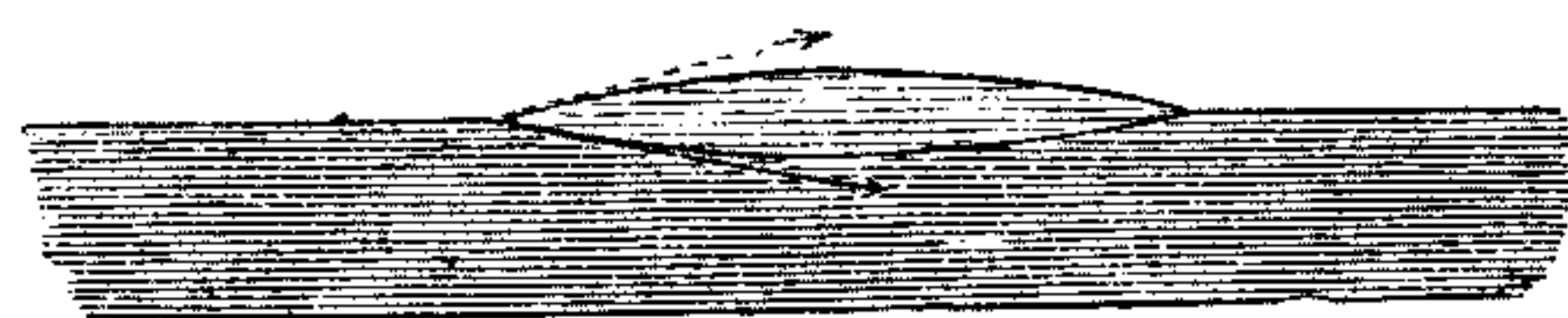


Рис. 6.

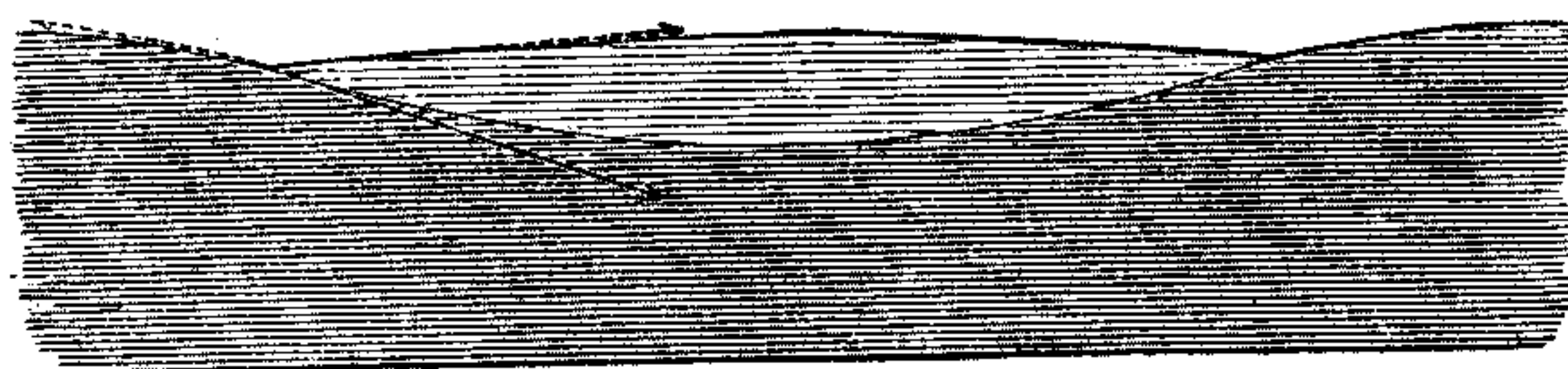


Рис. 7.

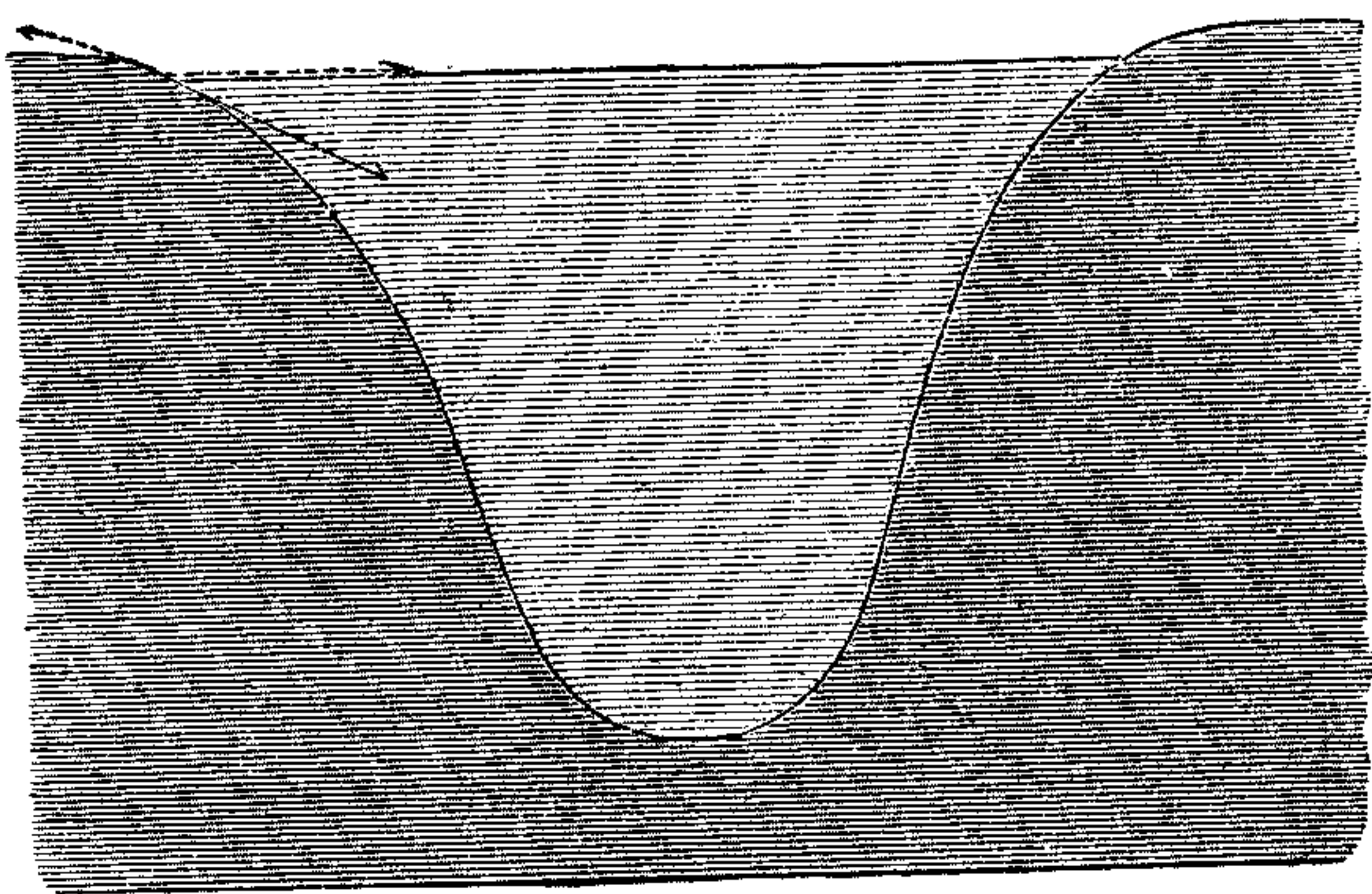


Рис. 8.

изображено на рисункѣ 8; мы увидимъ, что очень легкой толчекъ въ вертикальномъ направленіи заставляеть погрузиться всю массу сѣроуглерода. Теперь она погрузилась и, когда колебанія прекратятся, мы увидимъ, что сѣроуглеродъ принялъ форму большого шара, который держится внутри цинковаго

купороса. Теперь, припоминая, что мы снова въ центрѣ земли и что сила тяжести намъ не мѣшаетъ, предположимъ, что вещество стеклянки внезапно превратилось въ жидкій цинковый купоросъ,—въ такомъ случаѣ, эта масса превратилась бы въ составную сферу, подобную той, которая была показана на этомъ чертежѣ (рис. 3), и имѣла бы радиусъ около 8 сантиметровъ.

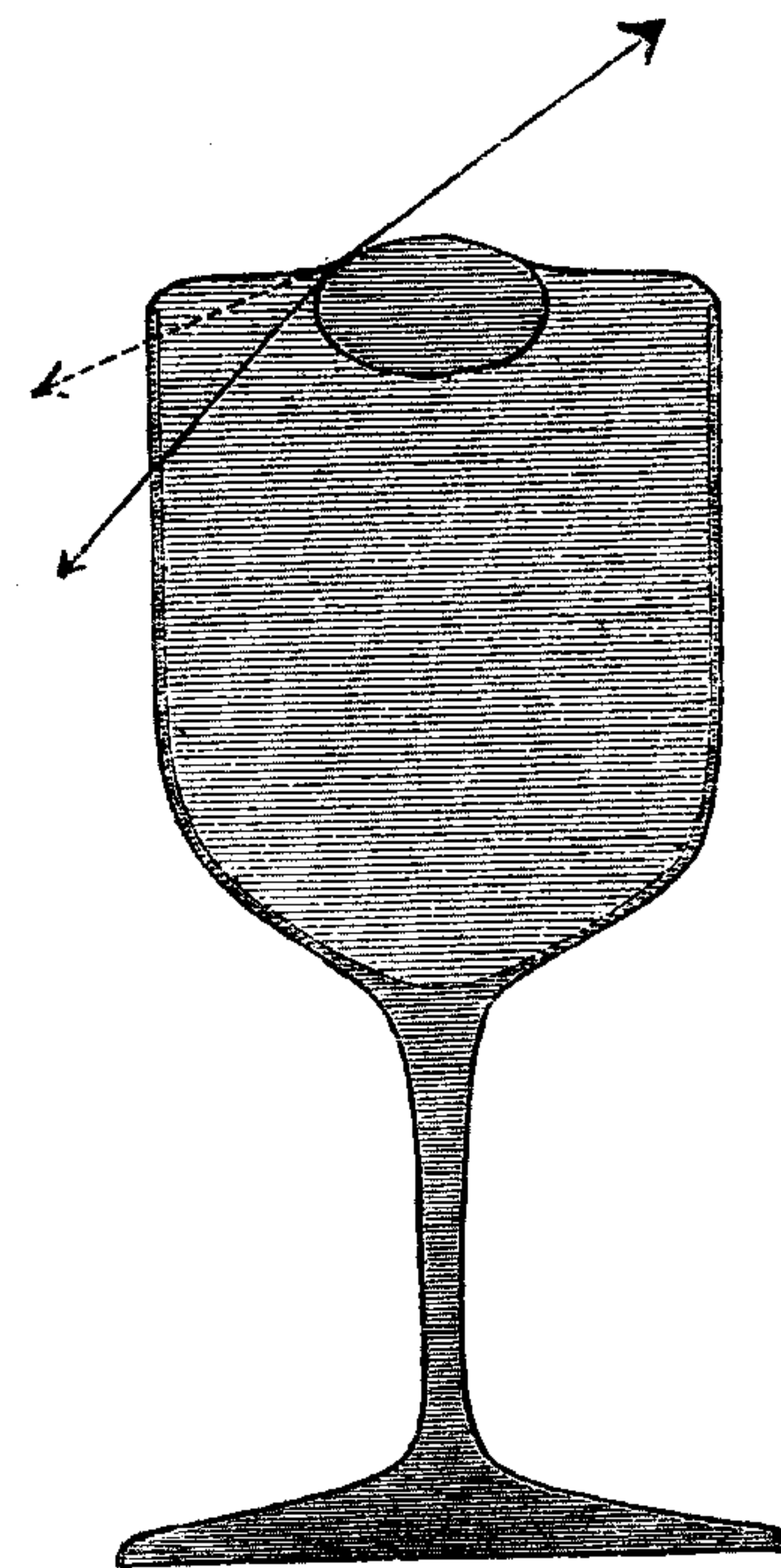


Рис. 9.

Если бы это былъ одинъ цинковый купоросъ, то при той же величинѣ періодъ его колебанія былъ бы около $5\frac{1}{2}$ секундъ.

Рис. 9 представляетъ каплю цинковаго купороса, плавающего на поверхности полной рюмки сѣроуглерода.

Наблюдая явленія при соприкосновеніи двухъ жидкостей, я нашель, что очень удобно употреблять цинковый купоросъ (который, какъ я нашель изъ опыта, имѣеть одинаковое по-

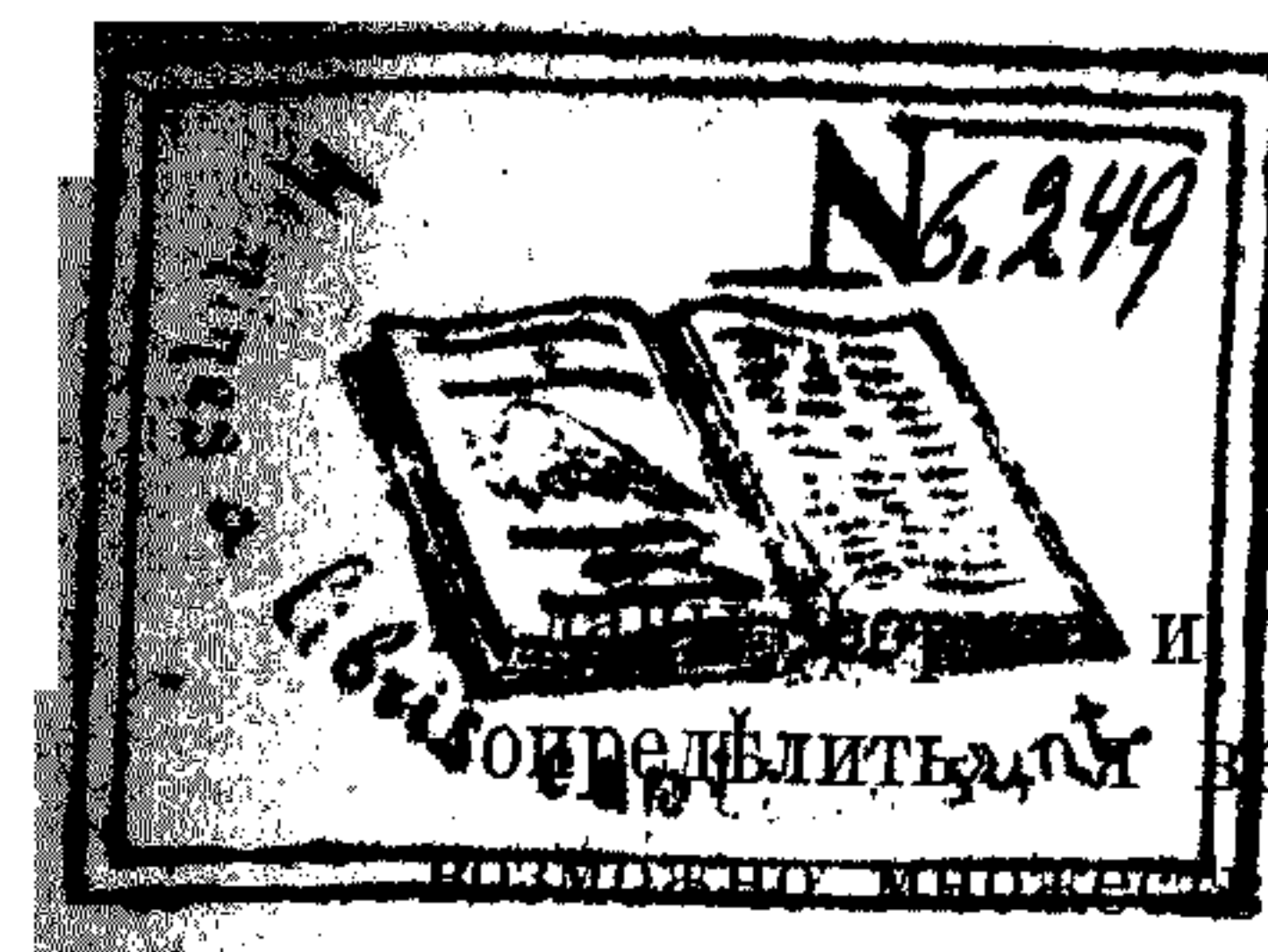
верхностное натяженіе съ водою) и сѣроуглеродъ, такъ какъ эти жидкости, будучи приведены въ соприкосновеніе, не смѣшиваются другъ съ другомъ и между ними не происходитъ,—по крайней мѣрѣ, втеченіе короткаго времени,—химическаго взаимодействія. Затѣмъ, цинковый купоросъ ¹⁾ можно сдѣлать большей, равной или меньшей плотности, чѣмъ сѣроуглеродъ, а сѣроуглеродъ можно окрасить въ болѣе или менѣе густой пурпуровый цвѣтъ, что даетъ намъ возможность легко наблюдать капли которой либо изъ этихъ жидкостей на поверхности другой. Въ трехъ стеклянкахъ, которыя находятся теперь передъ вами, прозрачная жидкость есть цинковый купоросъ,—въ одной стеклянкѣ ея плотность меньше, въ другой—равна, а въ третьей—больше, чѣмъ плотность сѣроуглерода,—и вы видите, какимъ образомъ при посредствѣ окрашеннаго сѣроуглерода можно всѣ эти явленія капель, покоящихся на поверхности жидкости или плавающихъ внутри жидкости, въ которой онѣ не диффундируютъ, наблюдать и, при соответственныхъ приспособленіяхъ, количественно опредѣлять.

Когда жидкость, находящаяся подъ вліяніемъ силы тяжести, покоится на твердомъ тѣлѣ, то она образуетъ такую фигуру, для которой разность кривизнъ свободной поверхности на различныхъ уровняхъ равна разности уровней, дѣленной на поверхностное натяженіе, выраженное въ единицахъ силы, равныхъ вѣсу единицы объема жидкости; свободная же поверхность жидкости составляетъ со свободной поверхностью твердаго тѣла уголъ, косинусъ котораго, какъ выше указано, равенъ натяженію раздѣла, дѣленному на натяженіе свободной поверхности, или же уголъ въ 180° ,—послѣднее во всѣхъ тѣхъ случаяхъ, когда отрицательно взятое натяженіе раздѣла больше натяженія свободной поверхности.

Уравненіе поверхности равновѣсія и условія на границахъ, выраженные вышеприведеннымъ образомъ словами, вполне достаточны, чтобы опредѣлить фигуру, когда данъ объемъ жидкости

¹⁾ Замѣтимъ, что здѣсь все время говорится о растворѣ цинковаго купороса въ водѣ.

(Прим. перев.).



и размѣры твердаго тѣла. Когда я говорю и выражаюсь нѣсколько двусмысленно. Понятно, о рѣшеній этой задачи, какъ, напр. въ случаѣ, когда твердое тѣло имѣетъ нѣсколько углубленій, въ которыхъ можетъ помѣститься часть жидкости или даже вся жидкость, или же нѣсколько выступовъ, на которыхъ могутъ висѣть нѣкоторыя части жидкости, или вся она.

Когда твердое тѣло симметрично вокругъ вертикальной оси то фигура, принимаемая жидкостью, есть фигура тѣла вращения, и ея форма опредѣляется уравненіемъ, переданнымъ выше словами. Общее рѣшеніе этой задачи, по способамъ дифференціального и интегрального исчисленія, превосходитъ силы математическаго анализа, но мнѣ пришелъ въ голову много лѣтъ тому назадъ слѣдующій простой графическій способъ полученія того, что въ математическомъ смыслѣ представляетъ полное рѣшеніе.

Начертимъ линію, представляющую ось этой поверхности вращения. Эта линія будетъ вертикальна въ томъ приложеніи, которое мы сейчасъ сдѣлаемъ, а потому мы и на рисункѣ будемъ называть ее и всякую линію, ей параллельную, вертикальной, а всякую линію, ей перпендикулярную,—горизонтальной. Разстояніе между двумя какими нибудь горизонтальными линіями на рисункѣ мы будемъ называть *разностью уровней*.

Проведите черезъ какую нибудь точку N оси линію NP , пересѣкающую эту ось подъ произвольнымъ угломъ (см. рис. 9 А). Изъ какой нибудь точки O , на линіи NP , какъ центра, опишите весьма малую дугу круга PP' , и пусть N' будетъ точка, въ которой линія OP' пересѣкается съ осью. Измѣрьте NP , $N'P'$ и разность уровней между точками P и P' . Обозначивъ эту послѣднюю черезъ δ

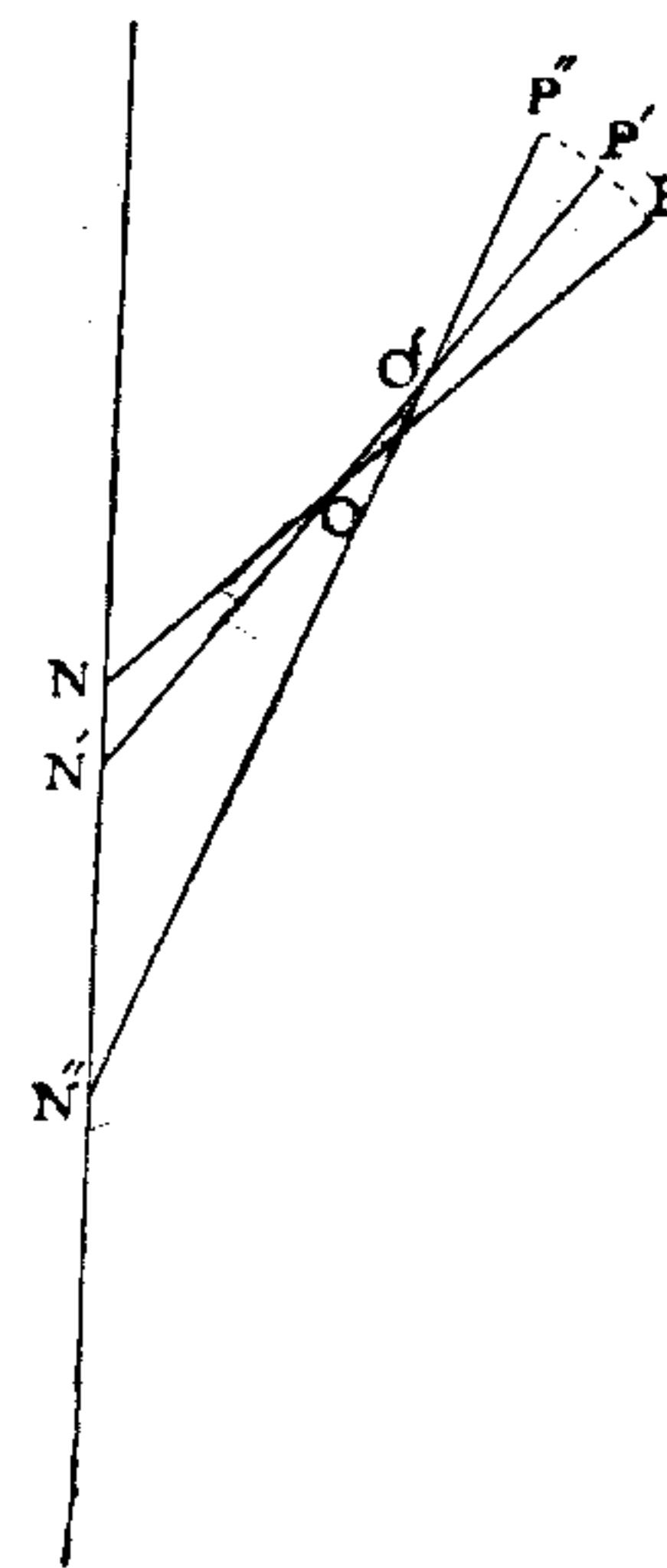


Рис. 9 А.

и взявъ линейнымъ параметромъ величину a , вычислите значеніе

$$\left(\frac{\delta}{a^2} + \frac{1}{OP} + \frac{1}{NP} - \frac{1}{NP'} \right)^{-1}.$$

Отложите эту длину на циркулѣ и, поставивъ ножку съ карандашемъ въ P' , помѣстите другую ножку въ O' на линіи $P'N'$ и изъ точки O' , какъ центра, опишите небольшую дугу, $P'P''$. Если вы будете продолжать дѣйствовать далѣе по тому же правилу, то послѣдовательныя весьма малыя дуги, вычерченныя такимъ образомъ, составятъ кривую линію, которая представляетъ собою образующую поверхности вращения, заключающей въ себѣ жидкость и соответствующей условіямъ того частнаго случая, который разсматривался.

Этотъ способъ рѣшенія уравненія капиллярныхъ поверхностей вращения оставался безъ употребленія втеченіе пятнадцати или двадцати лѣтъ, пока въ 1874 г. я не предоставилъ его г. Джону Пэрри (теперь профессору механики въ City and Guilds Institute), который занимался тогда въ лабораторіи натуральной философіи Глазговскаго университета. Онъ разработалъ этотъ вопросъ съ большою настойчивостью и умѣньемъ, и результатомъ его трудовъ явился рядъ искусно сдѣланныхъ рисунковъ, представляющихъ очень много разнообразныхъ случаевъ капиллярныхъ поверхностей вращения. Я еще не успѣлъ приготовить къ печати эти, въ высшей степени поучительные и цѣнные рисунки, но наиболѣе характеристичные изъ нихъ были воспроизведены въ увеличенномъ масштабѣ и находятся теперь на экранѣ передъ вами ¹⁾. Три рисунка,—на которые я теперь указываю (рис. 10, 11 и 12)—

¹⁾ Рисунки, о которыхъ здѣсь идетъ рѣчь, были впервые опубликованы въ видѣ рис. 10—24 отчета Nature *) объ этой лекціи (22 и 29 іюля и 19 августа 1886). Эти рисунки суть точныя копіи съ оригинальныхъ чертежей г. Пэрри, и я считаю долгомъ указать на добросовѣстность и вниманіе, съ которыми отнесся къ своей работѣ г. Куперъ, граверъ Nature.

*) См. прим. 1, стр. 1..

(Прим. перев.).

иллюстрируютъ чисто теоретическія рѣшенія, — т. е. кривыя, здѣсь нарисованныя, не представляютъ дѣйствительныхъ ка-

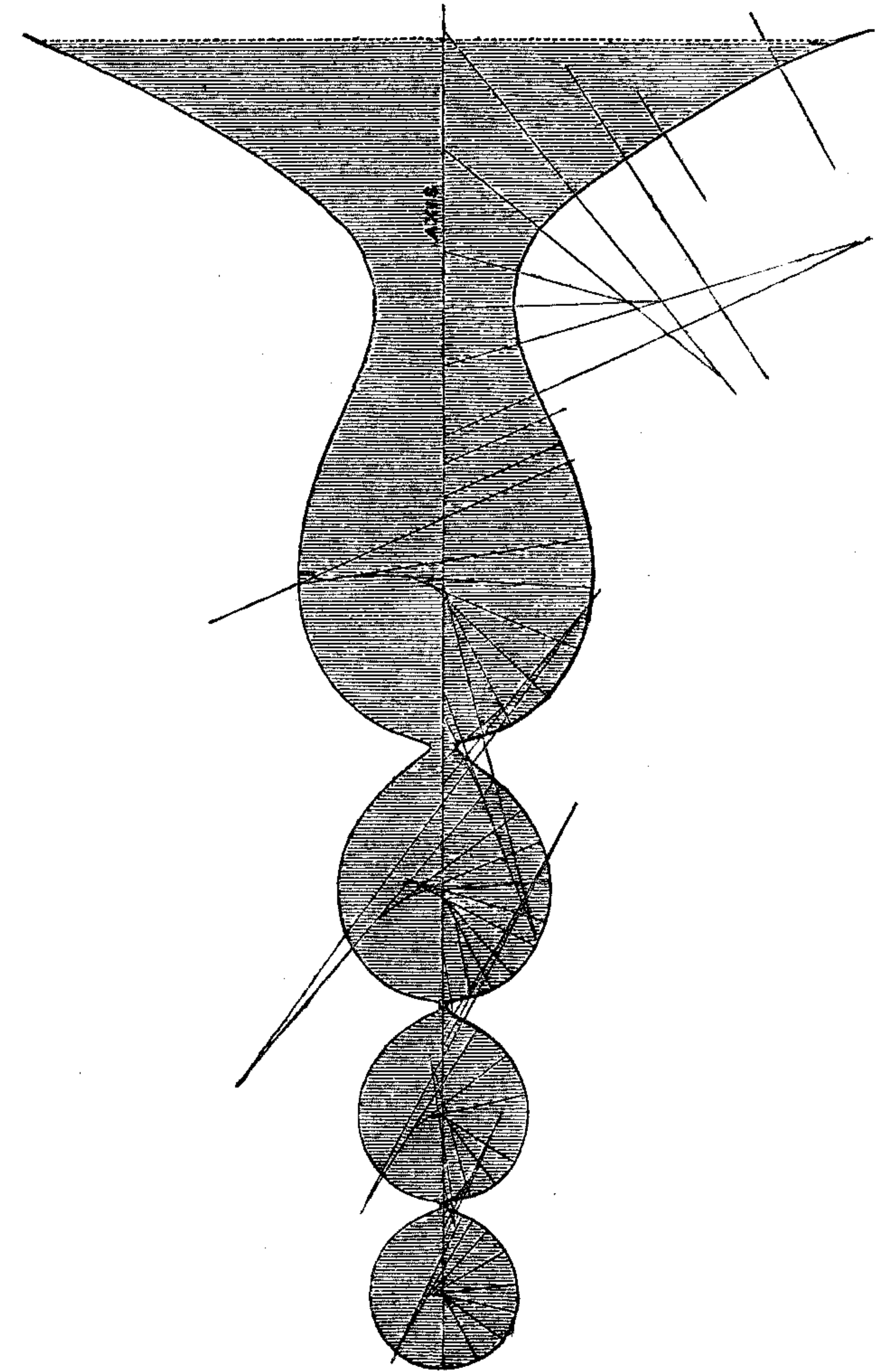


Рис. 10.

пиллярныхъ поверхностей,—впрочемъ, хотя такія математическія тонкости задачи въ высшей степени интересны и поучи-

тельны, но ихъ нельзя успѣть разобрать, какъ слѣдуетъ, въ то время, которымъ я теперь располагаю.

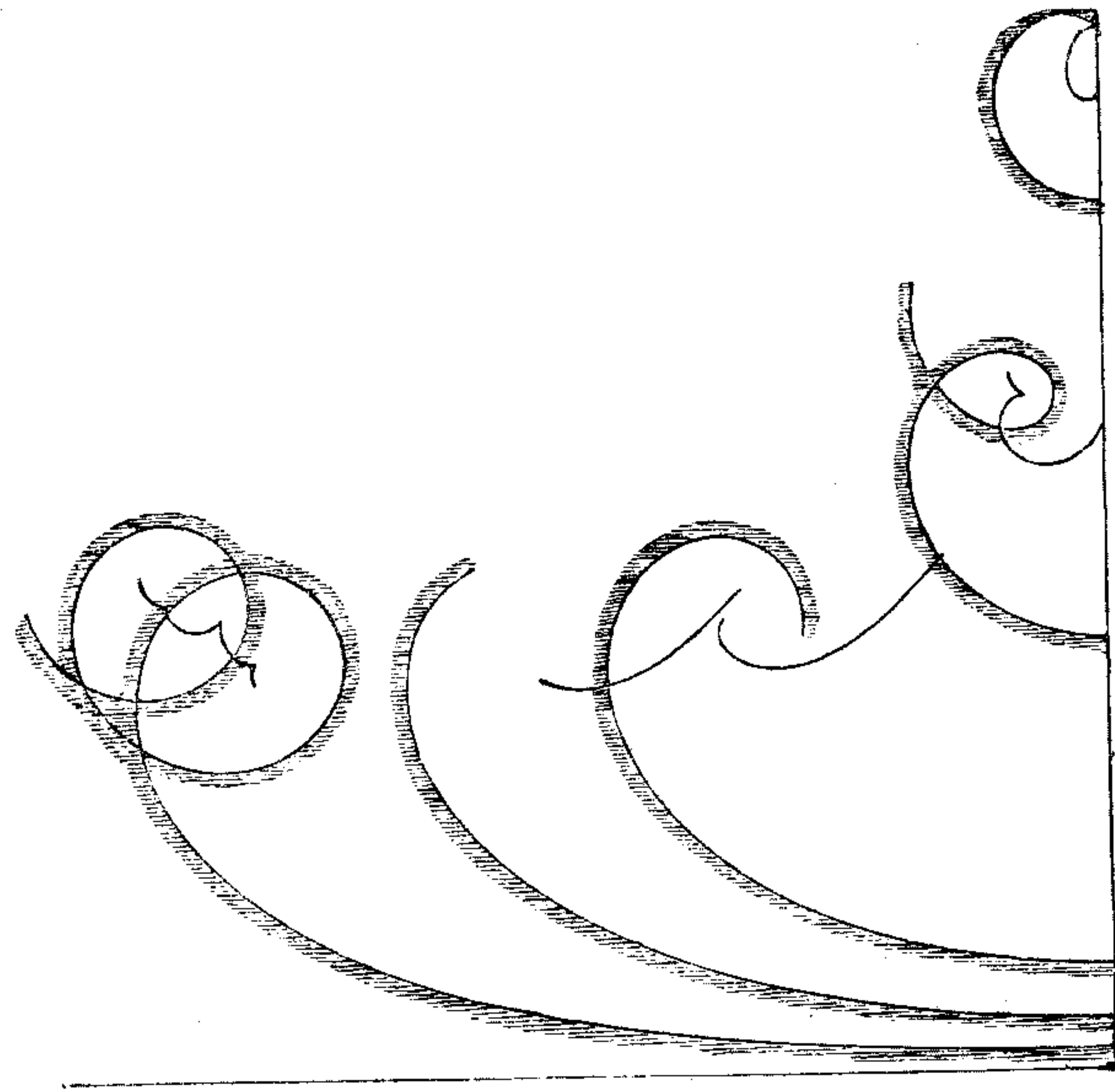


Рис. 11.

На другихъ же этихъ рисункахъ (рис. 13—28) мы видимъ нѣкоторыя части кривыхъ, долженствующихъ изображать дѣйствительныя капиллярныя поверхности въ сѣченіи. На рисункѣ 13 изображенъ твердый шаръ въ четырехъ различныхъ положеніяхъ въ соприкосновеніи съ поверхностью ртути, — а на рисункѣ 14 мы имѣемъ сѣченіе фигуры, форму которой принимаетъ ртуть, находящаяся въ ∇ -образномъ круговомъ жолобѣ. Рисунки 15—28 (стр. 26—30) представляютъ поверхности воды въ разныхъ, относительно капиллярности, случаяхъ; масштабъ для каждой серіи рисунковъ указанъ линіей, длина которой изображаетъ одинъ сантиметръ; пунктирная горизонтальная линія показываетъ положеніе свободнаго уровня воды. Рисунки достаточно ясны, чтобы не требовать никакихъ дальнѣйшихъ разъясненій, за исключеніемъ замѣчанія, что *вода*

изображена болѣе свѣтлой тѣнью, а *твердое тѣло* — болѣе темной.

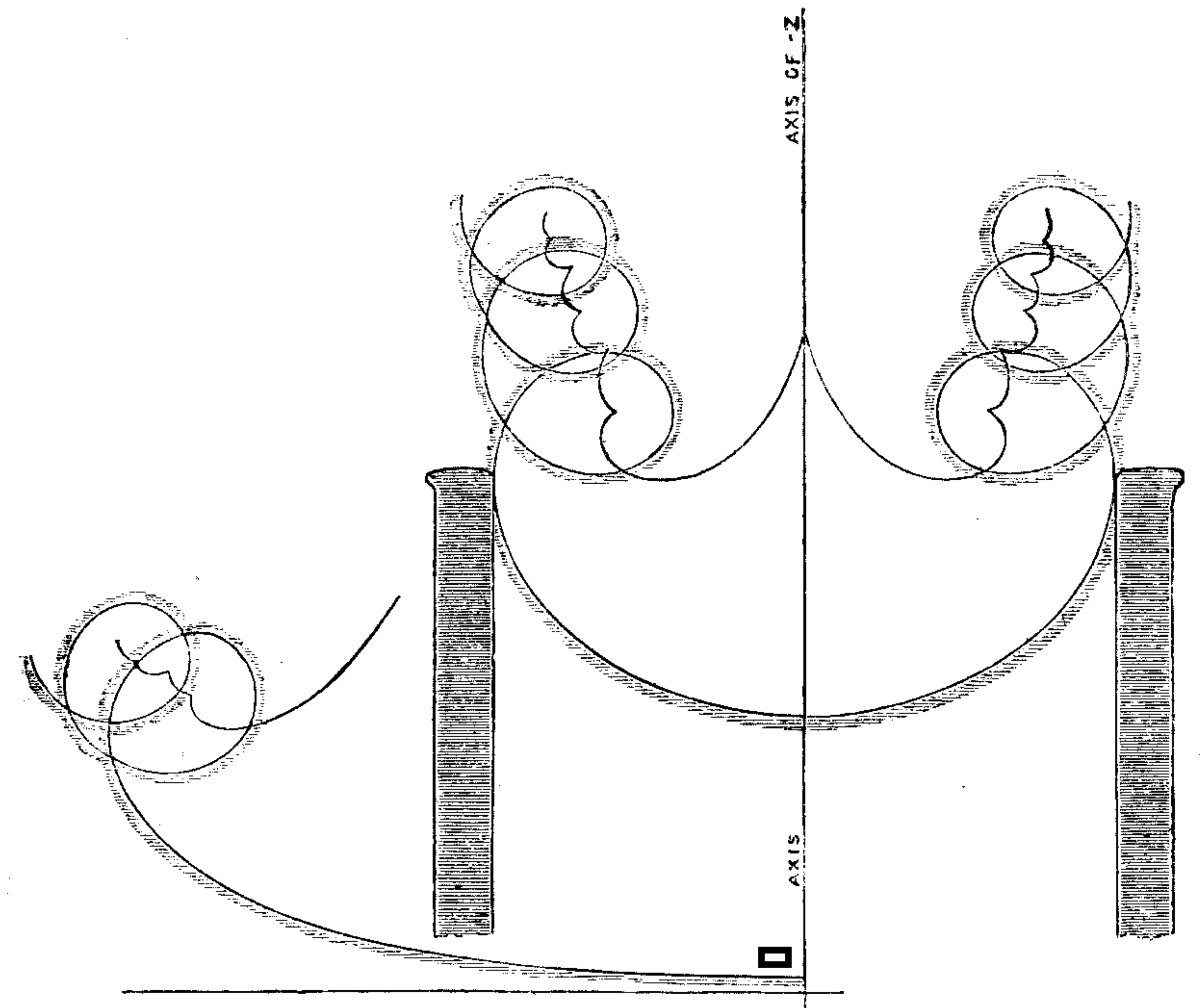
Рис. 12 ¹⁾.

Рис. 13. Ртуть въ соприкосновеніи съ твердыми шарами (скажемъ, стеклянными).

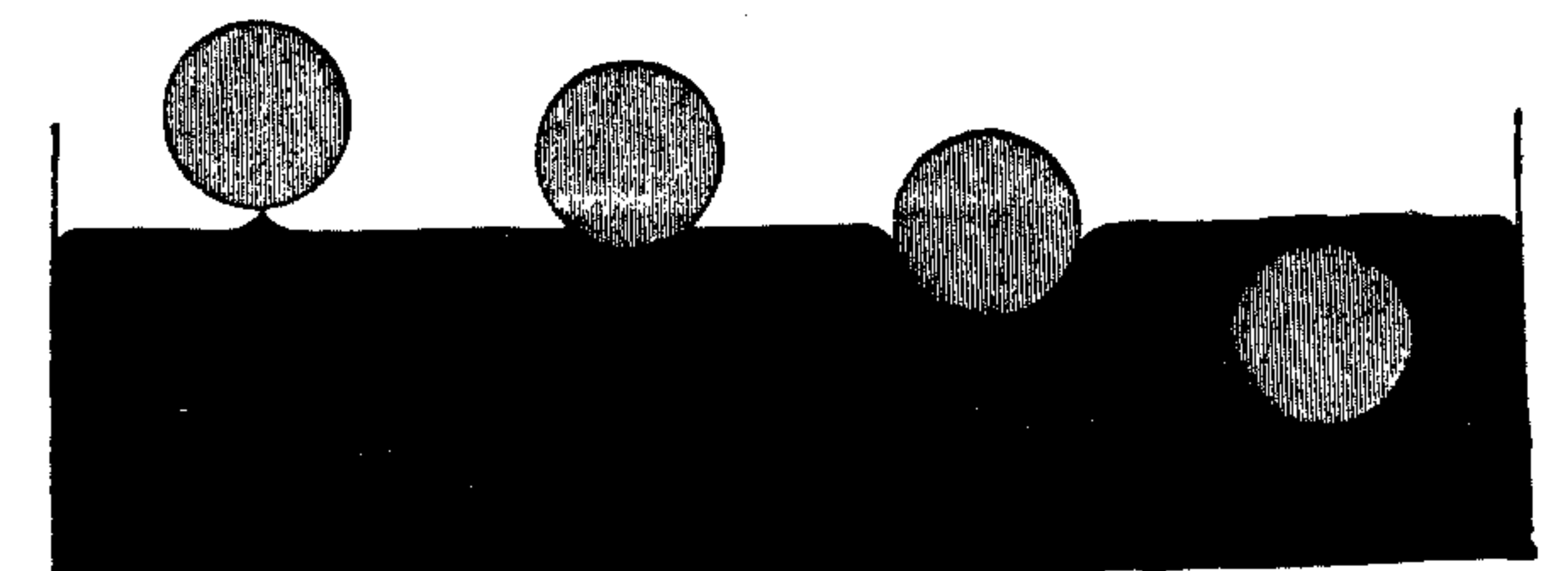
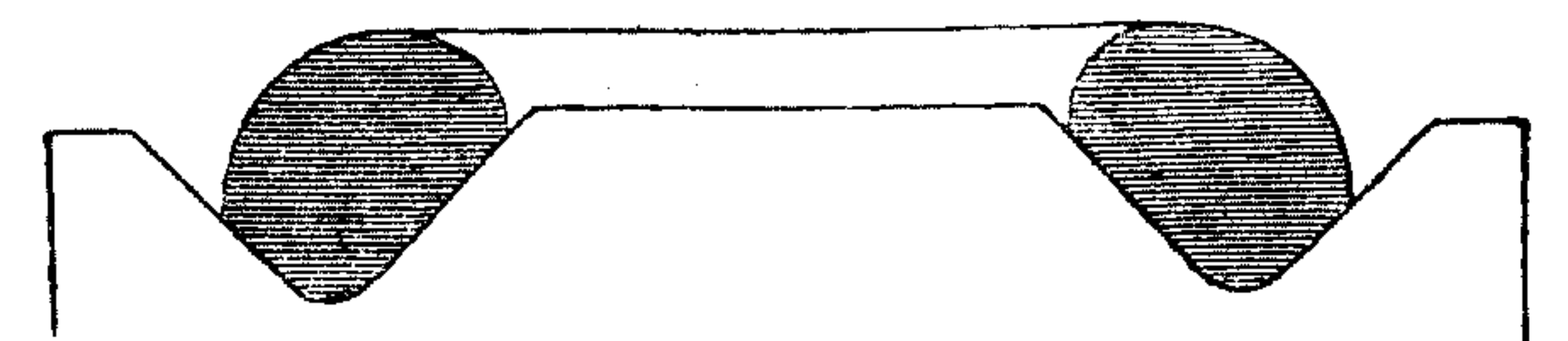


Рис. 14. Видъ ∇ -образнаго круговаго жолоба, содержащаго ртуть, въ сѣченіи.



¹⁾ Axis of Z = ось Z'овъ.

(Прим. перев.).

Мы представляли себѣ, что наши куски окрѣпшей воды внезапно дѣлались жидкими, и воображали ихъ заключенными

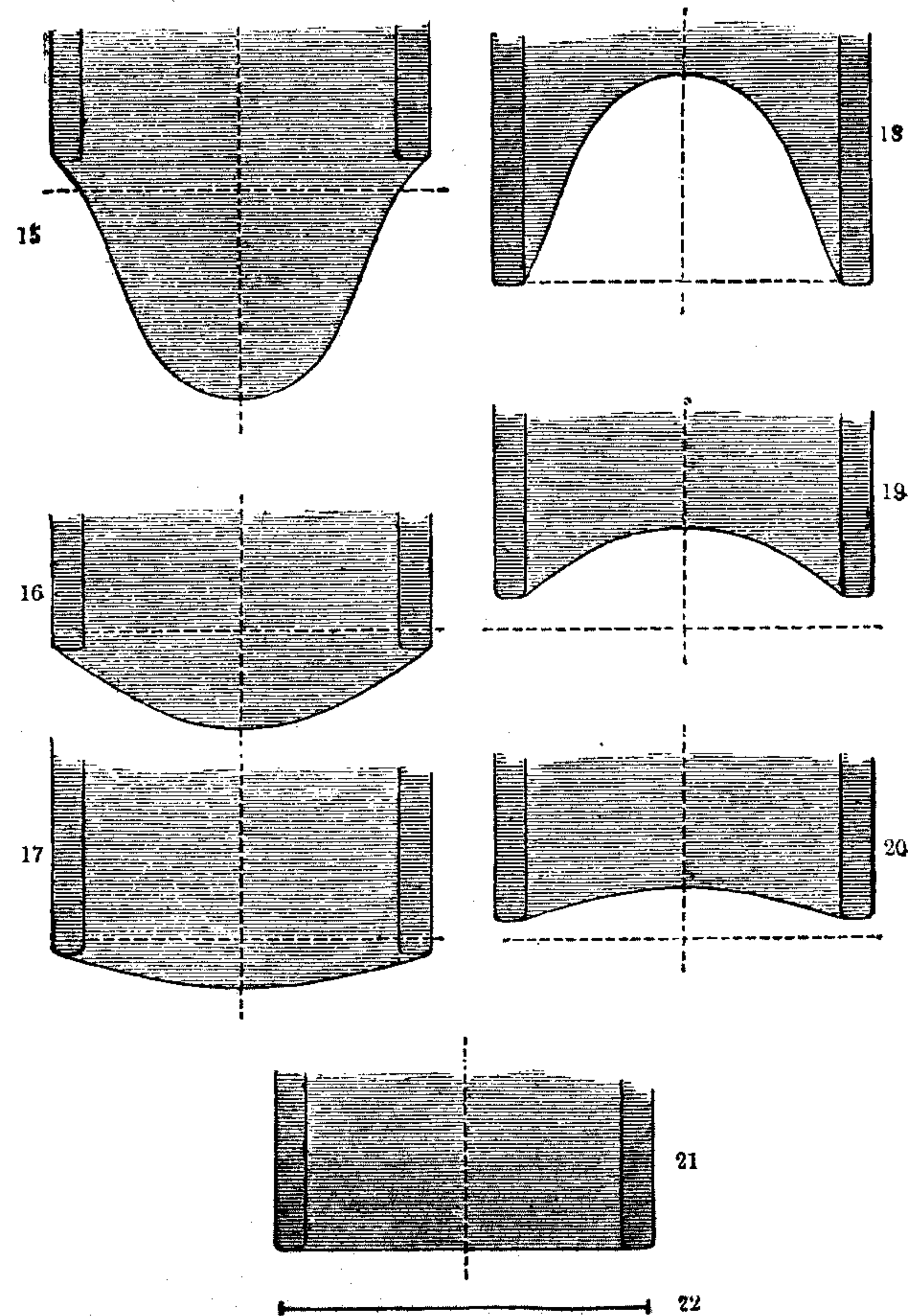


Рис. 15—22. Вода въ стеклянныхъ трубкахъ, внутренній діаметръ которыхъ можно найти при помощи рис. 22, изображающаго длину сантиметра. Пунктирная горизонтальная линія представляетъ на каждомъ рисункѣ положеніе уровня свободной поверхности.

внутри идеальныхъ стягивающихся пленокъ; у меня здѣсь есть приспособленіе, при помощи котораго я могу демонстрировать, въ увеличенномъ размѣрѣ, висящую каплю, заключенную не

въ идеальную, а въ действительную пленку, изъ тонкаго слоя каучука. Приборъ, который, вы видите, виситъ здѣсь съ потолка, есть толстое металлическое кольцо, отверстіе котораго затянута тонкимъ листомъ каучука, привязаннымъ къ нему со всѣхъ сторонъ, и натянутымъ равномерно во всѣхъ направленіяхъ—настолько сильно, насколько можно было сдѣлать это безъ особыхъ приспособленій для натягиванія каучука и привязыванія его къ кольцу, когда онъ натянуть.

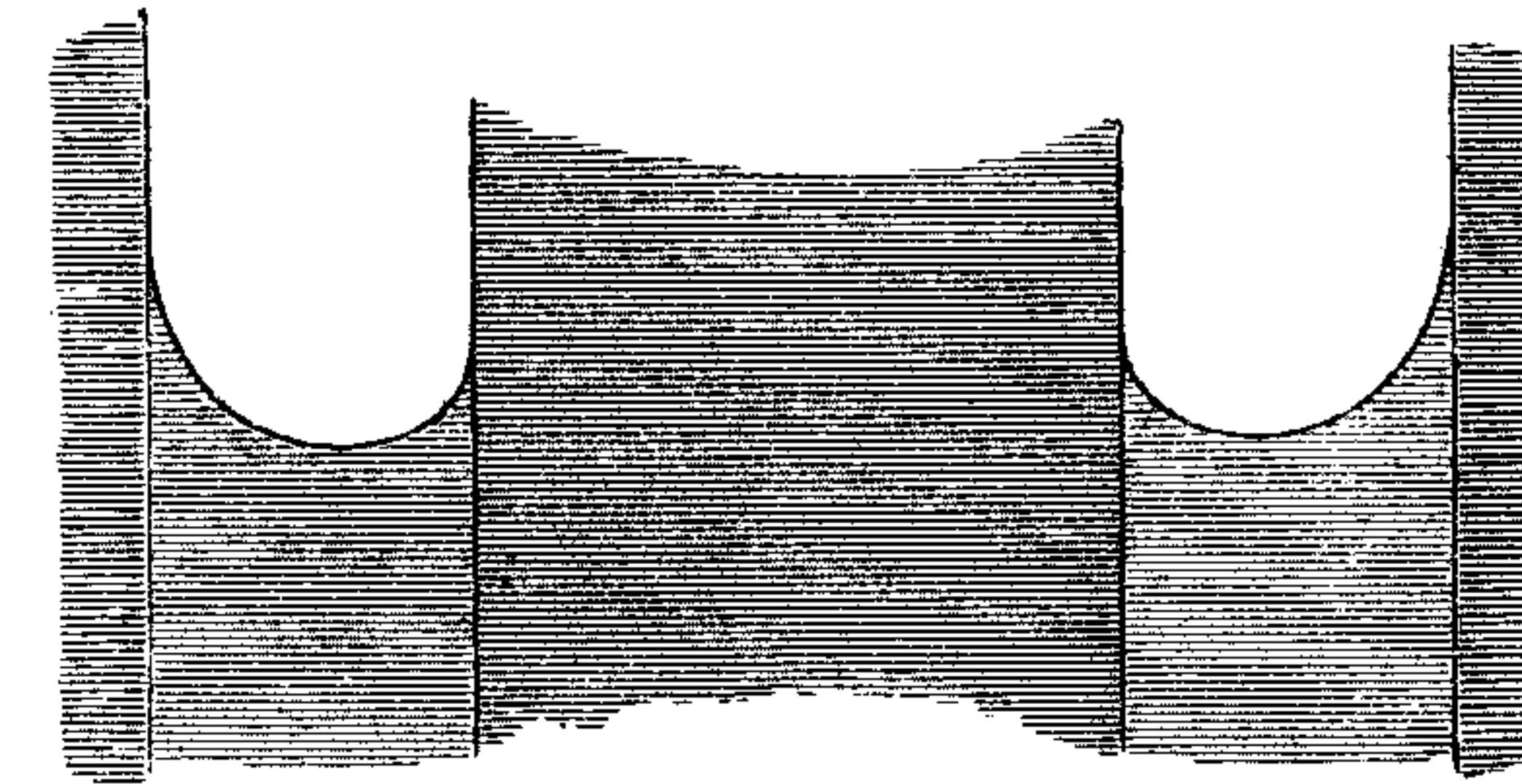


Рис. 23. Вода, находящаяся въ пространствѣ между твердымъ цилиндромъ и концентрическимъ съ нимъ полымъ цилиндромъ.

Я наливаю теперь воды, — и мы видимъ, какъ это гибкое дно принимаетъ почти совсѣмъ такую же форму, какую имѣла капля, которую вы видѣли повисшею у меня на пальцѣ, когда я погрузилъ его въ сосудъ съ водою и затѣмъ вынулъ оттуда (см. выше рис. 16). Я продолжаю вливать еще воды, и форма постепенно и медленно измѣняется, сохраняя все время общій видъ капли, — такой, какая изображена на рис. 15,—пока вдругъ, когда влито извѣстное количество воды, не происходитъ внезапной перемѣны. Эта внезапная перемѣна ¹⁾ соответствуетъ отрыванію настоящей капли воды, напр., съ носика крана самовара (tea-urn), когда кранъ на столько мало

¹⁾ Приведемъ изъ очень интересной книги Бойса «Мыльные пузыри» (Soap Bubbles), имѣющей въ французскомъ переводѣ съ дополненіями Гильома [Guillaume, Bulles de savon, Paris, 1892] (рис. 28 А, стр. 31), изображающій «нижнее» положеніе «капли» воды въ каучуковомъ мѣшкѣ въ этомъ опытѣ Томсона (капля—удлиненная). «Верхнему» положенію соответствуетъ капля болѣе плоская (какъ на рис. 15).

(Прим. перев.).

открыть, что капли образуются очень медленно. Но капля въ мѣшкѣ изъ каучука не отпадаетъ внизъ, такъ какъ натяженіе

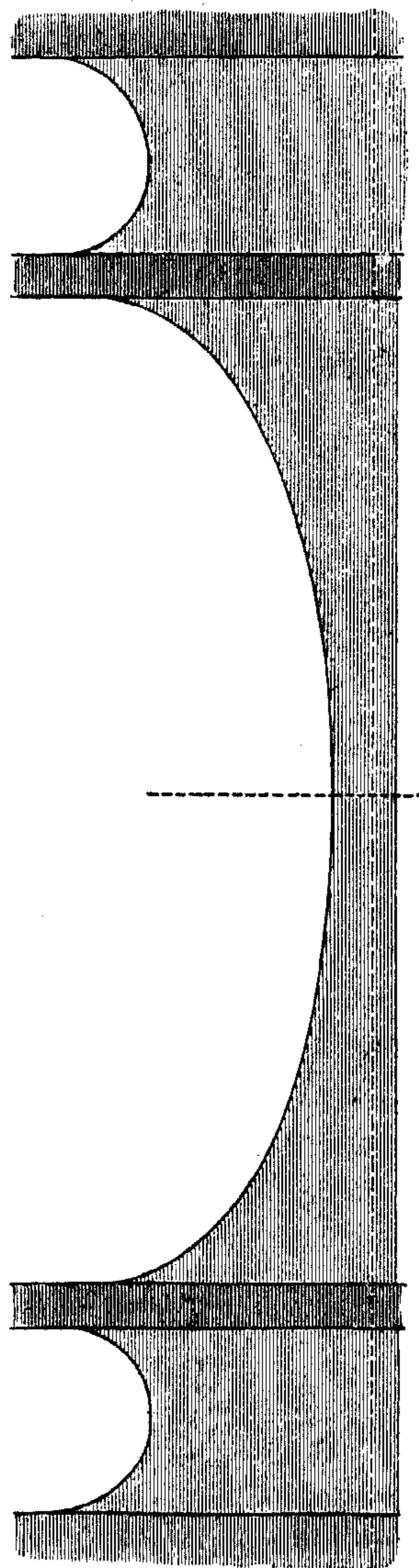


Рис. 24. Вода, заключенная въ двухъ цилиндрахъ, имѣющихъ общую ось; масштабъ изображенъ на рис. 28.

слоя каучука очень сильно увеличивается, когда онъ растянуть:

Натяженіе дѣйствительной пленки на поверхности капли воды остается постояннымъ, какъ бы велико ни было растяженіе

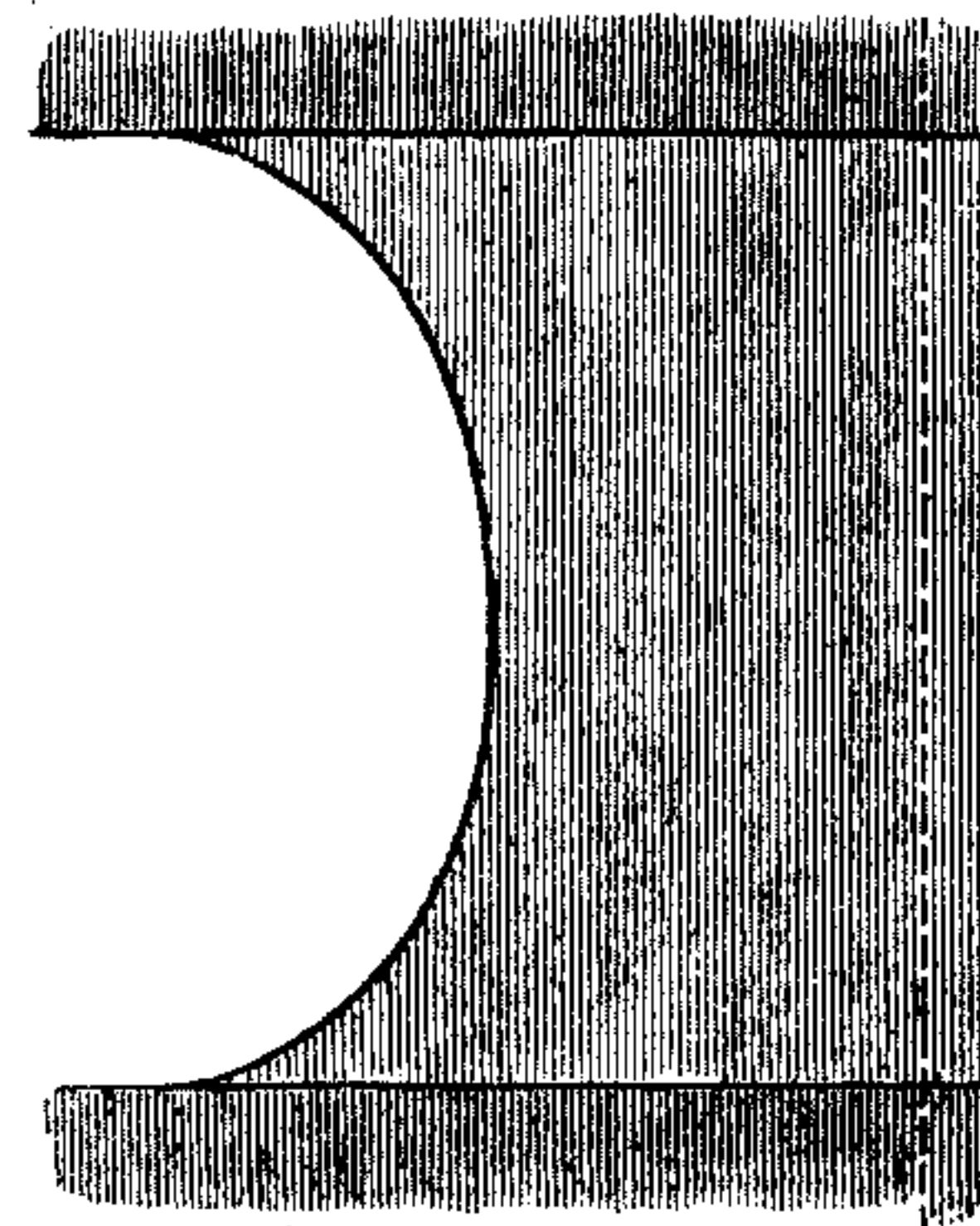


Рис. 25

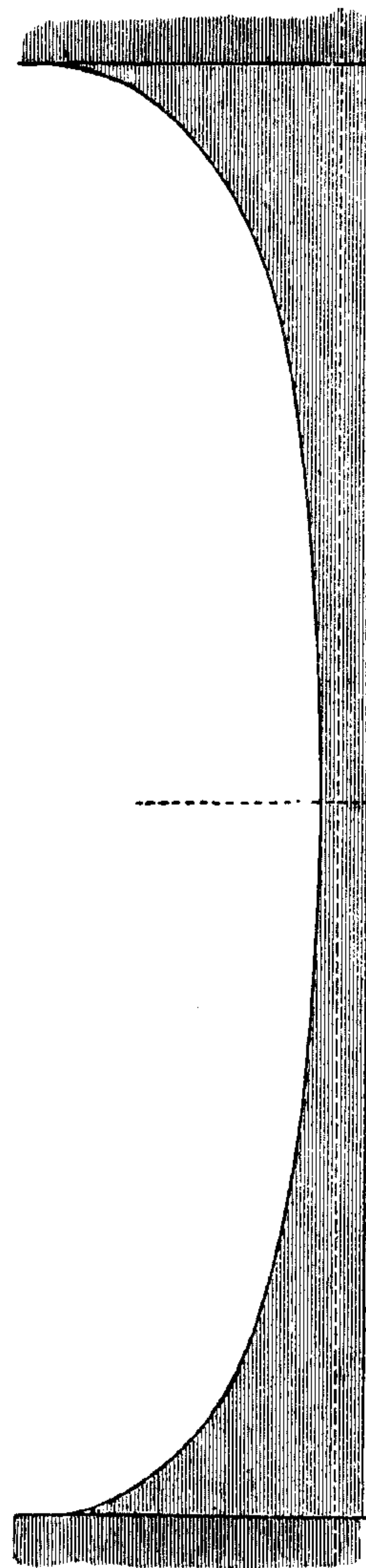


Рис. 26.

Рис. 25 и 26. Вода, находящаяся въ полыхъ цилиндрахъ (трубкахъ); масштабъ изображенъ на рис. 28.

поверхности, и потому капля отрывается, какъ только сверху добавлено достаточно воды, чтобы дать каплѣ тотъ наибольш-

шій объемъ, который можетъ висѣть на трубкѣ при тѣхъ ея размѣрахъ, какіе имѣются въ данномъ частномъ случаѣ.

Теперь я привожу въ дѣйствіе этотъ сифонъ, постепенно вытягивая часть воды, и капля, мы видимъ, постепенно уменьшается, пока снова не происходитъ внезапнаго измѣненія и она не принимаетъ формы, которую мы наблюдали (рис. 16, выше), когда я первый разъ налилъ сюда воды. Я быстро прекращаю дѣйствіе сифона, и мы теперь видимъ, что большая капля имѣетъ двѣ возможныя формы устойчиваго

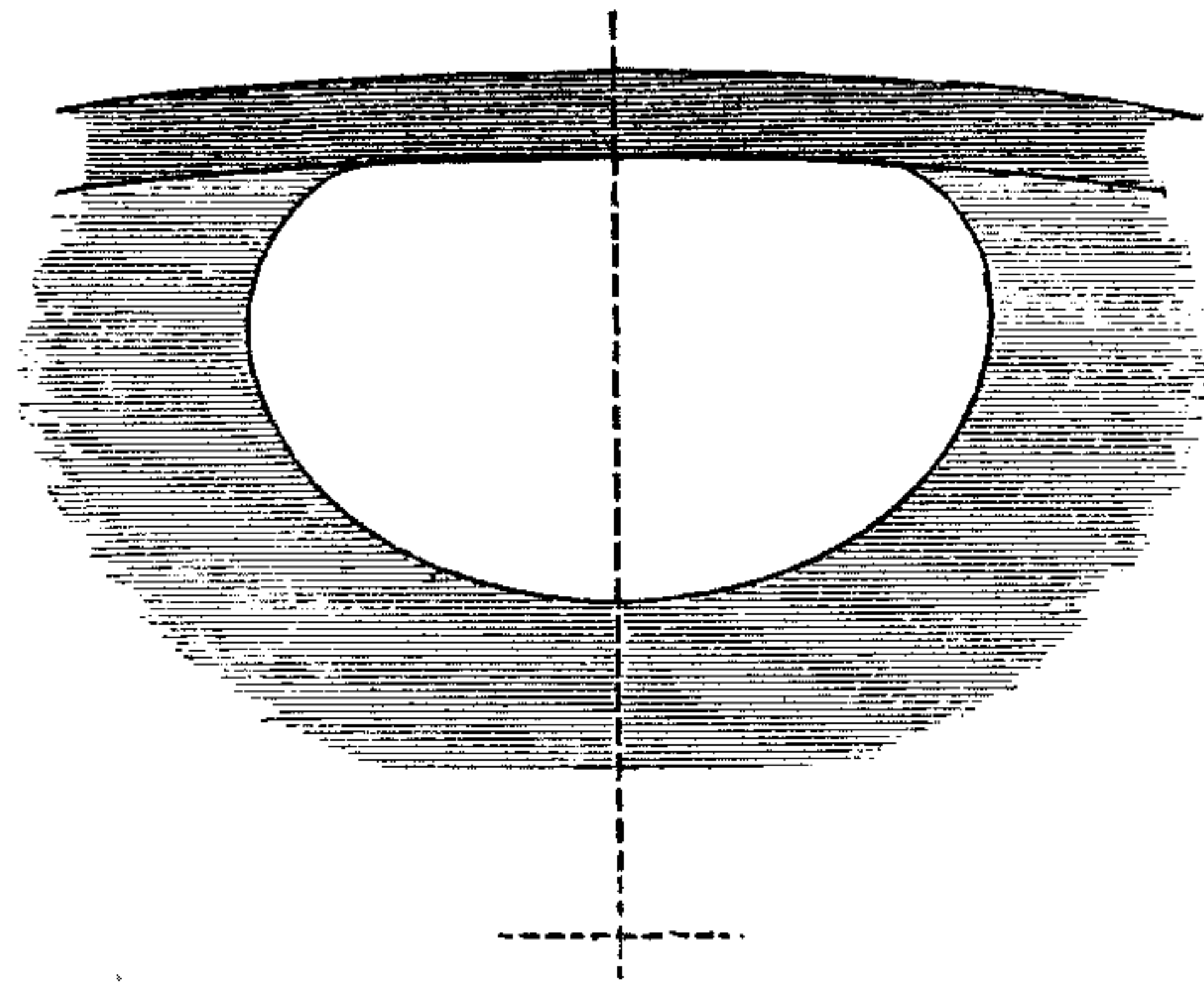


Рис. 27. Сѣченіе пузыря, воздуха въ трубкѣ уровня, наполненной водой и согнутой такъ, что ея ось есть часть окружности большаго радіуса: масштабъ изображенъ на рис. 28.



Рис. 28. Изображаетъ длину одного сантиметра для рисунковъ 24—27.

равновѣсія съ неустойчивою промежуточною между ними формою. Вотъ доказательство на опытъ этого предложенія. Взявъ каплю въ ея верхней устойчивой формѣ, я заставляю ее колебаться такъ, чтобы послѣдовательно уменьшалась и увеличивалась ея длина по оси, и вы видите, что, когда колебанія таковы, что увеличеніе длины капли, вызываемое ими, достигаетъ извѣстнаго предѣла, то происходитъ внезапное превращеніе въ нижнюю устойчивую форму и мы

можемъ оставить всю массу совершать небольшія колебанія около этой низшей формы. Теперь я увеличиваю эти небольшія колебанія, и мы видимъ, что, разъ только при одномъ изъ этихъ—увеличивающихся по амплитудѣ—колебаній вверхъ, сжатіе длины оси достигаетъ предѣла, о которомъ мы уже говорили, то снова происходитъ внезапное измѣненіе, которое я вызываю,

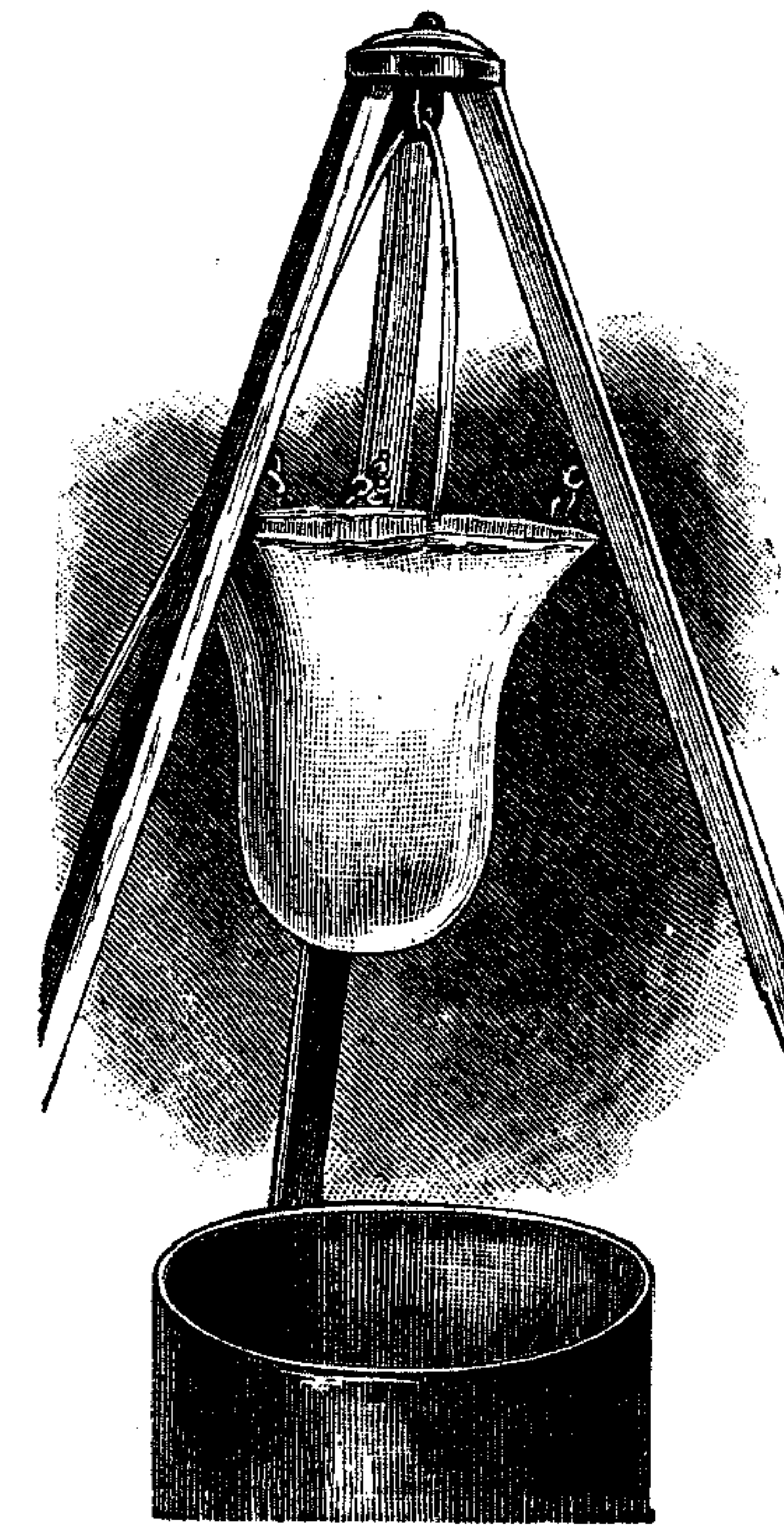


Рис. 28 А.

слегка приподымая руками каплю, — и масса принимаетъ верхнюю устойчивую форму и опять совершаетъ у насъ небольшія колебанія около этого положенія.

Два положенія устойчиваго равновѣсія и одно промежуточное неустойчивое есть любопытная особенность гидростатической задачи о формѣ воды, поддерживаемой каучукомъ такъ, какъ это имѣетъ мѣсто въ этомъ опытѣ.

У меня здѣсь имѣется простое расположеніе приборовъ, при помощи котораго, съ соответствующими оптическими средствами, какъ катетометръ и микроскопъ, мы можемъ произвести надъ дѣйствительными каплями воды, или другого жидкаго тѣла, измѣренія съ цѣлью опредѣленія величины капиллярныхъ постоянныхъ. Для устойчивости капли, висящая на концѣ открытой трубки, должна быть чуть-чуть

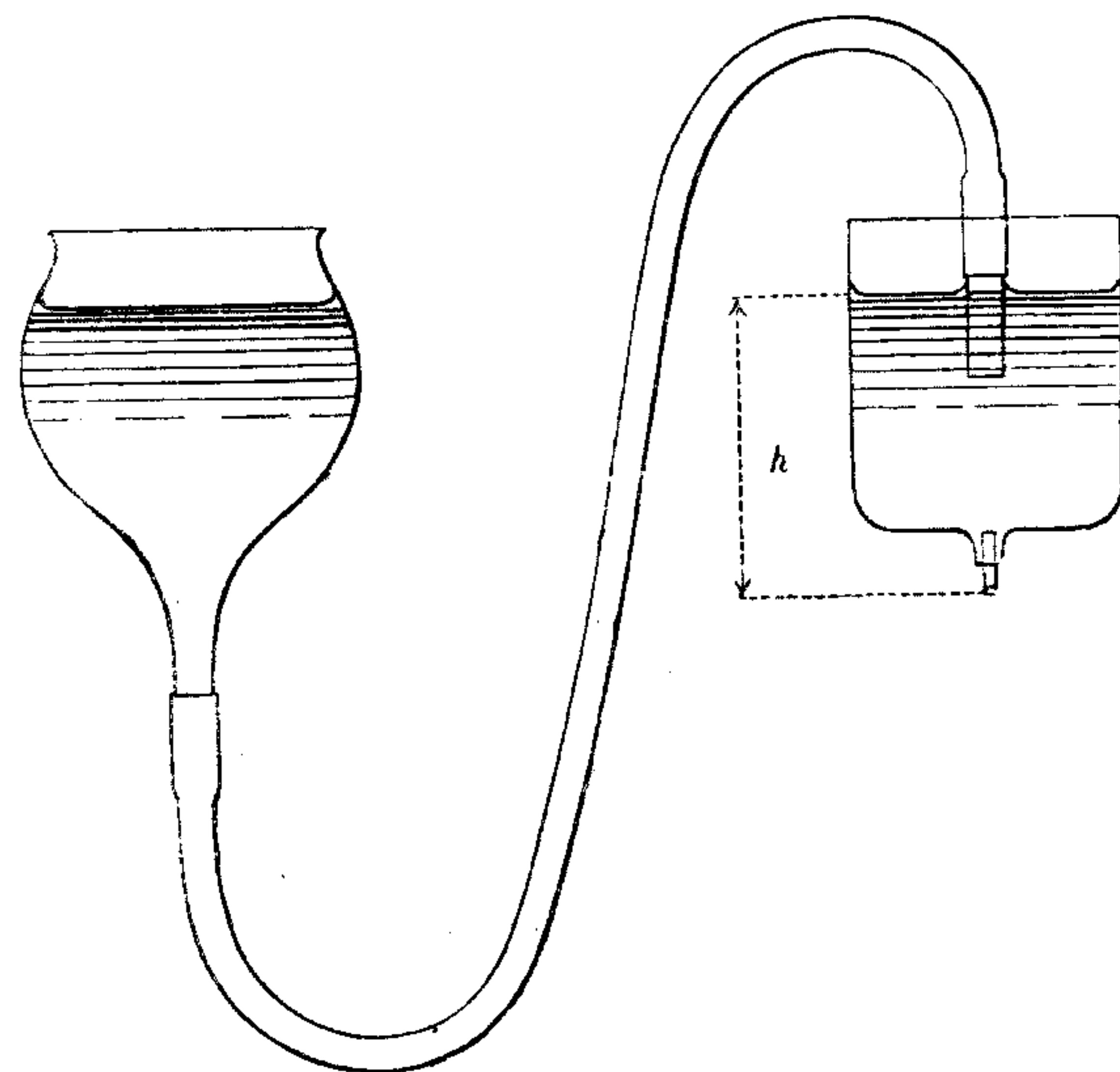


Рис. 29.

меньше полусферы, но для удобства она изображена, какъ на увеличенномъ рисункѣ кончика трубки (рис. 30), точно полусферической. При помощи сифона ¹⁾ можно измѣнять разность уровней h между уровнемъ свободной поверхности воды въ сосудѣ, къ которому прикрѣпленъ этотъ кончикъ трубки, и нижней точкой капли, висящей съ этого кончика, и затѣмъ можно измѣрять соответственныя величины h и r , радиуса кривизны капли въ нижней точкѣ ея. Это измѣреніе кривизны капли легко сдѣлать съ достаточной точностью по извѣстнымъ микроскопическимъ способамъ. Поверхностное натяженіе T

¹⁾ Рис. 29.

(Прим. перев.).

жидкости вычисляется изъ радиуса кривизны r и наблюдаемой разности уровней h по слѣдующей формулѣ:

$$\frac{2T}{r} = h;$$

такъ, напр., если изслѣдуемая жидкость есть вода, обладающая поверхностнымъ натяженіемъ въ 75 миллиграммовъ на длинѣ сантиметра, а $r=0.05$ см., то h равно тремъ сантиметрамъ.

Рис. 31, изображающій каплю чернилъ въ тотъ самый моментъ когда она отрывается съ горлышка стеклянной воронки, срисованъ съ моментальной фотографіи, любезно одолженной мнѣ

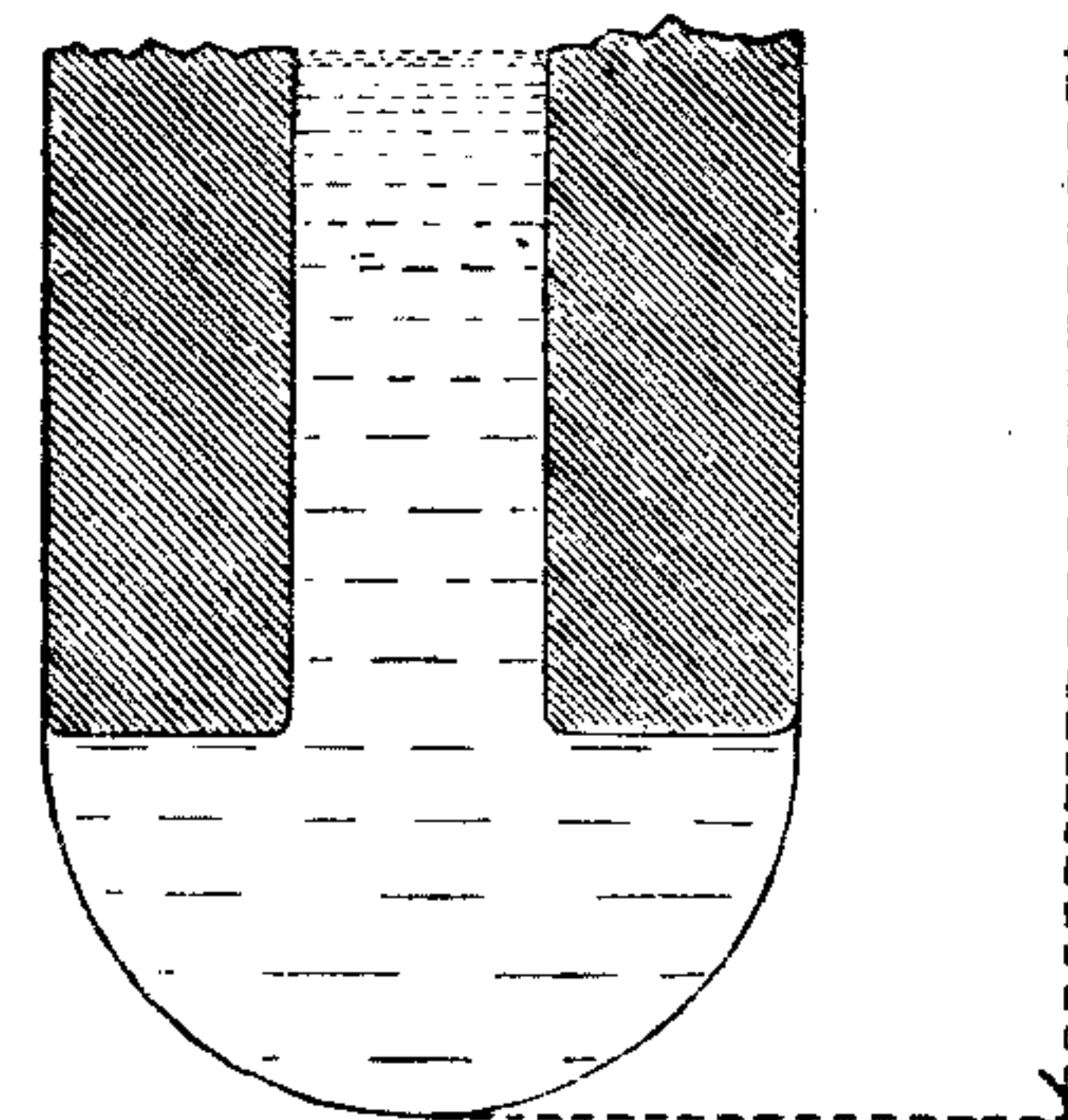


Рис. 30.



Рис. 31.

г. Грагамомъ изъ Скипнесса въ Арджильшайръ (Mr. Graham, of Skipness, Argyllshire). Онъ снялъ ее самъ на «быстроработающей пластинкѣ Ильфордъ» (Ilford quick plate) съ капли чернилъ, въ моментъ самага ея отрыва съ горлышка стеклянной воронки.

Много опытовъ можно придумать для иллюстраціи дѣйствія поверхностнаго натяженія въ тѣхъ случаяхъ, когда двѣ жидкости, у которыхъ поверхностныя натяженія очень различны, приводятся въ соприкосновеніе другъ съ другомъ. Такъ, мы

можемъ помѣстить на поверхность тонкаго слоя воды, равномерно смачивающей поверхность стеклянной пластинки или подноса, каплю алкоголя или эфира и вызвать такимъ образомъ уменьшеніе поверхностнаго натяженія жидкаго слоя въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ онъ покрытъ алкоголемъ или эфиромъ. Съ другой стороны, если у насъ есть поверхностный слой очень разведеннаго водой алкоголя, то мы можемъ, вызывая его быстрое испареніе, устроить такъ, что въ одномъ какомъ нибудь мѣстѣ будетъ отниматься часть алкоголя, и такимъ образомъ будетъ увеличиваться поверхностное натяженіе жидкаго слоя въ этомъ мѣстѣ вслѣдствіе уменьшенія тамъ процентнаго содержанія алкоголя.

Въ этомъ неглубокомъ корытцѣ, полированное стеклянное дно котораго поставлено на бѣлую бумагу, чтобы легче было видѣть тѣ явленія, которыя сейчасъ будутъ показаны, находится тонкій слой воды, окрашенной анилиномъ въ синій цвѣтъ. Теперь, когда я пускаю на поверхность воды небольшое количество алкоголя изъ этой маленькой пипетки, наблюдайте, какое дѣйствіе оказываетъ приведеніе въ соприкосновеніе поверхности алкоголя, имѣющаго натяженіе всего въ 25·5 динъ на линейный сантиметръ, съ поверхностью воды, имѣющей поверхностное натяженіе въ 75 динъ на линейный сантиметръ. Посмотрите, какъ вода, такъ сказать, оттягивается во всѣ стороны отъ алкоголя, образуя круглый валикъ, окружающій углубленіе или небольшой кратеръ, который постепенно расширяется и углубляется, пока въ центрѣ совсѣмъ не обнажится стеклянная пластинка и жидкость не поднимется вокругъ него въ видѣ круглаго возвышенія. Точно также, когда я провожу кисточкой, смоченной въ алкогольъ, линію поперекъ корытца, мы видимъ, какъ вода отступаетъ по обѣимъ сторонамъ части корытца, тронутой кисточкой. Теперь, когда я наклоню стеклянное корытце, въ высшей степени интересно наблюдать, какъ окрашенная вода, содержащая небольшую примѣсь алкоголя, стекаетъ внизъ по наклонной плоскости— сначала отдѣльными каплями, которыя затѣмъ соединяются вмѣстѣ и образуютъ тонкія непрерывныя струйки.

Эти и другія весьма извѣстныя явленія, включая сюда и интересное явленіе «слезъ крѣпкаго вина», были описаны и объяснены въ сообщеніи «о нѣкоторыхъ любопытныхъ движеніяхъ; наблюдаемыхъ на поверхностяхъ вина и другихъ спиртныхъ напитковъ», сдѣланномъ моимъ братомъ, профессоромъ Джемсомъ Томсономъ, въ секціи А Британской Ассоціаціи на съѣздѣ въ Глазго въ 1855 г. ¹⁾

Я нашелъ, что съ растворомъ, содержащимъ около 25 процентовъ алкоголя, «слезы» получаются легко и хорошо, но что ихъ совсѣмъ нельзя получить, когда процентное содержаніе алкоголя значительно меньше или значительно больше 25 процентовъ.

Въ двухъ изъ этихъ бутылокъ окрашенный растворъ содержитъ, въ одной, одинъ процентъ, а въ другой, 90 процентовъ алкоголя, и въ нихъ, вы видите, невозможно вызвать «слезы»; но, если я возьму эту третью бутылку, въ которой окрашенная жидкость заключаетъ въ себѣ 25 процентовъ алкоголя, и произведу съ нею опытъ, то вы видите,— вотъ,— «слезы» тотчасъ начинаютъ получаться. Я сначала наклоняю и поворачиваю бутылку такъ, чтобы смочить жидкостью ея внутреннюю поверхность, затѣмъ, оставляя ее въ полномъ покоѣ, я вынимаю пробку и при помощи этой бумажной трубки удаляю изъ бутылки смѣсь воздуха и паровъ алкоголя и выпускаю на мѣсто ея свѣжій воздухъ. Такимъ путемъ я вызываю испареніе алкоголя со всѣхъ поверхностей жидкости внутри бутылки, и тамъ, гдѣ жидкость имѣетъ видъ тонкой пленки, она очень быстро теряетъ бѣльшую часть своего алкоголя. Вслѣдствіе этого поверхностное натяженіе тонкой пленки жидкости на внутренней стѣнкѣ бутылки становится все больше и больше, чѣмъ поверхностное натяженіе у массы жидкости на днѣ, и въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ сходятся эти двѣ поверхности жидкости съ различными поверхностными натяженіями, у насъ и получается явленіе «слезъ». Теперь,— какъ только я ускоряю испареніе,— вы видите, какъ образуется горизонтальное кольцо жидкости и какъ оно взбирается по стѣнкамъ бутылки,— затѣмъ мы ви-

¹⁾ См. Прибавленіе А къ этой лекціи, стр. 39. (Прим. автора).

димъ, какъ подымающаяся такимъ образомъ жидкость собирается въ капли, которыя стекаютъ по стѣнкамъ и придаютъ видъ бахромы пространству, по которому, поднимаясь, прошло это жидкое кольцо ¹⁾.

Эти явленія можно также наблюдать, употребляя вмѣсто алкоголя — эфиръ, у котораго поверхностное натяженіе равно почти тремъ четвертямъ натяженія спирта. При употребленіи эфира можно кромѣ того видѣть одно весьма любопытное его дѣйствіе ²⁾. Я обмакиваю кисточку въ эфиръ и подношу ее близко, не прикасаясь, однако, къ поверхности воды. Я вижу, какъ теперь образуется углубленіе, которое становится болѣе или менѣе глубокимъ въ зависимости отъ того, будетъ ли кисточка ближе или дальше отъ нормальной поверхности воды, — и это углубленіе слѣдуетъ за кисточкою, когда я ее двигаю.

А вотъ опытъ, указывающій вліяніе тепла на поверхностное натяженіе. Часть этой оловянной пластинки покрыта тонкимъ слоемъ смолы. Я кладу эту оловянную пластинку на верхъ этого горячаго мѣднаго цилиндра, и мы сейчасъ же видимъ, какъ жидкая смола сбѣгаетъ съ части пластинки, находящейся непосредственно надъ концомъ нагрѣтаго мѣднаго цилиндра, оставляя на поверхности пластинки кружокъ, почти

¹⁾ Слѣдующія строки изъ „Теплоты“ (Heat) Клерка Максвелля, изд. 1871, стр. 273, содержатъ интересную ссылку на эту часть нашего предмета:

«Это явленіе, извѣстное подъ названіемъ слезъ крѣпкаго вина, было впервые объяснено на основаніи этихъ принциповъ профессоромъ Джемсомъ Томсономъ. Вѣроятно, что на это явленіе ссылаются въ Притчахъ, XXIII, 31 ³⁾, какъ на указаніе крѣпости вина. Движеніе прекращается въ закрытой пробкой бутылкѣ, какъ только образуется столько паровъ алкоголя, сколько нужно для равновѣсія съ жидкимъ алкоголемъ, содержащимся въ винѣ».

(Прим. автора).

²⁾ См. статью Клерка Максвелля (стр. 65) „Капиллярное Притяженіе“ ⁴⁾ въ 9-мъ изданіи Encyclopaedia Britannica. (Прим. автора).

³⁾ «Не смотри на вино, какъ оно краснѣетъ, какъ оно искрится въ чашѣ, какъ оно ухаживается ровно».

(Прим. перев.).

⁴⁾ Томсонъ вездѣ даетъ невѣрное названіе статьѣ Максвелля; — въ упомянутой энциклопедіи она озаглавлена «Капиллярное дѣйствіе» (Capillary Action), а не «Капиллярное притяженіе» (Capillary Attraction).

(Прим. перев.).

совсѣмъ свободный отъ смолы, и показывая этимъ, насколько поверхностное натяженіе горячей смолы значительно меньше, чѣмъ натяженіе холодной.

Замѣчаніе 30 января, 1886. — Уравненія (8) и (9) на стр. 59 въ статьѣ Клерка Максвелля «Капиллярное притяженіе» въ девятомъ изданіи «Encyclopaedia Britannica» не содержатъ членовъ, зависящихъ отъ взаимодѣйствія между двумя жидкостями, и изъ-за этого пропуска окончательная формула (10) и послѣдній параграфъ на этой страницѣ, напечатанный мелкимъ шрифтомъ, совершенно невѣрны. Параграфъ, непосредственно слѣдующій за уравненіемъ (10), читается такъ.

«Если эта величина положительна, то поверхность соприкосновенія будетъ стремиться стянуться и жидкости останутся раздѣленными. Если же она будетъ отрицательной, то молекулярныя силы будутъ способствовать такому перемѣщенію жидкостей, которое стремится увеличить поверхность соприкосновенія, такъ что такія жидкости, если бы ихъ не раздѣляла сила тяжести, совершенно перемѣшались бы другъ съ другомъ. Однако, еще не открыто ни одного примѣра явленій этого рода, ибо тѣ жидкости, которыя смѣшиваются сами собою, смѣшиваются вслѣдствіе процесса диффузіи, представляющаго молекулярное движеніе, а не вслѣдствіе того, что раздѣляющая ихъ поверхность внезапно сморщивается и покрывается складками, какъ было бы въ томъ случаѣ, если T было бы отрицательнымъ».

Мнѣ кажется, что этотъ взглядъ ошибоченъ, а что, наоборотъ, это «сморщиваніе», дѣйствительно, имѣетъ мѣсто, какъ *самое начало* диффузіи. То, что я высказалъ въ этой лекціи, какъ это выше изложено въ текстѣ, относительно соотношенія между натяженіемъ поверхности раздѣла и диффузіей, кажется мнѣ правильнымъ взглядомъ на этотъ случай.

Можно также сдѣлать замѣчаніе, что Клеркъ Максвелль въ напечатанномъ крупнымъ шрифтомъ и предшествующемъ уравненію (1) параграфѣ, на стр. 59, и въ примѣненіяхъ термина «потенціальная энергія» къ величинѣ E , напечатанныхъ мелкимъ

шрифтомъ, называлъ *энергій* то, что въ сущности есть потеря энергій или отрицательная энергія; та же оплошность чрезвычайно затемняетъ смыслъ мелкаго шрифта на стр. 60.

Любопытное и интересное указаніе, на верху второго столбца стр. 63, относительно капли сѣроуглерода въ соприкосновеніи съ каплей воды въ капиллярной трубкѣ приводило бы къ непрерывному движенію, будь оно вѣрно для трубки, не смоченной раньше водой на протяженіи части ея канала, — «...если капля воды и капля сѣрнистаго углерода помѣщены, соприкасаясь другъ съ другомъ, въ горизонтальной капиллярной трубкѣ, то сѣроуглеродъ будетъ гнать воду вдоль трубки».

Дополнительное замѣчаніе 5 іюня 1886.—Я старательно пробовалъ сдѣлать опытъ, указанный въ предыдущей фразѣ, и не получилъ указаннаго движенія.

ПРИБАВЛЕНІЕ А.

О нѣкоторыхъ любопытныхъ движеніяхъ, наблюдаемыхъ на поверхностяхъ вина и другихъ спиртныхъ напитковъ.

(Сообщеніе, сдѣланное профессоромъ Джемсомъ Томсономъ въ секціи А Британской Ассоціаціи на сѣздѣ въ Глазго въ 1855 г.; Brit. Assoc. Report for 1855, ч. II, стр. 16—17).

Явленія капиллярнаго притяженія въ жидкостяхъ объясняются, согласно общепринятой теоріи д-ра Юнга, существованіемъ силъ, эквивалентныхъ натяженію поверхности жидкости, одинаковому по всѣмъ направленіямъ и не зависящему отъ формы поверхности. Эта сила натяженія неодинакова у различныхъ жидкостей. Такъ, она оказывается гораздо меньше у алкоголя, чѣмъ у воды. Этотъ фактъ даетъ объясненіе нѣкоторымъ весьма любопытнымъ движеніямъ, которыя можно, при различныхъ обстоятельствахъ, наблюдать на поверхностяхъ спиртныхъ напитковъ. Одна категорія этихъ явленій заключается въ томъ, что, если на середину поверхности воды въ стаканѣ осторожно помѣстить небольшое количество спирта или крѣпкаго спиртнаго напитка, то наблюдается быстрое движеніе на поверхности воды во внѣшнюю сторону отъ того мѣста, куда былъ введенъ спиртъ. Его можно сдѣлать болѣе замѣтнымъ, если посыпать немного мелкаго порошка на поверхность воды. Другая категорія явленій состоитъ въ томъ, что, если стѣнки сосуда смочить водою выше общаго уровня жидкости и если въ достаточномъ количествѣ ввести спиртъ по срединѣ сосуда или близъ краевъ, то можно замѣтить, какъ жидкость поднимается по стѣнкамъ стакана, пока она не соберется въ нѣкоторыхъ мѣстахъ въ такомъ количествѣ, что ея вѣсъ окажется преобладающимъ, и она не упадетъ внизъ. Авторъ объясняетъ эти двѣ категоріи явленій слѣдующимъ образомъ: болѣе богатая водою части всей поверхности, имѣя большее натяженіе, чѣмъ части, болѣе богатая алкоголемъ, энергично оттягиваютъ эти послѣднія, — иногда даже настолько сильно, что образуютъ горизонтальное кольцо, которое поднимается вверхъ по внутренней поверхности сосуда и является болѣе толстымъ, чѣмъ

тотъ слой, которымъ были смочены сначала стѣнки сосуда. Въ такомъ случаѣ у различныхъ частей этого кольца или линіи получается стремленіе стянуться къ тѣмъ мѣстамъ, которыя оказались наиболѣе водянистыми,—и тогда нѣтъ устойчиваго равновѣсія, ибо тѣ мѣста кольца, у которыхъ скопляются эти различныя части жидкости, становятся сами слишкомъ тяжелыми, чтобы держаться, и падаютъ внизъ. Тотъ же способъ объясненія, если продолжить его на шагъ дальше, указываетъ причину любопытныхъ движеній, наблюдаемыхъ обыкновенно въ пленкѣ вина, пристающей къ внутренности стакана съ виномъ, когда стаканъ, частью наполненный виномъ, встряхнули такъ, что его внутренняя поверхность смочилась выше общаго уровня поверхности жидкости,—ибо, для объясненія такихъ движеній, нужно только принять во вниманіе, что тонкая пленка, прилипающая къ внутренней поверхности стакана, должна очень скоро стать болѣе водянистой, чѣмъ остальная масса, вслѣдствіе того, что испареніе спирта, содержащагося въ ней, быстрѣе испаренія воды. По этому поводу докладчикъ демонстрировалъ секція весьма убѣдительный опытъ. Онъ показалъ, что въ стеклянкѣ, наполненной немного виномъ, не происходитъ вышеописанныхъ явленій, пока стеклянка остается закрытой. Но, когда докладчикъ вынулъ пробку и сталъ удалять черезъ трубку воздухъ, насыщенный парами вина, замѣняя его такимъ образомъ свѣжимъ воздухомъ, который могъ вызвать испареніе,—то немедленно появилась жидкая пленка, которая въ видѣ горизонтальнаго кольца стала взбираться по внутренности стеклянки, а отъ нея пошли струйки, имѣвшія видъ чего-то липкаго и спускавшіяся съ нея, какъ бахрама съ занавѣси. Докладчикъ привелъ еще одинъ разительный примѣръ,—онъ налилъ воды въ плоское серебряное корытце, предварительно тщательно очищенное отъ всякихъ пленокъ, которыя могли бы помѣшать водѣ вполне смочить поверхность. Слой воды былъ глубиною около одной десятой дюйма. Когда, затѣмъ, на середину корытца было пущено немного алкоголя, вода немедленно отпрянула отъ середины, образовавъ тамъ большое углубленіе, освободившее дно корытца отъ всякой жидкости за исключеніемъ весьма тонкой пленки. Эти и другіе опыты, которые докладчикъ производилъ съ мелкимъ порошкомъ ликоподія, распыленнымъ по поверхности воды, на середину которой осторожно вводился алкоголь изъ тонкой трубки, очень просты и могутъ быть легко повторены. Докладчикъ указалъ, что онъ еще не въ состояніи дать полное объясненіе нѣкоторымъ любопытнымъ обратнымъ потокамъ, которые были демонстрированы при помощи этого порошка на поверхности. Онъ упомянулъ объ очень интересныхъ явленіяхъ, наблюдавшихся раньше г. Варлеемъ и описанныхъ имъ въ пятидесятомъ томѣ «Трудахъ Общества Искусствъ» (Transactions of the Society of Arts),

и выразилъ увѣренность, что многіе изъ нихъ или даже всѣ окажутся объяснимыми на основаніи принциповъ, имъ теперь предложенныхъ.

ПРИБАВЛЕНІЕ В.

Замѣтка о тяжести и о сцѣпленіи.

(Сообщеніе, сдѣланное въ Единбургскомъ Королевскомъ Обществѣ и напечатанное въ Proc. R. S. E. ¹⁾ отъ 21 апрѣля, 1862).

Общепринятый, основанный на теоріи Босковича, взглядъ на сцѣпленіе, какъ твердыхъ, такъ и жидкихъ тѣлъ—тотъ, что это сцѣпленіе является результатомъ существованія силы притяженія между частицами матеріи, увеличивающейся, когда разстояніе становится меньше нѣкотораго весьма малаго предѣла, гораздо быстрѣе, чѣмъ слѣдуетъ по обратной пропорціональности квадрату разстоянія. Въ самомъ дѣлѣ, этотъ взглядъ можетъ показаться неизбѣжнымъ, если только вмѣстѣ съ нимъ не отбрасывается совсѣмъ идея о «притяженіи»; ибо законъ притяженія на замѣтныхъ разстояніяхъ,—Ньютоновскій законъ,—доказанный его творцомъ для разстояній, которыя не представляются несравненно меньшими размѣровъ земли, и провѣренный Маскелиномъ и Кэвендишемъ такимъ образомъ, что ни одному естествоиспытателю не представляется возможности сколько нибудь основательно сомнѣваться въ примѣнимости этого закона къ взаимодѣйствію частицъ, находящихся на разстояніи нѣсколькихъ сотъ ярдовъ или нѣсколькихъ дюймовъ,—законъ этотъ даетъ, повидимому, чрезвычайно малыя, почти незамѣтныя, силы между тѣлами такихъ массъ, какъ тѣ, надъ которыми мы производимъ опыты въ нашихъ лабораторіяхъ, въ томъ случаѣ, когда они вездѣ помѣщены какъ можно ближе другъ къ другу,—т. е. находятся въ соприкосновеніи,—и вовсе, кажется, не даетъ сколько нибудь значительнаго увеличенія притяженія, когда увеличивается площадь соприкосновенія, дѣлается ли это прижиманіемъ тѣлъ другъ къ другу, или приданіемъ имъ такой формы, что они плотно приходятся другъ къ другу на большомъ пространствѣ.

Но, если мы примемъ во вниманіе неравномѣрное распредѣленіе плотности, необходимое для всякой молекулярной теоріи матеріи, мы сейчасъ же увидимъ, что этого одного достаточно для полученія большей величины силы тяготѣнія между двумя тѣлами, помѣщенными чрезвычайно близко другъ къ другу, или между двумя частями одного и того же тѣла, и что поэтому сцѣпленіе можетъ быть объяснено безъ введе-

¹⁾ Proc. Roy. Soc. Ed. 4, № 56, 604—607.

(Прим. перев.).

нія какой либо другой силы, кромѣ силы тяготѣнія, и какого либо другого закона, кромѣ Ньютоновскаго. Для доказательства, помѣстимъ два однородныхъ куба такъ, чтобъ одна грань каждаго находилась въ полномъ соприкосновеніи съ одной гранью другого; пусть далѣе, одна треть всей массы каждаго куба будетъ сосредоточена въ очень большое число, i , квадратныхъ брусковъ, перпендикулярныхъ къ общей грани кубовъ.—и пусть остальные двѣ трети массы будутъ на время удалены. Масса каждаго бруска получается такимъ образомъ равною $\frac{1}{3i}$ всей массы, первоначально содержащейся въ каждомъ кубѣ.

Положимъ, далѣе, что эти двѣ группы брусковъ помѣщены такъ, что конецъ каждаго бруска одной группы находится въ полномъ соприкосновеніи съ концомъ какого нибудь бруска другой группы. Притяженіе между каждыми такими двумя соприкасающимися концами брусками, какъ бы малы ни были ихъ массы, можетъ быть безпредѣльно увеличиваемо, если уменьшать площадь ихъ поперечнаго сѣченія, сохраняя постоянной ихъ массу. Но общее взаимное притяженіе между обѣими группами превышаетъ въ i разъ притяженіе между каждой изъ соприкасающихся паръ и можетъ поэтому имѣть какую угодно величину, какъ бы она велика ни была, если просто уплотнить каждый брусокъ въ поперечномъ его сѣченіи, оставляя число ихъ и массу каждаго постоянными.

Теперь мы можемъ предположить, что другая треть всей массы сосредоточена въ брускахъ, параллельныхъ другой грани куба, а остальная треть—въ брускахъ, параллельныхъ третьей грани. Тогда, если помѣстимъ одинъ изъ этихъ кубовъ такъ, что какая угодно сторона его находится въ соприкосновеніи съ какой угодно стороной другого куба, и дадимъ имъ принять то относительное положеніе, къ которому они, очевидно, стремятся,— т. е. такое, въ которомъ бруска, перпендикулярные къ общей грани обоихъ кубовъ, сходятся конецъ къ концу, то простое тяготѣніе явится причиной такой силы притяженія между ними, которая можетъ имѣть сколь угодно большую величину и которая будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше отношеніе всего свободнаго пространства внутри границъ каждаго куба къ пространству, занятому веществомъ брусковъ.

Этотъ примѣръ былъ выбранъ исключительно для опредѣленности и простоты,—но ясно, что всякое волокнистое строеніе, какъ бы сложно ни были переплетены эти волокна, приведетъ къ тому же общему заключенію, лишь бы отношеніе свободнаго пространства къ пространству, занятому матеріей, было достаточно велико. Ясно, далѣе, что тотъ же самый результатъ получился бы и при какой угодно достаточно сильной неоднородности строенія, если бы только нѣкоторая не очень малая часть всей массы была такъ уплотнена въ нѣ-

которомъ непрерывномъ пространствѣ внутри тѣла, что было бы возможно, изъ любой точки этого пространства, какъ центра, описать шаровую поверхность, которая заключала бы гораздо большее количество матеріи, чѣмъ та часть всей массы тѣла, которая соотвѣтствовала бы этому объему ¹⁾).

Предлагаемая здѣсь теорія не противорѣчитъ ни одной до сихъ поръ предложенной молекулярной гипотезѣ,—непрерывности матеріи, или атомической,—конечности размѣровъ атомовъ, или центровъ силъ,—статической, или кинетической,—лишь бы въ ней было соблюдено вышеуказанное условіе.

Физика изобилуетъ очевидными указаніями, что въ строеніи матеріи есть весьма интенсивная элементарная неоднородность. Все, что есть дѣйствительно прочнаго въ несчастно такъ-называемой «атомической» теоріи химіи—это есть, кажется, предположеніе такой неоднородности для объясненія соединенія веществъ. Оно одно, правда, не объясняетъ закона опредѣленныхъ отношеній въ соединеніяхъ; но не объясняетъ его и гипотеза абсолютно крѣпкихъ конечныхъ частичекъ вещества,—и, каково бы ни было предположеніе о характерѣ строенія химическихъ соединеній, для того, чтобы достичь того, что, какъ, кажется, думаютъ нѣкоторые авторы, достигается ихъ «атомической теоріей», нужно прибавить еще динамическій законъ сродства между двумя веществами въ зависимости отъ отношенія количествъ этихъ веществъ, покоящихся или движущихся другъ около друга

Можно считать вполне удовлетворительнымъ найденный нами результатъ, что, поскольку дѣло идетъ о сѣпленіи, не нужно принимать никакихъ другихъ силъ, кромѣ силы тяготѣнія.

ПРИБАВЛЕНІЕ С.

О равновѣсіи пара на кривой поверхности жидкости.

(Сообщеніе, сдѣланное въ Единбургскомъ Королевскомъ Обществѣ 7 февраля 1870 и напечатанное въ Proc. R. S. E., т. VII, стр. 63—68).

Въ закрытомъ сосудѣ, содержащемъ только нѣкоторую жидкость и ея пары,—и то и другое при одной температурѣ,—жидкость, свободная поверхность которой повышена или понижена въ капиллярныхъ трубкахъ и вблизи твердыхъ стѣнокъ, находится въ прочномъ равновѣсіи, подчиняющемся тому же закону соотношенія между

¹⁾ Въ случаѣ равномерной плотности.

(Прим. перев.).

кривизной и давлением, какъ въ сосудахъ, имѣющихъ сообщеніе съ воздухомъ. Прочность этого равновѣсія вызываетъ физическое равновѣсіе жидкости и пара, соприкасающагося съ ней, во всѣхъ мѣстахъ ея поверхности. Но давленіе пара на различныхъ уровняхъ измѣняется по законамъ гидростатики. Слѣдовательно, давленіе насыщенныхъ паровъ, соприкасающихся съ жидкостью, измѣняется въ зависимости отъ кривизны ограничивающей поверхности,—оно меньше, когда у жидкости вогнутая поверхность, и больше, когда—выпуклая. И, если отдѣльныя части жидкости находятся въ отдѣльныхъ сосудахъ, заключенныхъ въ одинъ общій сосудъ, то ихъ свободныя поверхности не могутъ оставаться неизмѣнно ни въ какомъ иномъ относительномъ положеніи, какъ въ томъ, которое онѣ приняли бы, если бы было гидростатическое сообщеніе давленія между частями жидкости въ этихъ нѣсколькихъ сосудахъ. Съ поверхностями, лежащихъ слишкомъ высоко, должно происходить испареніе, а на поверхностяхъ, лежащихъ слишкомъ низко, должно происходить сгущеніе паровъ въ жидкость,—и это будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока не установится такое гидростатическое равновѣсіе, какое имѣло бы мѣсто, если бы давленіе свободно сообщалось изъ одного

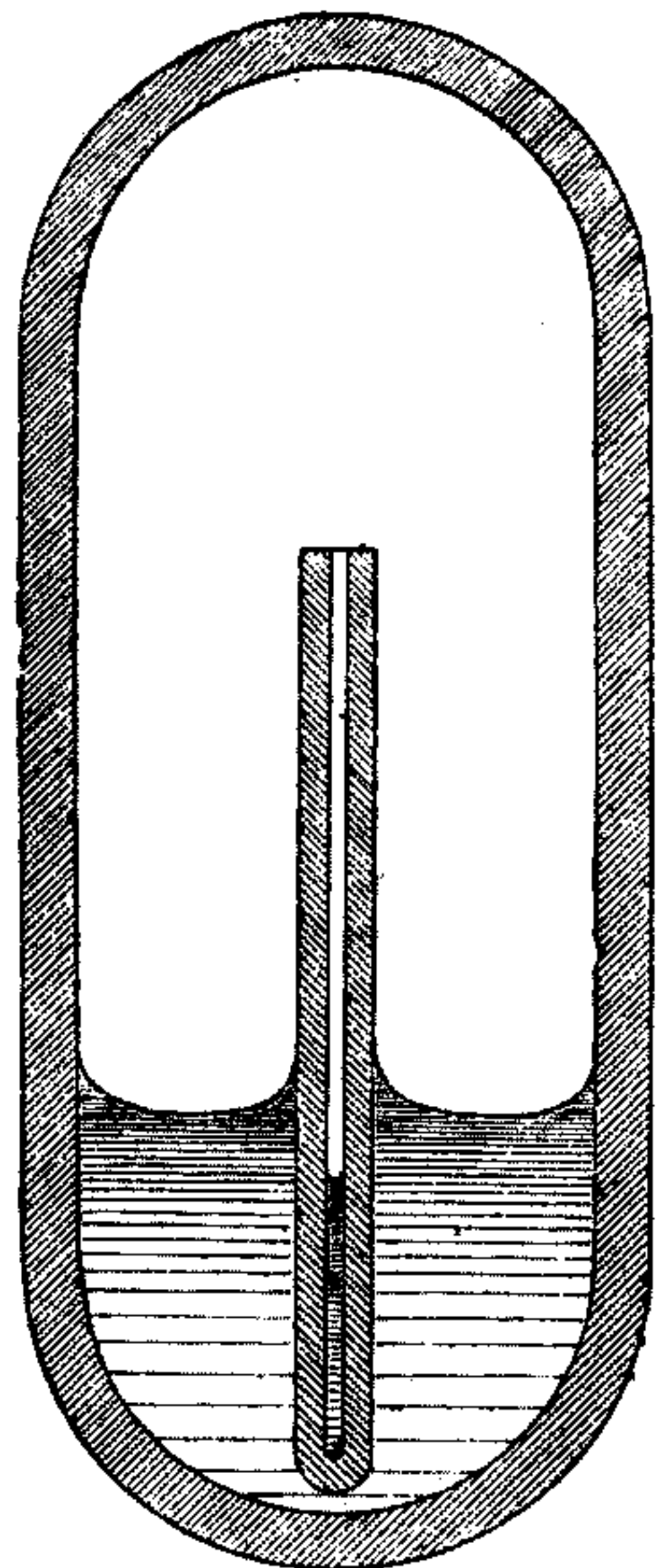


Рис. 32.

сосуда въ сосудъ. Такимъ образомъ, напр., если есть два большихъ открытых сосуда съ водою, причемъ одинъ значительно выше по уровню, чѣмъ другой, и если температура всего окружающаго будетъ поддерживаться строго постоянною, то жидкость въ выше лежащемъ сосудѣ будетъ постепенно испаряться до тѣхъ поръ, пока она вся не уйдетъ оттуда и не сгустится въ нижнемъ сосудѣ. Или, если, какъ это изображено на прилагаемомъ рисункѣ (рис. 32), капиллярная трубка съ небольшимъ количествомъ воды, занимающимъ ея низъ отъ дна до нѣкотораго уровня, будетъ помѣщена въ со-

сѣдствѣ съ большимъ количествомъ той же жидкости, имѣющимъ обширную свободную поверхность, то пары будутъ постепенно сгущаться въ капиллярной трубкѣ въ жидкость, пока уровень жидкости въ ней не будетъ тѣмъ же самымъ, какой получился бы, если бы нижній конецъ трубки сообщался гидростатически со всей массой жидкости.

остается тѣмъ же; но самые процессы испаренія и сгущенія, при помощи которыхъ происходитъ приближеніе къ равновѣсію, очень сильно замедляются присутствіемъ воздуха. Опыты Грагама и кинетическая теорія Клаузіуса и Максвелла еще почти совсѣмъ не даютъ намъ достаточныхъ данныхъ для сужденія о скорости, съ которой паръ, уходящій съ одной изъ жидкостей, будетъ диффундировать черезъ воздухъ и достигать поверхности другой жидкости, находящейся на болѣе низкомъ уровнѣ. Если этому процессу будетъ препятствовать воздухъ, имѣющій плотность, близкую къ обыкновенной атмосферной плотности, то вѣроятно, что этотъ процессъ будетъ слишкомъ медленнымъ, чтобы можно было замѣтить его результаты иначе, какъ при опытахъ, которые бы длились очень долго. Но, если удалить воздухъ настолько совершенно, насколько можно это сдѣлать при помощи общеизвѣстныхъ практическихъ способовъ, то вѣроятно, процессъ пойдетъ очень быстро; дѣйствительно, онъ долженъ былъ бы быть моментальнымъ, если бы не происходило охлажденія вслѣдствіе испаренія въ одномъ сосудѣ и нагрѣванія вслѣдствіе сгущенія въ другомъ сосудѣ. На практикѣ, слѣдовательно, быстрота приближенія раздѣленныхъ частей жидкостей къ гидростатическому равновѣсію зависитъ отъ скорости обмѣна тепла между различными этими поверхностями чрезъ посредство промежуточныхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлъ. Не произведя ни самаго опыта, ни какихъ либо вычисленій скорости проводимости тепла въ этихъ обстоятельствахъ, я убѣжденъ однако, что въ очень короткое время вода видимо бы поднялась въ капиллярной трубкѣ, изображенной на рисункѣ (рис. 32) и что, если только будетъ обращено вниманіе на то, чтобы вся поверхность герметически запаяннаго сосуда поддерживалась при одинаковой температурѣ, жидкость въ капиллярной трубкѣ скоро достигла бы той же высоты, какую она имѣла бы, если бы нижній конецъ трубки былъ открытъ; жидкость опустилась бы до этого уровня, если бы въ началѣ капиллярная трубка была слишкомъ полна, и поднялась бы до него, если бы (какъ это изображено на рисункѣ) тамъ было сначала недостаточно жидкости, чтобы удовлетворить условіямъ равновѣсія.

Слѣдующія далѣе формулы показываютъ точныя соотношенія между кривизнами, разностями уровнейъ и разностями давленій, о которыхъ мы говорили.

Пусть ρ будетъ плотность жидкости, σ —плотность пара; пусть, далѣе, T —натяженіе сѣпленія на свободной поверхности жидкости, рассчитанное на единицу длины и выраженное въ единицахъ силы, равныхъ вѣсу единицы массы. Пусть h обозначаетъ высоту какой нибудь точки P свободной поверхности жидкости надъ нѣкоторой исходною плоскостью, которую я для краткости назову плоскостью

уровня свободной поверхности. Это будетъ, безъ чувствительной ошибки, дѣйствительный уровень свободной поверхности въ тѣхъ мѣстахъ,—если есть таковыя,—отъ которыхъ ни одинъ край (или такая граничащая линія свободной поверхности, гдѣ кончается жидкость и начинается твердое тѣло) не отстоитъ менѣе, чѣмъ на нѣсколько сантиметровъ. Наконецъ, пусть r и r' — главные радіусы кривизны поверхности въ точкѣ P . По извѣстному закону уравненіемъ равновѣсія будетъ у насъ:

$$(\rho - \sigma)h = T \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right) \dots \dots \dots (1).$$

Но въ пространствѣ, занимаемомъ парами, давленіе меньше въ верхней изъ двухъ точекъ, разность высотъ которыхъ есть h , чѣмъ въ нижней, на величину, равную σh . А между парами и жидкостью во всѣхъ точкахъ свободной поверхности существуетъ прочное равновѣсіе. Отсюда слѣдуетъ, что давленіе пара, при равновѣсіи, меньше на вогнутой, чѣмъ на плоской поверхности жидкости, и меньше на плоской поверхности, чѣмъ на выпуклой, причемъ эти разности между ними равны $\frac{T\sigma}{\rho - \sigma}$ на каждую единицу разности кривизнъ. Это значитъ, что, если обозначимъ черезъ ω давленіе пара при равновѣсіи на плоской поверхности жидкости, а черезъ p —давленіе пара той же жидкости, имѣющей ту же температуру, но соприкасающейся съ паромъ по кривой поверхности, то будемъ имѣть

$$p = \omega - \frac{T\sigma}{\rho - \sigma} \left(\frac{1}{r} + \frac{1}{r'} \right) \dots \dots \dots (2),$$

гдѣ $\frac{1}{r}$ и $\frac{1}{r'}$ суть кривизны главныхъ сѣченій поверхности, разграничивающей жидкость и паръ, и считаются положительными, когда вогнутость обращена къ пару.

Строго говоря, значеніе σ , которое нужно употребить въ этихъ уравненіяхъ (1) и (2), должно было бы быть равно средней плотности вертикальнаго столба пара, возвышающагося на высоту h отъ нашей исходной плоскости. Но во всѣхъ случаяхъ, къ которымъ мы можемъ примѣнять на практикѣ эти формулы, соответственно современнымъ свѣдѣніямъ о свойствахъ матеріи, разность плотностей въ этомъ столбѣ очень мала и ею можно пренебречь. Поэтому, если обозначить черезъ H высоту надъ исходною плоскостью нѣкоторой воображаемой однородной жидкости, которая при той же плотности, какую имѣетъ паръ у этой плоскости, производила бы своимъ вѣсомъ имѣющееся въ дѣйствительности давленіе ω , будемъ имѣть:

$$\sigma = \frac{\omega}{H}.$$

Отсюда, изъ (1) и (2),

$$p = \omega \left(1 - \frac{h}{H} \right) \dots \dots \dots (3).$$

Для паровъ воды при обыкновенныхъ температурахъ атмосферы H около 1,300,000 сантиметровъ. Слѣдовательно, въ капиллярной трубкѣ, въ которой вода можетъ удерживаться на высотѣ 13 метровъ надъ плоской поверхностью, кривая поверхность воды находится въ равновѣсіи съ соприкасающимися съ ней парами тогда, когда давленіе ихъ меньше почти на $\frac{1}{1000}$ своей величины, чѣмъ то давленіе, какое соотвѣтствуетъ пару, находящемуся въ равновѣсіи на плоской поверхности воды при той же самой температурѣ.

Для воды величина T при обыкновенныхъ температурахъ около 0.08 грамма на каждый сантиметръ, а ρ , будучи массой кубическаго сантиметра, выраженной въ граммахъ, равно единицѣ. Значеніе σ для паровъ воды при любой атмосферной температурѣ такъ мало, что мы можемъ вполне пренебречь имъ въ уравненіи (1). Въ капиллярной трубкѣ, вполне хорошо смоченной водою, свободная поверхность воды почти точно полусферическая и потому, какъ r , такъ и r' —оба равны радіусу внутренней поверхности жидкой пленки, закупоривающей собою трубку поверхъ свободной жидкой поверхности,—поэтому, мы имѣемъ:

$$h = 0.08 \times \frac{2}{r}.$$

Отсюда, если $h=1300$ сантиметровъ, то $r=0.00012$ сантиметра. Не можетъ быть сомнѣній въ томъ, что теорія Лапласа примѣнима безъ существенныхъ измѣненій даже къ случаямъ, когда кривизна такъ велика (или радіусъ кривизны такъ малъ), какъ здѣсь. Но при настоящемъ состояніи нашихъ знаній мы не имѣемъ права распространять ее еще дальше. Молекулярныя силы, считаемыя въ теоріи Лапласа «незамѣтными на замѣтныхъ разстояніяхъ», несомнѣнно, почти незамѣтны (если не совсѣмъ незамѣтны) на разстояніяхъ, которыя равны длинамъ волнъ обыкновеннаго свѣта или превосходятъ ихъ. Это прямо доказывается самими поверхностными наблюденіями надъ мыльными пузырями. Но видъ чернаго пятна, которое, — появляясь передъ тѣмъ, какъ пузырю лопнуть, въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ онъ наиболѣе тонокъ, — рѣзко заканчиваетъ рядъ цвѣтовъ, дѣлаетъ несомнѣннымъ, что дѣйствіе этихъ силъ становится замѣтнымъ на разстояніяхъ, не многимъ мень-

шихъ половины длины волны или $\frac{1}{40,000}$ сантиметра. Дѣйстви- тельно, есть много разнообразныхъ доводовъ ¹⁾ въ пользу того, что, въ обыкновенныхъ твердыхъ и жидкихъ тѣлахъ, не только разстоянія, на которыхъ замѣтно междучастичное дѣйствіе, но и линейные раз- мѣры самыхъ молекулъ, и среднія разстоянія отъ центра до бли- жайшаго центра ²⁾, въ очень умѣренной степени малы въ сравне- ній съ длинами волнъ свѣта. Изъ теоріи среднихъ длинъ пути, про- ходимыхъ безъ столкновения молекулами газовъ, данной Клаузіусомъ, и изъ теоріи и опытовъ Максвелла, касающихся вязкости газовъ, можно съ нѣкоторымъ приближеніемъ получить опредѣленное поня- тіе о размѣрахъ молекулъ. Будучи совершенно увѣренъ въ реаль- ности, по существу, тѣхъ видовъ, которые открыли намъ эти великія изслѣдованія, я считаю врядъ ли возможнымъ допустить, что въ кубическомъ сантиметрѣ жидкой углекислоты или воды число ча- стицъ достигаетъ 10^{27} . А это даетъ, что въ жидкостяхъ среднее разстояніе отъ центра до ближайшаго центра превосходитъ одну ты- сяче-милліонную сантиметра!

Мы не можемъ поэтому допустить, что тѣ формулы, ко- торыя я выше далъ, приложимы для выраженія законовъ равно- вѣсія между влагою, удерживаемою такими растительными веществ- ами, какъ миткаль или овсяная мука или сухари изъ пшеничной муки при температурахъ, которыя много выше точки росы окружаю- щей атмосферы). Но, хотя энергія притяженія нѣкоторыми изъ этихъ веществъ паровъ воды такъ велика (напр., овсяная мука, высушен- ная предварительно при высокой температурѣ, была употреблена, въ оригинальномъ опытѣ сэра Дж. Лесли, для того, чтобы произвести замораживаніе воды подъ колоколомъ воздушнаго насоса), что она можетъ даже претендовать на признаніе ея химиками за «химиче- ское сродство», въ результатѣ котораго получается «химическое соединеніе», — я думаю, что поглощеніе паровъ органическими ве- ществами, волокнистаго или клѣтчатаго строенія есть свойство ма- теріи, стоящее въ непрерывной связи съ выше показаннымъ погло- щеніемъ паровъ въ капиллярныхъ трубкахъ.

¹⁾ См. далѣ статью „величина атомовъ“.

(Прим. перев.).

²⁾ Подъ „разстояніемъ отъ центра до ближайшаго центра“ я разу- мѣю сторону куба при кубическомъ расположеніи точекъ, число кото- рыхъ равно числу дѣйствительныхъ частицъ въ томъ же пространствѣ.

(Прим. автора).

³⁾ Авторъ пропустилъ, очевидно, здѣсь слова „и атмосферною вла- гою“, — безъ чего фраза является недоконченною.

(Прим. перев.).

ПРИБАВЛЕНІЕ С.

Объ измѣреніи количества масла, достаточнаго для пре- кращенія движенія камфары на водѣ.

[Сообщеніе секретаря Королевскаго Общества лорда Рэлэя, сдѣланное имъ въ Королевскомъ Обществѣ 27 марта 1890 г. и перепечатанное ¹⁾ здѣсь съ его разрѣшенія].

Движеніе маленькихъ кусочковъ камфары по поверхности воды, — явленіе, служившее загадкой для нѣсколькихъ поколѣній изслѣдова- телей, — было удовлетворительно объяснено фанъ-деръ-Менсбрюггѣ ²⁾ уменьшеніемъ поверхностнаго натяженія воды, при раствореніи въ ней этого тѣла. Чтобы вращенія кусочковъ камфары были ожив- ленными, необходимо, какъ это показалъ Томлинсонъ, соблюдать са- мую строгую чистоту. Хорошо для предосторожности подвергнуть внутреннюю поверхность сосуда предварительной обработкѣ крѣпкой сѣрной кислотой. Прикосновенія пальцемъ обыкновенно достаточно для пріостановки движеній, такъ какъ такое прикосновеніе сообщатъ поверхности воды слой жира. Когда натяженіе на поверхности воды уменьшено дѣйствіемъ жира, то различіе въ величинахъ этого натяженія, зависящее отъ различнаго количества растворенной камфары, уже является недостаточнымъ, чтобы вызывалось подобное движеніе.

Очевидно сразу, что нужное для прекращенія движенія камфары количество жира чрезвычайно мало, — такъ мало, что при обыкно- венныхъ условіяхъ опытовъ оно, какъ кажется, должно ускользать отъ нашихъ способовъ измѣренія. Однако, въ виду большого инте- реса, связаннаго съ опредѣленіемъ величины молекулъ, этотъ пред- метъ показался мнѣ достойнымъ изслѣдованія; и я нашелъ, что, уве- личивая въ достаточной мѣрѣ поверхность воды, легко можно до- стичь того, что требующіяся для данной цѣли количества жира ста- новятся на столько большими, что могутъ быть опредѣлены при по- мощи чувствительныхъ вѣсовъ.

Въ настоящихъ опытахъ единственное испробованное жирное ве- щество есть оливковое масло. Желательно, чтобы вещество, которое должно распространяться въ видѣ такого тонкаго слоя, было нераство- римо, не летуче и не скоро окислялось, — требованія, сильно огра- ничивающія выборъ.

¹⁾ Nature, 42, 43—44, 1890.

²⁾ Mémoires couronnés (in 4^o) de l'Académie de Belgique, т. XXXIV; 1869 г.

(Прим. перев.)

(Прим. автора).

Пропуская нѣкоторыя предварительныя попытки, я опишу теперь способъ, которымъ была опредѣлена толщина слоя масла, необходимаго для нашей цѣли. Вода находилась въ тазѣ (sponge-bath) очень большихъ размѣровъ. Этотъ тазъ наполнялся водою на небольшую глубину при посредствѣ резиновой трубки, соединенной съ краномъ. Диаметръ полученной такимъ образомъ круглой поверхности равнялся 84 сантиметрамъ. Масло помѣщалось на тонкой платиновой проволочкѣ малой длины и соответственной формы. Послѣ каждаго опыта проволочку чистили, прокаливая до красна, и уравнивали на вѣсахъ. Затѣмъ ей сообщали небольшое количество масла, опредѣлявшееся по разности отчетовъ вѣсовъ. Въ обоихъ взвѣшиваніяхъ проволочки по два раза отпускали арретиръ вѣсовъ, и выводимые изъ такихъ наблюдений вѣса масла, по всей вѣроятности, были точны, обыкновенно, по крайней мѣрѣ, до $\frac{1}{20}$ миллиграмма. Когда все готово, стружки камфоры помѣщаются на поверхность воды въ двухъ или трехъ мѣстахъ, очень отдаленныхъ другъ отъ друга, и приходятъ тотчасъ въ очень сильное движеніе. Въ этотъ моментъ осторожно опускаютъ покрытый масломъ конецъ проволочки, пока онъ не коснется воды. Слой масла быстро передвигается впередъ по поверхности, толкая передъ собой всякія пылинки и частицы камфоры, имъ встрѣчаемыя. Тогда поверхность воды приводится въ соприкосновеніе со всѣми мѣстами проволочки, на которыхъ можетъ находиться масло, — чтобы была увѣренность въ полномъ исчезновеніи масла. Въ двухъ-трехъ случаяхъ особымъ опытомъ провѣрили, что остававшагося при этомъ на проволочкѣ масла было недостаточно для остановки движеній камфоры даже на поверхности всего въ нѣсколько квадратныхъ сантиметровъ.

Самый лучший способъ объяснить, какимъ образомъ получались результаты, это сообщить подробности вычисленій одного изъ опытовъ, напр., второго опыта 17 декабря. Въ этомъ опытѣ 0.81 mgr. масла оказалось почти какъ разъ достаточно для остановки движеній. Объемъ масла въ кубическихъ сантиметрахъ получается, если раздѣлить 0.00081 на удѣльный вѣсъ или 0.9. Поверхность, по которой распространился этотъ объемъ масла, равна

$$\frac{1}{4} \pi \cdot 84^2 \text{ квадратныхъ сантиметрамъ,}$$

такъ что толщина слоя масла, вычисленная въ предположеніи, что плотность остается такой же, какъ и въ болѣе обычныхъ агрегатныхъ состояніяхъ, есть

$$\frac{0.00081}{0.9 \times 0.25 \pi \times 84^2} = \frac{1.63}{10^7} \text{ сантиметровъ,}$$

или 1.63 микрометра. Другіе результаты, полученные, какъ

видно будетъ, спустя значительныя промежутки времени, собраны въ нижеслѣдующей таблицѣ. Для облегченія сравненія, эти результаты расположены не въ хронологическомъ порядкѣ, а въ порядкѣ толщины слоя.

Образецъ масла, нѣсколько обезцвѣченный пребываніемъ на воздухѣ.

Число.	Вѣсъ масла.	Вычисленная толщина слоя ¹⁾ .	Дѣйствіе на кусочки камфары.
	mgr.		
17 декабря.	0.40	0.81	никакого явственнаго дѣйствія.
11 января.	0.52	1.06	чуть замѣтно.
14 января.	0.65	1.32	не совсѣмъ достаточно.
20 декабря.	0.78	1.52	почти достаточно.
11 января.	0.78	1.52	какъ разъ достаточно.
17 декабря.	0.81	1.63	какъ разъ почти достаточно.
18 декабря.	0.83	1.68	почти достаточно.
22 января.	0.84	1.70	приблизительно достаточно.
18 декабря.	0.95	1.92	какъ разъ достаточно.
17 декабря.	0.99	2.00	всѣ движенія почти совсѣмъ прекратились.
20 декабря.	1.31	2.65	вполнѣ достаточно.

Свѣжій образецъ.

28 января.	0.63	1.28	чуть замѣтно.
28 января.	1.06	2.14	какъ разъ достаточно.

Наиболѣе точно, кажется, можно опредѣлить количество масла, соответствующее моменту, когда движенія почти прекратились, но не совсѣмъ. Можетъ быть нѣкоторая неопредѣленность въ опредѣленіи

¹ См. прим. на стр. 53.

той величины, которая соответствует словамъ «почти достаточно», и можетъ быть, что эта величина слегка измѣнялась въ различныхъ случаяхъ. Но результаты представляются вполне опредѣленными и, при обстоятельствахъ опыта, очень согласными. Толщина слоя масла, необходимаго для того, чтобы уничтожить живость движеній камфоры, заключается между 1 и 2 миллионными миллиметра и можетъ быть съ нѣкоторой точностью считаема за 1·6 микромиллиметра. Предварительные опыты, полученные съ поверхностью меньшихъ размѣровъ, вполне согласуются съ этими.

Для сравненія интересно замѣтить, что толщина черныхъ частей пленокъ мыльной воды, по изслѣдованіямъ Рейнольда и Рюккера, оказалась равною 12 микромиллиметрамъ.

Представляется очень существеннымъ вопросъ, на сколько чистыми можно было предполагать эти поверхности воды въ началѣ опытовъ. Я думаю, что всякая обыкновенная поверхность воды замѣтно загрязнена, но согласіе результатовъ, приведенныхъ въ таблицѣ, заставляетъ предположить, что первоначальная пленка не сравнима съ тѣми, которыя преднамѣренно сообщались поверхности. Трудность опытовъ оказалась, на самомъ дѣлѣ, гораздо меньшей, чѣмъ я этого ожидалъ. Даже оставленіе поверхности воды на двадцать четыре часа въ воздухѣ лабораторіи ¹⁾ не дѣлаетъ ее неспособной вызывать движенія камфары.

Толщина здѣсь изслѣдованныхъ слоевъ масла, конечно, много меньше радіуса сферы дѣйствія силъ сцепленія; слѣдовательно, можно ожидать, что натяженіе маслянистой поверхности отличается отъ натяженія, которое имѣлось бы у полной пленки и слагалось бы изъ натяженія раздѣла воды съ масломъ и раздѣла масла съ воздухомъ. Точное опредѣленіе натяженія маслянистыхъ поверхностей, — дѣло не легкое. Капиллярная трубка едва ли можетъ быть здѣсь полезной, потому что нѣтъ никакой увѣренности въ томъ, что степень загрязненія внутри трубки та же, какъ и внѣ ея. Можно получить болѣе надежные результаты изъ поднятія жидкости между двумя параллельными пластинками. Въ ванну погружались двѣ пластинки стекла, раздѣленные въ углахъ тонкими листочками металла и прижатые другъ къ другу около ихъ центра. Въ одномъ опытѣ этого рода высота чистой воды оказалась равной 62. Когда небольшое количество масла, приблизительно достаточное для приостановки движеній камфоры, было сообщено поверхности воды, то оно распространилось также и по поверхности, заключенной между пластинками, и высота понизилась до 48. Послѣдующія прибавленія масла, даже въ большемъ количествѣ, не понизили уровня ниже 38.

¹⁾ На дачѣ.

(Прим. автора).

Дѣйствіе небольшого количества сапоната (oleate of soda — маслянокислый натръ) гораздо значительнѣе. Это вещество понизило высоту до 24, что показываетъ, что поверхностное натяженіе мыльной воды значительно меньше соединенныхъ натяженій поверхности воды съ масломъ и поверхности масла съ воздухомъ. По Квинке, эти послѣднія натяженія соответственно равны 2·1 и 3·8, что даетъ въ суммѣ 5·9, а натяженіе на поверхности воды съ воздухомъ равно 8·3. Когда же чистая вода замѣнена мыльной, то послѣднее число несомнѣнно падаетъ ниже половины своей величины и, слѣдовательно, гораздо ниже 5·9 ¹⁾.

[Примѣчаніе сэра В. Томсона. Толщины слоя масла, приведенныя въ предыдущей таблицѣ, какъ результаты экспериментальныхъ изслѣдованій лорда Рэля, въ 81—265 разъ больше низшаго предѣла и въ 0·4—1·3 раза высшаго предѣла, которые я указалъ для вѣроятнаго разстоянія между какой нибудь точкой воды или другой обыкновенной жидкости и соответствующей точкой ближайшей молекулы. Смотри дальше въ этой книгѣ статью «Величина атомовъ». — В. Т.]

¹⁾ Авторъ впоследствии примѣнилъ методъ «ряби» къ опредѣленію тѣхъ поверхностныхъ натяженій, о которыхъ здѣсь идетъ рѣчь. Для чистой поверхности воды онъ получилъ 74·0 дина, для поверхности, насыщенной оливковымъ масломъ—41·0, а для поверхности, насыщенной маслянокислымъ натріемъ—25·0. (Nature, 42, 578, 1890).

(Прим. перев.).

Единицы для электрических измѣреній.

[Лекція, прочитанная 3 мая 1883 г. въ Институтѣ Гражданскихъ Инженеровъ (Institution of Civil Engineers) и составлявшая одну изъ серіи въ шесть лекцій о «Практическихъ примѣненіяхъ электричества»].

Въ физикѣ, какъ наукѣ, первый существенный шагъ на пути къ изученію какого нибудь предмета состоитъ въ нахожденіи основаній для численнаго счета и отысканіи способовъ для практическаго измѣренія какого нибудь свойства, имѣющаго связь съ этимъ предметомъ. Я часто говорю, что, когда вы можете измѣрить то, о чемъ вы говорите, и можете выразить это въ числахъ, то вы кое что знаете объ этомъ; но, когда вы не можете измѣрить это, когда вы не можете выразить это въ числахъ, то ваши знанія будутъ жалкаго и неудовлетворительнаго рода; это можетъ представлять собой начало знанія, но, въ вашихъ мысляхъ, вы едва подвинулись къ тому, что заслуживаетъ названія *науки*, каковъ бы ни былъ предметъ изслѣдованія. Я могу иллюстрировать это однимъ такимъ случаемъ, въ которомъ этотъ первый шагъ еще не сдѣланъ. Твердость различныхъ твердыхъ тѣлъ, какъ драгоценные камни и металлы, выражается числомъ на основаніи чисто сравнительнаго испытанія. Алмазъ рѣжетъ рубинъ, рубинъ рѣжетъ кварцъ, кварцъ, мнѣ кажется, рѣжетъ твердую сталь, твердая сталь рѣжетъ стекло; поэтому алмазъ считается тверже рубина, рубинъ тверже кварца, кварцъ тверже твердой стали, а твердая сталь тверже стекла, но у насъ нѣтъ числовой мѣры твердости ни этихъ, ни какихъ либо другихъ твердыхъ тѣлъ. Дѣйствительно, мы не имѣемъ никакихъ свѣдѣній о модуляхъ крѣпости, или о сопротивленіи растяженію, почти ни для одного изъ драгоценныхъ камней или минераловъ, твердость которыхъ опредѣляется ми-

нералогамъ по ихъ сравнительной шкалѣ, начинающейся съ алмаза, самаго твердаго изъ всѣхъ извѣстныхъ твердыхъ тѣлъ. Мы не имѣемъ даже основаній считать, что коэффициентъ крѣпости алмаза больше коэффиціента крѣпости другихъ твердыхъ тѣлъ, и у насъ нѣтъ яснаго пониманія того, что такое представляетъ собой свойство твердости, ни того, какое оно имѣетъ отношеніе къ модулямъ упругости, или къ сопротивленію растяженію, сдвигу, или къ отношенію ¹⁾ этого вещества къ тѣмъ силамъ, которыя превышаютъ предѣлъ его упругости. Поэтому, нужно допустить, что наука о сопротивленіи матеріаловъ, имѣющая такое важное значеніе въ инженерномъ дѣлѣ, еще мало подвинулась впередъ, а та часть ея, которая относится къ такъ называемой *твердости* различныхъ твердыхъ тѣлъ, наименѣе всего, потому что въ этой части не сдѣлано даже перваго шага по направленію къ количественному измѣренію или къ расчету въ какихъ либо опредѣленныхъ единицахъ ²⁾.

Подобное же признаніе можно было сдѣлать по отношенію къ наукѣ объ электричествѣ въ томъ видѣ, въ какомъ она изучалась, десять лѣтъ тому назадъ, даже въ главнѣйшихъ физическихъ лабораторіяхъ всего свѣта. Правда, Кэвендишъ и Кулонъ въ прошедшемъ столѣтіи, а Амперъ, Пуассонъ, Гринъ, Гауссъ, Веберъ, Омъ, Ленцъ, Фарадей, Джуль, въ этомъ столѣтіи, дали намъ математическія и экспериментальныя основанія для полной системы численныхъ расчетовъ въ электричествѣ и магнетизмѣ, въ электрохиміи и въ электротермодинамикѣ;—и уже въ 1858 году было практически положено начало опредѣленнымъ электрическимъ измѣреніямъ,—въ изслѣдованіяхъ сопротивленія мѣди, сопротивленія изоляціи и электростатической индуктивной способности подводныхъ кабелей.

¹⁾ Пластичности.

(Прим. перев.).

²⁾ Замѣтимъ, что въ настоящее время есть уже попытки научнаго опредѣленія и измѣренія твердости,—укажемъ на Герца (Verh. Berl. Phys. Ges. 1882, 67), дающаго такое опредѣленіе твердости: «твердость есть предѣлъ упругости тѣла при давленіи на него другимъ тѣломъ, ограниченнымъ сферическою поверхностью», и на Ауэрбаха (Repert. der Phys. 27, 321), сдѣлавшаго нѣсколько измѣреній твердости и модуля упругости стеколъ и кварца.

(Прим. перев.).

Но прошло пятнадцать лѣтъ послѣ того, какъ было положено это начало, — и уже десять лѣтъ, какъ катушки сопротивлений и омы, и эталоны-конденсаторы и микрофарады были близко знакомы электрикамъ на фабрикахъ подводныхъ кабелей и на испытательныхъ станціяхъ, — прежде чѣмъ въ большей части научныхъ лабораторій свѣта стали регулярно производить что либо, что заслуживало бы названія электрическаго измѣренія. Я сомнѣваюсь, чтобы десять лѣтъ назадъ хоть одинъ фабрикантъ или продавецъ научныхъ приборовъ могъ сказать своимъ клиентамъ, отклоняется ли удѣльная проводимость катушекъ его гальванометра въ предѣлахъ 60 процентовъ отъ проводимости чистой мѣди, или нѣтъ; и я сомнѣваюсь, чтобы сопротивление одной изъ ста катушекъ электромагнитовъ, гальванометровъ и другихъ электромагнитныхъ приборовъ, въ университетахъ, лабораторіяхъ и аудиторіяхъ для лекцій, было извѣстно ученымъ профессорамъ, на обязанности которыхъ лежало объяснять ихъ свойства и показывать ихъ употребленіе студентамъ и ученикамъ. Но все это мы измѣнили; и теперь мы знаемъ сопротивленія нашихъ электромагнитныхъ катушекъ, вообще говоря, лучше, чѣмъ знаемъ ихъ длину; и наименѣе успѣшные студенты нашихъ физическихъ лабораторій прекрасно могутъ измѣрять сопротивленія въ довольно широкихъ предѣлахъ съ значительной точностью. Я склоненъ, въ самомъ дѣлѣ, думать, что, — съ обыкновенно употребляемыми приборами, — больше вѣроятности въ томъ, что они смогутъ измѣрить сопротивление отъ 100 до 10,000 омовъ съ точностью до $\frac{1}{10}$ процента, чѣмъ въ томъ, что ошибка въ ихъ измѣреніяхъ длины будетъ менѣе одного миллиметра на метръ. Несомнѣнно, представляется очень поразительнымъ результатъ, что въ такомъ таинственномъ явленіи, въ вопросѣ о такомъ тонкомъ свойствѣ, какъ электрическое сопротивление, которому до такой степени трудно найти опредѣленіе и которое, какъ мы узнаемъ далѣе, есть скорость, — всякій служащій на телеграфной станціи, начинающіе студенты и ассистенты въ лабораторіяхъ и даже рабочіе на станціяхъ электрическаго освѣщенія совершенно въ состояніи измѣрить, — точнѣе, чѣмъ

вы бы измѣрили длину десяти футовъ проволоки, — сопротивленіе электрическихъ проводниковъ въ опредѣленныхъ абсолютныхъ единицахъ.

Я полагаю также, что почти всякій физическій кабинетъ и лабораторія владѣетъ микрофарадой, но я опасаясь, что рѣдко извѣстна ея генеалогія; и еслибы усомниться въ ея вѣрности въ предѣлахъ 10 процентовъ, то я сомнѣваюсь, взялся ли бы, во многихъ случаяхъ, кто либо — изготовитель ли ея, или обладатель, или другой экспертъ — электрикъ — защищать ее. Что же касается до нашихъ электростатическихъ аппаратовъ, то я сознаюсь, что я не знаю емкости ни одной изъ двухъ или трехъ дюжинъ лейденскихъ банокъ, которыя перешли ко мнѣ въ 1846 г., въ кабинетъ натуральной философіи Глазговскаго университета, или тѣхъ, которыя я отъ времени до времени самъ дѣлалъ въ продолженіе тѣхъ тридцати семи лѣтъ, которыя протекли съ того времени. Я хотѣлъ бы думать, что я единственный, который долженъ сдѣлать такое признаніе, и что ни одинъ другой профессоръ натуральной философіи въ свѣтѣ не позволилъ бы поставить на столъ своей аудиторіи лейденскую банку, не будучи въ состояніи сказать своимъ студентамъ ея емкость въ абсолютной мѣрѣ. Опредѣленіе емкости лейденской банки числомъ квадратныхъ сантиметровъ покрытой станиодемъ поверхности стекла, — безъ указанія толщины и удѣльной индуктивной способности стекла, — должно было бы быть настолько же достояніемъ прошедшаго времени, насколько таковымъ представляется опредѣленіе сопротивлений проводниковъ — въ миляхъ проволоки, одинъ футъ который вѣситъ 14 гранъ, изъ обыкновенной продажной мѣди, — безъ указанія удѣльнаго сопротивления, — можетъ быть, 45 процентовъ? или 70 процентовъ? или 98 процентовъ? проводимости чистой мѣди. А что касается практическаго измѣренія электродвижущей силы, то едва миновалъ только годъ съ тѣхъ поръ, какъ мы отъ тѣхъ среднихъ вѣковъ, когда вольтъ и элементъ Даніэля считались практически тождественными, перешли къ высшимъ стремленіямъ производить измѣренія съ точностью до одного процента. Кажется, что какъ будто, въ самомъ

дѣлѣ, коммерческимъ требованіямъ приложенія электричества къ освѣщенію и другимъ потребностямъ повседневной жизни предназначено было вызвать въ практической наукѣ электрическихъ измѣреній прогрессъ, столь же важный и драгоцѣнный для высшихъ областей научныхъ изслѣдованій, какъ и тотъ, который былъ, лѣтъ двадцать-тридцать тому назадъ, вызванъ практическими требованіями подводной телеграфіи.

Не можетъ быть большей ошибки, какъ смотрѣть свысока на практическія примѣненія науки. Жизнь и душу науки представляютъ ея практическія примѣненія. Какъ въ математикѣ великіе шаги впередъ были сдѣланы изъ-за желанія открыть рѣшенія задачъ, которыя имѣли высокій практическій смыслъ въ математическихъ наукахъ, точно такъ же и въ физикѣ многіе изъ тѣхъ величайшихъ шаговъ впередъ, которые были сдѣланы съ начала міра до настоящаго времени, были сдѣланы при самомъ пламенномъ желаніи примѣнить знаніе свойствъ матеріи къ какой нибудь полезной для человѣчества цѣли.

Первый шагъ на пути къ опредѣленію въ числахъ свойствъ матеріи, послѣ простаго сравненія съ рядомъ занумерованныхъ образцовъ, какъ въ шкалѣ твердости минералоговъ, или съ произвольнымъ коммерческимъ образцомъ, какъ въ Бирмингемскомъ проволокомѣрѣ, есть открытіе какого нибудь непрерывно-измѣняющагося дѣйствія и нахожденіе способовъ наблюдать его опредѣленнымъ образомъ и измѣрять его въ нѣкоторыхъ произвольныхъ единицахъ или дѣленіяхъ шкалы. Но для завершения науки измѣреній въ какой либо области, нужно большее, а именно, нужно остановиться на чемъ нибудь, безусловно опредѣленномъ, какъ на единицѣ для расчета, что, — поскольку это касается электричества и магнетизма, — и представляетъ предметъ моей сегодняшней лекціи.

Въ электриствѣ, математическая теорія и измѣренія Кэвендиша, а въ магнетизмѣ, измѣренія Кулона дали, — лѣтъ сто тому назадъ, — необходимыя основанія для полной системы измѣреній, пятьдесятъ лѣтъ назадъ то же самое сдѣлано для электромагнетизма Амперомъ.

Я говорю объ электриствѣ, о магнетизмѣ и объ электромагнетизмѣ. Я долженъ теперь васъ предупредить, какъ о важномъ обстоятельстве въ отношенію къ нѣкоторымъ техническимъ подробностямъ, съ которыми намъ далѣе придется имѣть дѣло, что магнетизмъ нужно считать заключающимъ въ себѣ и электромагнетизмъ. Электромагнетизмъ и магнетизмъ — одно и то же. Электромагнитная и электростатическая сила, представляющіяся именно теперь весьма различными, суть двѣ вещи, которыя болѣе глубокое знаніе можетъ заставить насъ соединить въ одно, — соединить тѣмъ путемъ, который усмотрѣть въ настоящее время мы едва ли можемъ. Мы имѣемъ основанія, положенныя Кэвендишемъ для электричества, Кулономъ — для магнетизма и Амперомъ — для электромагнетизма, — основанія, которыя вполне согласуются съ тѣмъ, что мнѣ далѣе придется сказать, — по отношенію къ трудамъ Гаусса и Вебера, — о магнетизмѣ и электромагнетизмѣ. Я говорю это потому, что были нѣкоторыя небольшія пренія по поводу единицы магнитной и единицы электромагнитной, какъ будто единица магнитная можетъ быть чѣмъ либо, отличнымъ отъ единицы электромагнитной или единицы электрокинетической. Дѣло упростится, если мы будемъ имѣть въ виду просто магнитную силу, будетъ ли она зависѣть отъ стального магнита, или отъ проволоки, ведущей токъ, и не образуемъ, поскольку дѣло касается измѣреній, въ области науки о магнетизмѣ подраздѣленія, заключающаго электромагнетизмъ. Мы увидимъ, что у насъ есть два главныхъ предмета: одинъ изъ нихъ — электричество и электростатическая сила; другой — магнетизмъ и электричество въ движеніи по проводникамъ, и магнитная и электромагнитная сила. Первымъ полнымъ методомъ научнаго измѣренія для любого изъ этихъ предметовъ былъ методъ, который далъ Гауссъ въ своей системѣ абсолютныхъ измѣреній земного магнетизма, такъ блистательно осуществленной Гауссомъ и Веберомъ въ ихъ Магнитномъ Гёттингенскомъ Обществѣ, — системѣ которая дала побудительный толчокъ для всей системы абсолютныхъ измѣреній въ томъ видѣ, въ какомъ мы ее теперь имѣемъ, во всей области науки объ электриствѣ. Дѣйствительно, самъ

Веберъ, осуществивъ въ сообществѣ съ Гауссомъ абсолютныя измѣренія въ земномъ магнетизмѣ, пронесъ ихъ чрезъ все поле электромагнетизма въ своихъ *Elektrodynamische Maasbestimmungen* [Электродинамическія измѣренія] ¹⁾, а оттуда перенесъ ихъ въ электростатику въ его общей съ Кольраушемъ работѣ, подъ тѣмъ же заглавіемъ *Elektrodynamische Maasbestimmungen* ²⁾. Знаменитое въ настоящее время «*v*» (*velocity*), — которое, какъ указалъ Максвеллъ въ своей электромагнитной теоріи свѣта, не случайно приблизительно равно скорости свѣта, но, по всей вѣроятности, связано физически, вслѣдствіе тѣхъ силъ, какія принимаютъ участія въ этомъ, съ дѣйствительнымъ дѣйствіемъ или движеніемъ матеріи, составляющимъ свѣтъ, — оказалось равнымъ приблизительно 300,000 километровъ въ секунду ³⁾.

Уже начиная съ 1851 года, я сталъ употреблять абсолютную систему при расчетѣ величинъ электродвижущихъ силъ вольтаическихъ элементовъ и электрическихъ сопротивленій про-

¹⁾ Лейпцигъ, 1852. Ранѣе была напечатана одна изъ наиболее важныхъ частей этой работы въ мемуарѣ Вебера «Измѣренія гальваническаго сопротивленія нѣкоторой абсолютной мѣрой» [*Messungen galvanischen Leitungswiderstände nach einen absoluten Maasse*]. *Poggendorff's Annalen*, мартъ 1851 ⁴⁾.
(Прим. автора).

²⁾ *Poggendorff's Annalen*, 10 августа 1856 г. ⁵⁾.
(Прим. автора).

³⁾ Точное число, данное Веберомъ и Кольраушемъ, есть 310,740; но болѣе современныя изслѣдованія дѣлаютъ вѣроятнымъ то, что это число можетъ быть процента на 3 или 4 больше, чѣмъ слѣдуетъ ⁶⁾. См. также Gray, *Absolute Measurements in Electricity and Magnetism* [Абсолютныя измѣренія въ электричествѣ и магнетизмѣ, Грэй] (Macmillan and Co. London, 1883).
(Прим. автора).

⁴⁾ *Pog. Ann.*, 82, 337 — 369, 1851 и еще раньше «*Elektrodynamische Maasbestimmungen*», *Pog. Ann.*, 73, 193 — 240, 1848.
(Прим. перев.).

⁵⁾ «*Ueber Electricitätsmenge, welche bei galvanischen Strömen durch den Querschnitt der Kette fließt*». [О количествѣ электричества, которое протекаетъ черезъ сѣченіе цѣпи при гальваническихъ токахъ]. *Pog. Ann.* 99. 10 — 25, 1856.
(Прим. перев.).

⁶⁾ Изслѣдованія послѣднихъ 10—15 лѣтъ указываютъ, что *v* почти точно равно 300,000 километровъ въ секунду и скорѣе на долю процента больше, чѣмъ меньше.
(Прим. перев.).

водниковъ въ абсолютныхъ электромагнитныхъ единицахъ ¹⁾ и, проповѣдуя втеченіе десяти лѣтъ необходимость всеобщаго употребленія абсолютной системы, какъ въ научныхъ изслѣдованіяхъ, такъ и въ телеграфномъ дѣлѣ, я добился въ 1861 г. учрежденія при Британской Ассоціаціи комитета для электрическихъ эталоновъ ²⁾.

Этотъ комитетъ еще втеченіе другихъ почти десяти лѣтъ работалъ во всей области электромагнитныхъ и электростатическихъ измѣреній, но, главнымъ образомъ, работалъ надъ эталонами электрическаго сопротивленія и, наконецъ, въ своемъ окончательномъ отчетѣ, представленномъ въ августѣ 1869 года на съѣздѣ въ Экзетерѣ (Exeter), рѣшительно предложилъ для всеобщаго употребленія абсолютную систему; вмѣстѣ съ тѣмъ, онъ указалъ и способы изготовленія эталоновъ катушекъ сопротивленія, — эталоновъ, выражаемыхъ въ единицѣ, которая сначала называлась единицей Британской Ассоціаціи, а потомъ омомъ и сопротивленіе которой, считаемое въ электромагнитной мѣрѣ, должно было быть, какъ можно точнѣе, равно 10,000 километровъ въ секунду.

¹⁾ См. мои работы «О механической теоріи электролиза» (*On the Mechanical Theory of Electrolysis*) и «Примѣненія принципа механическаго дѣйствія къ измѣренію электродвижущихъ силъ и гальваническихъ сопротивленій въ абсолютныхъ единицахъ» (*Applications of the Principle of Mechanical Effect to the Measurement of Electromotive Forces, and of Galvanic Resistances in Absolute Units*), напечатанныя обѣ въ «*Philosophical Magazine*» за декабрь 1851 г. ³⁾ и составляющія теперь статьи LIII и LIV моего «Собранія математическихъ и физическихъ работъ». т. I, 1882.
(Прим. автора).

²⁾ Отчеты этого комитета печатались съ промежутками съ 1861 до 1869 г. въ томахъ Отчетовъ Британской Ассоціаціи за соответствующіе годы. Вмѣстѣ съ другими работами по тому же предмету, они были собраны и изданы подъ редакціей профессора Флиминга Дженкина Спономъ, Лондонъ и Нью-Йоркъ, 1871 ⁴⁾.
(Прим. автора).

³⁾ *Phil. Mag.* (4) 2, 429—444, 551—562; *Math. Phys. Pap.* I, 472—502.
(Прим. перев.).

⁴⁾ *Reports of the Committee of the British Association for the Advancement of Science, ...appointed for the purpose of constructing and issuing practical Standards for use in Electrical Measurements.*
(Прим. перев.).

По поводу названія «омъ» я могу упомянуть, что сэръ Чарльзъ Брайтъ и г. Латимеръ Клэркъ сообщили Британской Ассоціаціи въ 1861 году работу ¹⁾, въ которой предлагались тѣ единицы, которыя мы теперь имѣемъ, съ нѣкоторой небольшою разницей, и предлагалась полная и связанная система измѣреній, которая, конечно, не выполняла всѣхъ условій абсолютной системы, но нѣкоторыя изъ нихъ выполняла чрезвычайно полезнымъ для практическихъ цѣлей способомъ. Слѣдовательно, мы обязаны всей системой единицъ въ томъ видѣ, въ какомъ мы теперь ее имѣемъ,—омами, вольтами, фарадами и микрофарадами—сэру Чарльзу Брайту и г. Латимеру Клэрку. Начиная съ 1870 или 1871 года, абсолютная система, въ томъ приближеніи къ точному ея осуществленію, которое дала ей единица Британской Ассоціаціи, была въ общемъ употребленіи въ Англіи и въ Америкѣ; но прошелъ еще десятокъ лѣтъ, и даже больше, чѣмъ десяток, до окончательнаго принятія абсолютной системы Франціей, Германіей и другими европейскими странами по постановленію собраннаго въ Парижѣ въ октябрѣ 1882 г. Международнаго Съѣзда для опредѣленія электрическихъ единицъ. Рѣшено было не принимать единицы Британской Ассоціаціи. Были высказаны сомнѣнія въ ея точности, и мы увидимъ, что они были вполне основательны. Передъ Съѣздомъ лежалъ вопросъ о нахожденіи наиболѣе твердыхъ основъ для системы измѣреній, и Съѣздъ склонялся уже къ принятію абсолютной системы, но явился вопросъ, «что такое омъ?» Кто можетъ видѣть омъ? Кто можетъ показать, что такое есть омъ? Кто можетъ измѣрить намъ сопротивление какого либо проводника этой абсолютной мѣрой Вебера? Собственныя опредѣленія Вебера сильно отличались отъ опредѣленій Британской Ассоціаціи. Нѣсколько изслѣдователей, стараясь подтвердить или повѣрить измѣреніе Британской Ассоціаціи, пришли къ результатамъ, которые были несогласны между собою и поэтому не

¹⁾ «Объ устройствѣ эталоновъ электрическаго количества и сопротивления» (On the formation of standards of Electrical Quantity and Resistance), Rep. Brit. Ass., 1871, 37—38. (Прим. перев.).

могли служить подтвержденіемъ измѣреній Британской Ассоціаціи. Дѣло находилось въ такомъ неопредѣленномъ положеніи, и Съѣзду приходилось рѣшить очень важный практический вопросъ. Предъ всѣмъ свѣтомъ, — уже десять лѣтъ, по крайней мѣрѣ, — лежала задача: произвести точныя измѣренія электрическаго сопротивленія, — съ матеріаломъ, который можно было бы получать вполне однороднымъ и — съ нетрудными предосторожностями—въ состояніи полной чистоты или въ состояніи, достаточно близкомъ къ полной чистотѣ, чтобъ соответствовать на практикѣ цѣли, о которой идетъ рѣчь, — изготовленію эталоновъ для измѣренія сопротивленія. Была предложена единица Сименса, основанная на удѣльномъ сопротивленіи ртути. Большой домъ Сименса (Берлинъ и Лондонъ), нашъ достопочтенный confère, сэръ Вилльямъ Сименсъ, и его достопочтенный братъ, д-ръ Вернеръ Сименсъ, при помощи самыхъ совершенныхъ и могущественныхъ способовъ изслѣдованія такъ разработали этотъ вопросъ,—измѣреніе сопротивленій въ функціи удѣльнаго сопротивленія ртути, — что дали намъ эталонъ, который можетъ быть воспроизводимъ во всякое время и во всякомъ мѣстѣ безъ всякихъ другихъ измѣрительныхъ приборовъ въ рукахъ, кромѣ мѣры метра. Сами Вернеръ и Вилльямъ Сименсъ присутствовали оба на Съѣздѣ отъ всего сердца присоединились къ предложенію принять абсолютную систему; — но вопросъ заключался въ томъ, какъ положить этому начало; и отвѣтъ, принятый Съѣздомъ, былъ таковъ: стремиться къ опредѣленію абсолютной системы при помощи столба ртути. Столбъ ртути былъ единственнымъ изъ существовавшихъ эталоновъ, который могъ быть воспроизведенъ иначе, чѣмъ простымъ сниманіемъ одной проволокой копіи съ другой; и естественно, что онъ былъ принятъ за основаніе, на которомъ долженъ былъ основываться эталонъ, если не единица для пракческаго употребленія. Такимъ образомъ, вотъ къ чему, въ краткихъ словахъ, пришелъ Съѣздъ въ этомъ отношеніи: какъ скоро появится большая увѣренность въ томъ, что уже имѣются достаточно, для практическихъ цѣлей, близкія къ истинѣ измѣренія со-

противленія какого либо проводника, — будь это кусок проволоки или столбъ ртути,—какъ скоро такое измѣреніе будетъ произведено и будетъ доказано, что оно достаточно точно для практическихъ цѣлей, должна быть принята единица, которую имѣла въ виду Британская Ассоціація; но должно быть предоставлено благоусмотрѣнію и удобству лицъ, употребляющихъ эталоны—когда произвести измѣненія,—если бы потребовались измѣненія единицы-ома Британской Ассоціаціи или единицы Сименса, — необходимыя для того, чтобы привести измѣренія въ болѣе тѣсное согласіе съ абсолютнымъ счетомъ. То, что было сдѣлано лордомъ Рэлеемъ и г-жей Сиджвикъ, оставило очень мало мѣста для сомнѣній, что единица Британской Ассоціаціи имѣетъ ошибку величиной въ 1·3 процента. Сименсовская единица имѣла то преимущество, что она приблизительно равнялась искомой абсолютной единицѣ, хотя она вовсе не претендовала быть абсолютной единицей. Она представляла собой просто сопротивленіе столба ртути при температурѣ нуль градусовъ, длиной въ одинъ метръ и въ одинъ квадратный миллиметръ поперечнаго сѣченія. Воспроизведеніе Сименсовской единицы было связано съ большими затрудненіями, на первыхъ порахъ изслѣдованія; но д-ръ Вернеръ Сименсъ, и лордъ Рэлэй и г-жа Сиджвикъ, и многіе другіе изслѣдователи кромѣ нихъ, работавшіе надъ сравненіемъ ея съ единицей Британской Ассоціаціи, получили результаты, которые не оставили наконецъ никакого сомнѣнія въ томъ, каково истинное отношеніе. У д-ра Вернера Сименса, въ результатѣ, ртутная единица оказалась равной 0·9536 единицы Британской Ассоціаціи; лордъ Рэлэй и г-жа Сиджвикъ нашли 0·9542 ¹⁾, что представляетъ чрезвычайно близкое согласіе, такъ какъ это число находится въ предѣлахъ $\frac{1}{10}$ процента отъ результата д-ра Вернера Сименса. Результатъ, отличающійся приблизительно на одинъ процентъ, былъ полученъ

¹⁾ Изъ сводки всѣхъ сдѣланныхъ до настоящаго времени наблюденій для этого отношенія получается число $0·95358 \mp 0·00014$ (Dorn, Beiheft zur «Instrumentenkunde», 1893, Tab. IIa, 38—39).

(Прим. перев.).

многу лѣтъ до того Маттиссеномъ и Гоккиномъ, когда еще не были настолько хорошо извѣстны предосторожности, необходимыя для воспроизведенія ртутныхъ эталоновъ съ абсолютной точностью,—настолько, насколько онѣ сдѣлались извѣстными по прошествіи нѣсколькихъ лѣтъ послѣ ихъ работы. Окончательное заключеніе изъ работы лорда Рэлея было, что Сименсовская ртутная единица есть 0·9413 того, что Съѣздъ въ Парижѣ согласился опредѣлять, какъ омъ,—а именно, сопротивленія, измѣряемаго 1,000,000,000 сантиметровъ въ секунду. Я боюсь, что то, что я говорю, вы зоветъ странныя мысли, но что касается до абсолютно опредѣляемаго значенія сопротивленія, то это совершенно вѣрно. Я буду имѣть случай возвратиться къ этому предмету далѣе,—тамъ, гдѣ я надѣюсь объяснить эту таинственную скорость въ 10^9 сантиметровъ въ секунду. Втеченіе тридцати лѣтъ, протекшихъ съ того времени, когда телеграфное дѣло начало требовать производства опредѣленныхъ измѣреній, было сдѣлано очень много точныхъ измѣреній при посредствѣ единицъ сопротивленія, которыя опредѣляли самымъ разнообразнымъ образомъ. Много серій катушекъ сопротивленій было изготовлено братьями Варлэй и другими инструментными мастерами, и многіе научные изслѣдователи въ лабораторіяхъ изготовили эталоны, и серіи катушекъ сопротивленія были сдѣланы по этимъ эталонамъ; но за послѣдніе двѣнадцать лѣтъ всѣ они потонули или въ единицѣ Сименса, или въ единицѣ Британской Ассоціаціи. Единица Британской Ассоціаціи, какъ я уже говорилъ, была попыткой абсолютнаго измѣренія, которой удалось приблизиться на 1·3 процента къ тѣмъ 10^9 , къ которымъ стремились. *Копіи* этой единицы Британской Ассоціаціи *были вѣрны до $\frac{1}{10}$ процента*. Единица Сименса была основана на другой мысли, но она дала результаты, не менѣе опредѣленные и не менѣе удобные для большаго множества практическихъ примѣненій, чѣмъ то нѣсколько болѣе близкое приближеніе къ удобной абсолютной единицѣ, которое было осуществлено комитетомъ Британской Ассоціаціи.

Принципъ абсолютныхъ измѣреній, принятый Гауссомъ для электричества и магнетизма, есть просто распространеніе астро-

номического метода расчета массъ въ функции того, что мы можемъ назвать единицей массы системы всемірнаго тяготѣнія [the universal - gravitation unit of matter], и метода расчета силы, который принятъ астрономами вмѣстѣ со всѣми занимающимися математической динамикой и по которому единица силы есть такая сила, которая, дѣйствуя на единицу массы втеченіе единицы времени, сообщаетъ ей скорость, равную единицѣ скорости. Единица массы въ системѣ всемірнаго тяготѣнія есть такое количество матеріи, что, если два количества, каждое равное ему, будутъ помѣщены на разстояніи единицы, то сила взаимодействія между ними есть единица.

Я обращаюсь къ системѣ всемірнаго тяготѣнія по слѣдующей причинѣ. Существуетъ расчетъ силы на основаніи земнаго тяготѣнія при посредствѣ вѣса единицы массы; и, въ концѣ концовъ, когда мы, земныя созданія, беремъ въ руки нѣкоторую массу и ощущаемъ ея вѣсъ, то это есть родъ измѣренія, избѣжать котораго мы не можемъ. Килограммъ есть предметъ, съ которымъ мы должны обращаться; онъ у насъ въ рукахъ, и мы не можемъ воспрепятствовать себѣ пользоваться имъ для того, чтобы считать силы при посредствѣ его *веса*. Единица силы въ системѣ мѣстнаго тяготѣнія означаетъ вѣсъ грамма въ Лондонѣ, въ Глазго, на экваторѣ или еще гдѣ нибудь—и это удобная единица; но обыкновенный способъ измѣрять силы, относя ихъ къ вѣсу и не указывая мѣста, является неопредѣленнымъ, потому что вѣсъ грамма здѣсь отличается отъ того, что онъ представляетъ у экватора. Вѣсъ грамма больше на $\frac{1}{200}$ у того или другого полюса, чѣмъ у экватора,—или, чтобы дать точныя цифры, на 0.00512. Это есть разница въ $\frac{1}{2}$ процента и, если ваша точность должна быть въ предѣлахъ $\frac{1}{2}$ процента, то вы не можете смотрѣть сквозь пальцы на различіе силы тяжести въ различныхъ мѣстахъ. Но большее число измѣреній въ инженерномъ дѣлѣ и въ самыхъ ультра-научныхъ работахъ въ научныхъ лабораторіяхъ не претендуетъ на такую высокую степень точности; и для всѣхъ такихъ работъ является достаточной единица системы мѣстнаго или земнаго тяготѣнія, безъ спеціальнаго указанія, гдѣ на-

ходится самое мѣсто измѣреній,—а только, что оно находится въ томъ или другомъ мѣстѣ на земной поверхности. Напр., модули крѣпости, коэффициенты разрыва, усилія, потребныя для разлома матеріаловъ, даются съ точностью, достаточной для инженерныхъ цѣлей, въ тоннахъ вѣса на квадратный сантиметръ или въ граммахъ вѣса на квадратный сантиметръ, или какимъ либо другимъ подобнымъ способомъ счета; или, если бы я не поклялся никогда не упоминать дюймовъ, я бы сказалъ, въ тоннахъ на квадратный дюймъ, какъ обыкновенно (можетъ быть, слишкомъ обыкновенно) считаютъ въ инженерномъ дѣлѣ. При всѣхъ такихъ измѣреніяхъ пренебрегаютъ различіемъ тяжести въ различныхъ мѣстахъ, — за исключеніемъ нѣкоторыхъ болѣе точныхъ измѣреній, въ которыхъ согласились приводить силу тяжести къ нормальной широтѣ 45°,—или же предоставили лицамъ, пользующимся измѣреніемъ, дѣлать это приведеніе. Тѣмъ не менѣе, во всѣхъ случаяхъ, когда было бы желательно внести поправку на измѣненіе силы тяжести, удобно употреблять абсолютную единицу Гаусса, а не единицу силы системы земнаго тяготѣнія. Мимоходомъ, я могу сказать, что та простая мысль, которая скрывалась или же ясно выражалась, смотря по степени разумѣнія, въ старой формулѣ элементарной механики $F = m \frac{dv}{dt}$, была громаднымъ шагомъ впередъ, и осуществленіе этой мысли, введеніе ея въ практическое употребленіе способствовало болѣе, чѣмъ что либо другое, что я знаю, разумному отношенію къ задачамъ механики и ихъ примѣненію къ вопросамъ, какъ науки, такъ и инженернаго дѣла. Систему Гаусса абсолютнаго счета силъ нельзя сильно расхваливать, какъ великое и важное практическое улучшеніе въ наукѣ, основной для инженернаго дѣла и для физики, — механикѣ. Она состоитъ просто въ опредѣленіи единицы силы, какъ такой силы, которая, дѣйствуя на единицу массы втеченіе единицы времени, сообщаетъ ей скорость, равную единицѣ скорости. Она предоставляетъ произвольно выбирать единицы массы, длины и времени,—напр., граммъ, сантиметръ и секунду средняго сол-

вечнаго времени, какъ въ общепринятой въ настоящее время C.G.S. системѣ.

Но система всемірнаго тяготѣнія, система небесной механики, опредѣляетъ единицу массы въ функціи единицы длины и единицы силы. Мы имѣемъ сплетеніе двухъ опредѣленій, — опредѣленія единицы силы, въ функціи единицы массы, длины и времени, и опредѣленія единицы массы, въ функціи единицы силы и единицы длины. Можетъ показаться, какъ будто мы вступили здѣсь въ *circulus viciosus*; но этотъ *circulus* не *viciosus*, — эти два опредѣленія находятся въ логической и ясной зависимости другъ отъ друга. Мы имѣемъ, такъ сказать, двѣ неизвѣстныхъ величины и два уравненія; и исключеніе одной изъ неизвѣстныхъ величинъ изъ двухъ уравненій даетъ намъ другую явнымъ образомъ. Эти двѣ величины нѣсколько затруднительнымъ образомъ перемѣшаны между собой въ первоначальныхъ опредѣленіяхъ, но, когда мы ихъ распутаемъ, мы приходимъ къ простому результату, который я сейчасъ изложу, къ независимымъ опредѣленіямъ единицы массы и единицы силы, — каждой въ функціи произвольно выбранныхъ единицъ длины и времени.

Хотя опредѣленные подобнымъ образомъ единицы силы и массы въ неявномъ видѣ существенно входятъ во всѣ правильныя формулы физической астрономіи, начиная съ самыхъ элементарныхъ, которыя являются при изученіи невозмущеннаго эллиптическаго движенія, согласно съ выводами Ньютона изъ законовъ Кеплера, и кончая самыми полными разработками лунныхъ, планетныхъ и кометныхъ теорій и прецессіи и нутаціи земной оси, — несмотря на это, не было обычнымъ явленіемъ среди астро-физиковъ основывать на этихъ единицахъ какое нибудь систематическое численное счисленіе, ни даже выбирать произвольно и окончательно нѣкоторыя частныя единицы длины и времени, чтобы основывать на нихъ единицы силы и массы. Тѣмъ не менѣе интересно, — не только по отношенію къ внутренней философіи системъ измѣренія, но также ради того, что это можетъ навести на рядъ мыслей

относительно свойствъ матеріи, — разработать въ подробностяхъ мысль не основывать измѣренія массы и силы ни на какомъ иномъ основаніи, кромѣ измѣренія длины и времени. Поступая такимъ образомъ, мы немедленно найдемъ, что квадратъ угловой скорости есть соотвѣтствующая мѣра плотности или массы, рассчитанной на единицу объема, и что четвертая степень линейной скорости есть соотвѣтствующая мѣра силы. Первое изъ этихъ положеній легко понять, если вспомнить высказанную Клеркомъ Максвеллемъ мысль принимать за основную единицу для счета времени періодъ обращенія спутника, обращающагося по кругу близъ самой поверхности неподвижнаго шара, плотность котораго равна наибольшей плотности воды. Видоизмѣнимъ эту мысль тѣмъ, что примемъ независимую единицу времени, и мы будемъ имѣть въ этомъ основаніе для измѣренія плотности, съ тою подробностью, что плотность шара равна $\frac{3}{4}\pi$ квадрата этой угловой скорости спутника, выраженной въ радіанахъ ¹⁾ въ секунду; т. е. квадратъ скорости спутника, умноженный на 3 и дѣленный на 4π , измѣряетъ собой плотность шара. Можетъ быть, трудно принять эту идею, но, чѣмъ это труднѣе, тѣмъ болѣе стоитъ подумать надъ этимъ и тѣмъ болѣе поучительно это по отношенію къ свойствамъ матеріи. И вотъ оказывается, — объясняйте это, какъ хотите, — что плотность воды, плотность латуни, средняя плотность земли измѣряются въ абсолютной мѣрѣ квадратами нѣкоторыхъ угловыхъ скоростей. Я не знаю, извѣстно ли вообще, что это Фурье далъ уравненія измѣреній, которыя находятся въ томъ Отчетовъ Британской Ассоціаціи, и въ книгѣ Клерка Максвелля, и въ полезной книгѣ

¹⁾ Радіанъ есть единица, въ которой выражается угловая скорость. Это есть уголъ въ $\frac{180^\circ}{\pi}$, — приблизительно въ $57^\circ.3$ (или точнѣе въ $57^\circ.2958$). Такимъ образомъ спица, или радіусъ векторъ, поворачивающаяся на уголъ приблизительно въ $57^\circ.3$ въ секунду, движется съ единичной угловой скоростью; или же, если спица дѣлаетъ полный оборотъ въ одну секунду, то ея угловая скорость есть 2π .

(Прим автора).

Эверетта «Units and Physical Constants» ¹⁾. Измѣреніемъ для плотности въ абсолютной системѣ всемірнаго тяготѣнія служитъ квадратъ угловой скорости и потому это измѣреніе выражается чрезъ T^{-2} . Равнымъ образомъ затруднительно для пониманія и вмѣстѣ съ тѣмъ любопытно то, что скорость въ четвертой степени служитъ для мѣры силъ,—это мы и рассмотримъ сейчасъ ²⁾.

Мѣра силъ въ системѣ всемірнаго тяготѣнія, — какъ мы увидимъ—четвертыми степенями линейныхъ скоростей,—можетъ быть объяснена слѣдующимъ образомъ. Найдите скорость, съ которою нужно пустить частицу матеріи, чтобы она обращалась по кругу вокругъ равной ей частицѣ, неподвижно укрѣпленной на такомъ разстояніи отъ нея, чтобы она притягивалась ею съ силою, равною данной силѣ ³⁾. Четвертая степень этой скорости будетъ то число, которое измѣряетъ эту силу. Эта сила, взятая шестнадцать разъ, дастъ двойную скорость; взятая восемьдесятъ одинъ разъ сила дастъ въ три раза большую скорость, и такъ далѣе.

Однако, если бы я вздумалъ сказать, что вѣсь этого ку-

¹⁾ Существуетъ и въ русскомъ переводѣ: „Единицы и Физическія постоянныя“ J. S. Everett'a пер. П. Н. Вербицкій и И. О. Жеребятъевъ. Спб. 1888. (Прим. перев.).

²⁾ Обозначимъ чрезъ L , M , T , F и D единицы длины, массы, времени, силы и плотности. Въ $C.G.S.$ системѣ $F = MTL^{-2}$, а въ системѣ всемірнаго тяготѣнія $F = M^2L^{-2}$. Исключая M изъ этихъ двухъ уравненій, получимъ $F = L^4T^{-4}$, а исключая F , найдемъ $M = L^3T^{-2}$, откуда $ML^{-3} = D = T^{-2}$.

(Прим. перев.).

³⁾ Простыя механическія соображенія могутъ привести къ этому результату. Пусть тѣло M массы m притягивается точкой O той же массы по закону Ньютона, и пусть разстояніе $OM = r$ таково, что сила притяженія, $\frac{m^2}{r^2}$, равна данной силѣ F . Начальная скорость, съ которой нужно пустить тѣло M , чтобы оно описывало *окружность* вокругъ точки O , должна быть перпендикулярна къ начальному направленію OM ,—центробѣжное ускореніе постоянно, и слѣд. движеніе равномерно, а потому $F = \frac{mv^2}{r}$. Но $F = \frac{m^2}{r^2}$, а слѣд. $F = v^4$.

(Прим. перев.).

ска мѣла есть четвертая степень двадцати миль въ часъ, то нашли бы, что мнѣ мѣсто не здѣсь, а тамъ, гдѣ лѣчатъ люди, потерявшихъ свой разсудокъ. Я полагаю, что почти каждый изъ присутствующихъ счелъ бы просто идиотствомъ, еслибъ я вздумалъ сказать, что вѣсь этого куска мѣла есть четвертая степень семи или восьми ярдовъ въ часъ, — а между тѣмъ это было бы совершенно здравомысленно.

Теперь вообразите себѣ бесконечно малаго спутника, обращающагося вокругъ земли,—вы спрашиваете: «что такое бесконечно-малый спутникъ?» Чтобы быть «бесконечно-малымъ» для нашей настоящей цѣли, спутникъ долженъ быть очень малъ въ сравненіи съ землею,—такъ малъ, чтобы не вызывать замѣтнаго движенія своей реакціей на землю. Такъ, ядро въ 500 фунтовъ есть бесконечно-малый спутникъ; хотя оно, можетъ быть, не бесконечно мало съ нѣкоторыхъ другихъ точекъ зрѣнія. Понятно, не должно быть никакого сопротивленія воздуха. Теперь выпустите это ядро съ такою скоростью, чтобы оно имѣло мало искривленную траекторію, ни болѣе, ни менѣе искривленную, какъ и сама земля, и оно будетъ продолжать обращаться и обращаться вокругъ земли. Найдите эту скорость, съ которой вы должны пустить ядро, чтобы заставить его обращаться вокругъ земли, и, если нѣтъ сопротивленія воздуха, то вотъ и нашъ бесконечно-малый спутникъ. Эти нѣсколько педантическія слова оправдываются тѣмъ, что «бесконечно-малый спутникъ» есть восемь слоговъ, которые должны выразить три или четыре фразы; въ этомъ наше оправданіе.

Полуперіодъ обращенія бесконечно малаго спутника вокругъ земли непосредственно вблизи ея поверхности ¹⁾ равенъ полуперіоду колебанія простого математическаго маятника, длиною равнаго земному радіусу и имѣющаго свой тяжелый конецъ бесконечно близко къ земной поверхности ²⁾; и потому онъ,

¹⁾ Томсонъ и Тэтъ, Natural Philosophy, 2-е изданіе, т. I, ч. I, 223. (Прим. автора).

²⁾ Представимъ себѣ бесконечно малый спутникъ массы m , обращающійся вокругъ шара плотности ρ и радіуса r . Масса шара равна

если выразить его въ секундахъ, приблизительно равенъ квадратному корню изъ числа метровъ (6,370,000) въ земномъ радиусѣ,—потому что длина секунднаго маятника (или маятника, полупериодъ колебанія котораго равенъ одной секундѣ) равна съ большимъ приближеніемъ одному метру. Такимъ образомъ мы находимъ 2,524 среднихъ солнечныхъ секунды для полупериода нашего спутника, и потому его угловая скорость въ радіанахъ въ секунду есть $\frac{\pi}{2,524} = 0,001244$; отсюда средняя плотность земли, выраженная въ системѣ всемірнаго тяготѣнія, причемъ за единицу времени взята средняя солнечная секунда, есть $0,001244^2 \times \frac{3}{4\pi} = 3,70 \times 10^{-7}$, и, если мы примемъ [соотвѣтственно повторенію Бэйли опытовъ Кэвендиша]¹⁾ за среднюю плотность земли взятую 5,67 разъ наибольшую плот-

$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho$, а слѣд., сила притяженія между нимъ и спутникомъ будетъ, въ системѣ всемірнаго тяготѣнія, равна $\frac{4}{3}\pi r^3 \rho m = \frac{4}{3}\pi r \rho m$. Въ нашемъ случаѣ имѣетъ мѣсто извѣстное соотношеніе между центробѣжной силой и силой тяжести, т. е.

$$\frac{4}{3}\pi r \rho m = m \omega^2 r,$$

откуда $\rho = \frac{3}{4\pi} \omega^2$ и $\omega = \sqrt{\frac{4\pi\rho}{3}}$ а время обращенія спутника

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2, \pi \sqrt{\frac{r}{\frac{4}{3}\pi r \rho}}. \text{ Сравнимъ это съ формулой } t = \pi \sqrt{\frac{l}{g}},$$

выражающей полупериодъ колебанія математическаго маятника длиною l при ускореніи ω , мы и получимъ вышеуказанный результатъ, такъ какъ ускорѣніе у поверхности нашего шара выражается именно величиной $\frac{4}{3}\pi r \rho$.

(Прим. перев.).

¹⁾ Корню критиковалъ способъ Бэйли приведенія его наблюдений, по отношенію къ допущенію, сдѣланному имъ относительно уменьшенія вслѣдствіе вязкости колебаній закручиваемаго стержня. Онъ выразилъ мнѣніе что результатъ Бэйли, если бы его вычислить по совершенно правильнымъ принципамъ, былъ бы въ полномъ согласіи съ его собственнымъ, который былъ 5,55.

(Прим. автора).

ность воды, то мы получимъ, считая по системѣ всемірнаго тяготѣнія, для наибольшей плотности воды число $6,53 \times 10^{-8}$. Для измѣренія массы мы должны теперь ввести единицу длины и, если мы примемъ за такуюю сантиметръ, то мы найдемъ, что, такъ какъ масса кубическаго сантиметра воды при наибольшей плотности равна, съ большимъ приближеніемъ, тому, что называется граммомъ, то единица массы въ системѣ всемірнаго тяготѣнія есть $\frac{1}{6,53 \times 10^{-8}} = 15,3 \times 10^6$ грамма или 15,3 французской тонны); отсюда единица сила въ системѣ всемірнаго тяготѣнія есть $15,6 \times 10^3$ динъ,—или 15,6 разъ земной вѣсъ килограмма.

Слѣдовательно, 15,3 французской тонны (французская тонна на 1,4 процента меньше англійской тонны) есть единица массы въ системѣ всемірнаго тяготѣнія. Можетъ прійти время, когда система всемірнаго тяготѣнія будетъ системой счисленія, когда 15,3 тонны будутъ единицей массы и когда десятичныя подраздѣленія 15,3 французской тонны могутъ стать нашей метрической системой, а граммы могутъ стать такимъ же достояніемъ прошедшаго, какъ теперь граны.

Въ высшей степени интересно видѣть, что мы можемъ основывать практически систему измѣреній на единицѣхъ длины и единицѣхъ времени. Въ этомъ нѣтъ ничего новаго, потому что это было извѣстно со временъ Ньютона, но это все еще представляетъ предметъ, полный свѣжаго интереса. Самая мысль о такой возможности полна поученій для науки,—поученій, изъ которыхъ многія пока едва разработаны, въ особенности по отношенію къ внутреннимъ свойствамъ матеріи. Граммъ, нужно вспомнить, основанъ на свойствахъ извѣстнаго тѣла, а именно, воды; но здѣсь, не обращаясь ни къ какому частному роду матеріи, а просто выбирая нѣкоторую опредѣленную длину, обозначенную на измѣрительномъ стержнѣ, и единицу времени (какимъ образомъ полученную, это мы сейчасъ бу-

¹⁾ Замѣтимъ, что здѣсь идетъ рѣчь о массѣ граммъ или тонна, а не о вѣсѣ граммъ. Французская тонна = 1000 килограммовъ.

(Прим. перев.).

демъ разсматривать), мы можемъ взять кусокъ вещества и сказать, въ любомъ мѣстѣ вселенной, какъ измѣряется его масса въ опредѣленныхъ абсолютныхъ единицахъ.

Обсудимъ теперь тѣ двѣ единицы, отъ которыхъ зависитъ эта система измѣреній—система всемірнаго тяготѣнія: единицу длины и единицу времени. Единица длины есть просто длина нѣкотораго опредѣленнаго куска латуни или другого твердаго вещества, изъ котораго сдѣланъ измѣрительный стержень,—или же длина между двумя значками на немъ; это можетъ быть дюймъ, или футъ, или ярдъ, или метръ, или сантиметръ, — принципъ тотъ же самый. Метръ, правда, былъ первоначально сдѣланъ какъ можно болѣе близкимъ къ десятимилліонной части длины нѣкотораго земного квадранта, опредѣленнаго какъ можно точнѣе изъ геодезическихъ измѣреній, выполненныхъ Машеномъ и Деламбромъ въ 1792 г. для того, чтобы положить основаніе метрической системѣ. Но это только дало оригиналъ мѣры метра и то, что понимаютъ въ настоящее время подъ метромъ, есть длина, равная этому оригиналу, или какая нибудь достовѣрная копія, которая была снята съ него какъ можно точнѣе; и одна сотая часть метра, опредѣленнаго такимъ образомъ, есть тотъ сантиметръ, который мы окончательно принимаемъ за единицу длины.

Такимъ образомъ наша единица длины не зависитъ отъ земли и вполне переносна, такъ что ученый путешественникъ, странствующій по всей вселенной, носить съ собой свой измѣрительный стержень и ему не нужно и помышлять о землѣ, пока дѣло идетъ объ его измѣреніяхъ пространства. Но что будетъ съ средней солнечной секундой, въ функціи которой онъ измѣряетъ свое время? Какъ быть съ ней, если онъ покинулъ землю навсегда,—или даже, если онъ, не покидая земли, продолжаетъ свою научную работу на землѣ нѣсколькихъ милліоновъ лѣтъ, по прошествіи которыхъ періодъ обращенія земли вокругъ ея оси и періодъ ея обращенія вокругъ солнца будутъ оба очень отличаться отъ того, что они представляютъ теперь. Если онъ возьметъ съ собой хорошіе часы, или хронометръ, хорошо вывѣренный передъ тѣмъ, какъ ему

покинуть землю, то этотъ хронометръ будетъ служить для его цѣлей, пока будетъ въ исправности. Все, что часы дѣлаютъ,—это только считаютъ колебанія нѣкоторой массы подъ вліяніемъ нѣкоторой пружины (колесика-маятника подъ вліяніемъ пружины-волоска). Если для какого нибудь вѣковаго опыта, производимаго имъ, онъ желаетъ сохранить непрерывный счетъ времени, то онъ долженъ слѣдить, чтобы его часы были все время въ ходу, и ни одно колебаніе маятника не должно быть потеряно въ счетѣ, производимомъ стрѣлками. Но, если онъ просто желаетъ сохранить свою единицу времени и быть вполне увѣреннымъ, что черезъ какое угодно число милліоновъ лѣтъ она будетъ въ предѣлахъ одной десятой процента отъ ея настоящаго значенія, то онъ долженъ былъ бы взять съ собой вибраторъ, болѣе приспособленный къ неизмѣнности и къ абсолютной точности, чѣмъ маятникъ-колесико съ его пружинкой-волоскомъ въ часахъ или хронометрѣ. Стальной камертонъ, періодъ колебанія котораго будетъ опредѣленъ для него передъ тѣмъ, какъ ему покинуть землю, профессоромъ Маклеодомъ или лордомъ Рэлэемъ, вполне подойдетъ для этой цѣли. Измѣряя этотъ періодъ въ среднихъ солнечныхъ секундахъ, когда ножки направлены вверхъ, или горизонтально, или вертикально внизъ, онъ будетъ въ состояніи исключить незначительное вліяніе силы земной тяготѣнія; и онъ будетъ имѣть съ собой эталонъ времени, который дастъ ему среднюю солнечную секунду, съ такою же точностью, съ какою его измѣрительный стержень даетъ ему сантиметръ,—въ какомъ бы то ни было мѣстѣ вселенной и въ какое бы то ни было время, теперь или черезъ милліоны лѣтъ, у него ни явится случай употребить свои инструменты.

Я надѣюсь, что вамъ не покажется, что я съ упорнымъ легкомысліемъ злоупотребляю вашимъ добродушіемъ, если я попрошу васъ нѣсколько побольше подумать объ этой экипировкѣ единицами нашего идеальнаго путешественника, въ его научной экскурсіи черезъ вселенную. Что касается до меня лично, то мнѣ кажется, что самый короткій и вѣрный путь дойти до философіи измѣренія,—до пониманія того, что мы разумѣемъ подъ измѣреніемъ, пониманія, которое существенно необходимо для

разумнаго примѣненія на практикѣ простаго искусства измѣрять,—это порвать всѣ связи съ землею и подумать о томъ, что намъ тогда придется сдѣлать, чтобы произвести измѣренія, которыя должны быть вполне опредѣленнымъ образомъ сравнимы съ тѣми, которыя мы теперь дѣйствительно производимъ въ нашихъ земныхъ мастерскихъ и лабораторіяхъ. Положимъ, по этому, что нашъ путешественникъ потерялъ свои часы, и свой камертонъ, и свой измѣрительный стержень, но что онъ сохранилъ свои научныя книги, или во всѣхъ обстоятельствахъ сохраняетъ въ своемъ умѣ полное воспоминаніе и пониманіе ихъ содержанія: какъ ему отыскать свой сантиметръ и свою среднюю солнечную секунду?

Разсмотримъ сначала отысканіе сантиметра. Въ какое бы мѣсто онъ ни попалъ, пусть онъ сдѣлаетъ кусокъ стекла, вроде того, который я держу въ своей рукѣ, изъ матеріаловъ, которые онъ навѣрное найдетъ, въ какую бы обитаемую область вселенной ни забросилъ его случай; и пусть онъ алмазомъ, или кускомъ твердой стали, или кускомъ кремня, наръжетъ на немъ тысячу равноотстоящихъ параллельныхъ линий на пространствѣ, которое было бы равно, приблизительно, ширинѣ его большого пальца, и которое онъ можетъ принять за временную или предварительную единицу длины. Онъ можетъ помочь себѣ рѣзать на стеклѣ, взявъ винтъ, приготовленный изъ латуни или стали,—винтъ, который онъ можетъ легко сдѣлать, хотя бы у него для начала не было ни инструментовъ, ни даже кремневыхъ орудій. Съ небольшою затратой времени и настойчивостью онъ сдѣлаетъ потребныя инструменты. Пусть онъ также сдѣлаетъ временный измѣрительный жезлъ и намѣтитъ на немъ равныя дѣленія, которыя могутъ быть какой угодно удобной длины и не обязаны имѣть какое нибудь отношеніе къ выше опредѣленной временной единицѣ. Пусть онъ сдѣлаетъ затѣмъ двѣ свѣчки, зажжетъ ихъ и помѣститъ, какъ тѣ, которыя вы видите теперь на столѣ, на какомъ нибудь подходящемъ разстояніи другъ отъ друга,—разстояніи, измѣренномъ на его измѣрительномъ жезлѣ. Онъ держитъ въ рукѣ, вплотную къ своему глазу, свой кусокъ раз-

линованнаго стекла, какъ я держу вотъ этотъ, и видитъ два ряда окрашенныхъ спектровъ, каждый съ одной изъ свѣчей въ его центрѣ. Онъ поворачиваетъ стекло до тѣхъ поръ, пока эти два ряда спектровъ не будутъ на одной и той же линіи, и такъ устанавливаетъ его плоскость, чтобы сдѣлать разстояніе отъ спектра до спектра наименьшимъ. Онъ двигается впередъ и назадъ, какъ я теперь дѣлаю, держа свой глазъ на равномъ разстояніи отъ обѣихъ свѣчей, до тѣхъ поръ, пока онъ не увидитъ, что каждая свѣча выходитъ изъ желтой середины спектра другой свѣчи, причѣмъ между обѣими свѣчами нѣтъ спектровъ. Когда это условіе выполнено, онъ измѣряетъ разстояніе отъ рѣшетки до свѣчей. Тогда, по теоріи диффракціи, онъ имѣетъ пропорцію: разстояніе отъ рѣшетки къ свѣчамъ относится такъ къ разстоянію между свѣчами, какъ разстояніе отъ центра до центра дѣленій на стеклѣ относится къ длинѣ волны желтаго свѣта. Последняя, онъ помнитъ, есть 5.892×10^{-5} сантиметра, и такимъ образомъ онъ находитъ значеніе въ сантиметрахъ своей предварительной единицы.

[Какъ легко можно произвести это опредѣленіе, разъ, понятно, сдѣлана рѣшетка, было иллюстрировано опытомъ, быстро продѣланномъ на этой лекціи безъ всякихъ другихъ приборовъ, кромѣ маленькаго кусочка стекла съ двумя стами пятьюдесятью тонкими параллельными линіями, наръзанными на немъ, двухъ свѣчей и измѣрительной тесьмы съ дѣленіями неизвѣстной длины (служившей только для измѣренія отношенія между двумя разстояніями). Результатъ показалъ, что разстояніе отъ центра до центра послѣдовательныхъ полосъ рѣшетки въ 32 раза больше длины волны желтаго свѣта. Ширина того кусочка, на которомъ начерчены эти двѣсти пятьдесятъ линій рѣшетки, оказалась по этому измѣренію равной $250 \times 32 \times 5.892 \times 10^{-5} = 0.47136$ сантиметра. По показанію мастера, изготовившаго рѣшетку, это разстояніе равняется 0.5 сантиметра.]

Вы видите, такимъ образомъ, что въ этомъ наскоро произведенномъ опытѣ съ этимъ грубымъ приборомъ мы были въ состояніи измѣрить длину съ точностью въ нѣсколько процентовъ. Еслибы мы потратили на нѣсколько минутъ больше вре-

мени на этот опыт и воспользовались бы натровыми пламенами, помещенными за узкими щелями, вместо незащищенных свѣчей, раздувающихся въ воздухѣ, то это могло бы легко дать результатъ, точный до поль-процента. Такимъ образомъ космическій путешественникъ можетъ легко отыскать мѣру своего сантиметра и своего метра.

Но какъ нашему ученому путешественнику отыскать свою среднюю солнечную секунду, если, положимъ, онъ потерялъ свой камертонъ? Онъ можетъ подумать о скорости свѣта и предпринять опытъ Фуко. Этотъ опытъ можно сдѣлать съ начала до конца, не имѣя для начала ничего, кромѣ рѣжущихъ инструментовъ и кусковъ металла. Пусть онъ добудетъ кусокъ латуни, сдѣлаетъ колесо и вырѣжетъ въ немъ двѣсти зубцовъ. Я не знаю, сколько зубцовъ употреблялъ Фуко, но нашъ путешественникъ можетъ произвести весь рядъ опытовъ и пустить колесо вращаться съ нѣкоторой равномерной скоростью (не съ извѣстной скоростью, потому что у него нѣтъ счета времени); и онъ скажетъ, какова будетъ эта скорость колеса, въ функціи скорости свѣта, которая, какъ извѣстно, равна, приблизительно, 300,000 километровъ въ секунду. Если онъ имѣетъ склонность къ электричеству, — мы обязаны предполагать это сегодня вечеромъ относительно нашего ученаго путешественника, — то онъ подумаетъ о «*v*» или объ омѣ. Онъ можетъ приготовить Сименсовскую единицу; это онъ можетъ сдѣлать, потому что у него есть сантиметръ и онъ вездѣ найдетъ ртуть и стекло. Затѣмъ онъ производитъ все, что сдѣлали лордъ Рэлэй и г-жа Сиджвикъ. Онъ получитъ, при помощи временнаго хронометра или вибратора, временный счетъ времени, и онъ пройдетъ черезъ весь рядъ операций для измѣренія сопротивленія единицы Сименса въ абсолютной мѣрѣ, при посредствѣ его временной единицы времени. Его измѣреніе дастъ ему нѣкоторую скорость, выраженную, скажемъ, въ километрахъ въ эту предварительную единицу времени, какъ значеніе Сименсовской единицы въ абсолютной мѣрѣ. Кромѣ того онъ знаетъ отъ лорда Рэлэя и г-жи Сиджвикъ, что единица Сименса въ абсолютной мѣрѣ есть 9,413 километра въ

среднюю солнечную секунду, — и такимъ образомъ онъ находитъ точное отношеніе его предварительной единицы времени къ средней солнечной секундѣ.

Тѣмъ не менѣе, хотя этотъ способъ можетъ быть даже выбранъ, какъ самый скорый и наиболѣе точный—соотвѣтственно знанію основныхъ данныхъ въ настоящее время—для отысканія средней солнечной секунды, способъ при помощи опредѣленія «*v*» слишкомъ интересенъ и слишкомъ поучителенъ, по отношенію къ исключенію свойствъ матеріи изъ нашихъ конечныхъ основъ измѣреній, чтобы остаться не разсмотрѣннымъ. Одинъ очень простой путь опредѣлить на опытѣ «*v*» можно вывести изъ очень важной мысли, высказанной въ вышеупомянутой статьѣ Клэрка и Брайта. Возьмите лейденскую банку или другой конденсаторъ умѣренной емкости (напр., въ электростатической мѣрѣ, около 1000 сантиметровъ), которая должна быть точно измѣрена. Устройте механизмъ, который заряжалъ бы его до точно извѣстнаго потенциала умѣренной величины (напр., въ электростатической мѣрѣ, около 10 C.G.S., т. е. около 3000 вольтъ), и разряжайте его черезъ катушку гальванометра черезъ частые и регулярные промежутки времени (напр., десять разъ въ какую нибудь подходящую единицу времени). Это дастъ прерывистый токъ извѣстной средней силы (въ нашемъ примѣрѣ, 10^5 электростатическихъ C.G.S. единицъ, или около $\frac{1}{300,000}$ электромагнитной C.G.S. единицы или $\frac{1}{30,000}$ ампера), который долженъ быть измѣренъ въ электромагнитныхъ единицахъ при помощи обыкновеннаго гальванометра. Частное, получаемое отъ раздѣленія электростатической мѣры тока на найденную путемъ опыта электромагнитную мѣру его же, есть «*v*», это есть величина, выраженная въ сантиметрахъ въ ту произвольную единицу времени, которую изслѣдователь употребилъ при отысканіи средней солнечной секунды въ своихъ электростатическихъ и электромагнитныхъ измѣреніяхъ. Единица массы, которую онъ выбралъ, также произвольно, исчезаетъ изъ окончательнаго отношенія.

Но есть другой чрезвычайно интересный путь, — путь, съ

которымъ, хотя я не считаю его самымъ практичнымъ, связанъ очень большой интересъ потому, что это есть путь, позволяющій сдѣлать все въ одинъ рядъ дѣйствій—это есть методъ электрическихъ колебаній ¹⁾. Я, конечно, очень хотѣлъ бы посмотреть, какъ лицу, потерявшему свои эталоны, удалось бы, послѣ отысканія своего сантиметра (что онъ, понятно, сдѣлалъ бы при помощи длины волны свѣта), отыскать свою единицу времени по слѣдующему способу. Возьмите конденсаторъ, — очень большую лейденскую банку; наэлектризуйте ее и соедините ее полюсы проводникомъ, устроеннымъ такъ, чтобы онъ имѣлъ какъ можно большую электромагнитную, такъ сказать, инерцію ²⁾, — электромагнитную самоиндукцію. Способъ этотъ данъ въ «Электричествѣ и магнетизмѣ» Клерка Максвелла (т. II, гл. XIX). Было бы слишкомъ долго объяснять подробности, но прочтите математическую часть у Клерка Максвелла, прочтите томъ Отчетовъ Британской Ассоціаціи объ электрическихъ эталонахъ и прочтите «Единицы и физическія постоянныя» Эверетта; изучите все это основательно отъ перваго слова до послѣдняго, и вы выучитесь съ гораздо меньшимъ трудомъ, чѣмъ слушая меня. Возьмите катушку сопротивленія, соответствующую по формѣ наибольшей электромагнит-

¹⁾ См. мои работы о „Кратковременныхъ электрическихъ токахъ“ [Transient Electric Currents], Glasgow Philosophical Society Proceedings, т. III, янв. 1853, и Philosophical Magazine, июнь 1853 ³⁾, составляющие теперь статью LXII моего „Собранія математическихъ и физическихъ работъ“, т. I, 1882. (Прим. автора).

²⁾ См. по этому предмету мою работу „О механическомъ значеніи распределеній электричества, магнетизма и гальванизма“ [On the Mechanical Value of Distributions of Electricity, Magnetism and Galvanism] прочтенную въ январѣ 1853 г. передъ Философскимъ Обществомъ въ Глазго и напечатанномъ въ его отчетахъ [Proceedings] подъ тѣмъ же числомъ; а также статью „Динамическія соотношенія магнетизма“ [Dynamical Relations of Magnetism] въ Nichol's „Cyclopaedia of the physical Sciences“, 2-е изданіе, 1860. Эти двѣ работы, съ добавленіями отъ іюля 1882 г., составляютъ теперь статью LXI моего „Собранія Математическихъ и физическихъ работъ“, т. I, 1882. (Прим. автора).

³⁾ Phil. Mag. (4), 5, 393—405; Math. Phys. Pap. 1, 535—553.

(Прим. перев.).

ной инерціи ¹⁾, и разрядите конденсаторъ черезъ нее, или вѣрнѣе, дайте конденсатору разрядиться черезъ такую катушку,—вы получите рядъ колебаній, слѣдующихъ совершенно тому же закону, какъ колебанія уровня воды въ двухъ водоемахъ, у которыхъ уровень свободной поверхности былъ сначала выше въ одномъ, чѣмъ въ другомъ, и которые были внезапно соединены U-образной трубкой. Представьте себѣ два такихъ бассейна съ водою, соединенныхъ U-образной трубкой съ краномъ и имѣющихъ воду въ одномъ бассейнѣ выше, чѣмъ въ другомъ. теперь сразу откройте кранъ, и уровень воды начнетъ понижаться въ одномъ бассейнѣ и повышаться въ другомъ. Инерція воды, которую, такимъ образомъ, заставили течь черезъ соединительную U-образную трубку, побудитъ ее течь по ней и послѣ того, какъ она придетъ къ своему среднему уровню въ этихъ двухъ водоемахъ, и побудитъ ее подняться до болѣе высокаго уровня въ томъ изъ водоемовъ, въ которомъ она была раньше ниже ²⁾, и опуститься до соответствующаго болѣе низкаго уровня въ другомъ. Такимъ образомъ уровень воды въ каждомъ бассейнѣ будетъ попеременно выше и ниже средняго свободного уровня; при этомъ размѣры движенія постепенно будутъ уменьшаться, вслѣдствіе вязкости воды, до тѣхъ поръ, пока, послѣ одной или двухъ дюжинъ колебаній, амплитуда каждаго изъ нихъ не сдѣлается такой небольшой, что ее уже нельзя различить. Совершенно то же самое происходитъ въ случаѣ разряда конденсатора черезъ катушку сопротивленія съ большой электромагнитной инерціей, такъ какъ сопротивленіе мѣдной проволоки можно уподобить вліянію вязкости, которое заставляеть затихать колебанія воды. Если, при своихъ изысканіяхъ по всей вселенной, нашъ путешественникъ могъ бы встрѣтиться съ металломъ, который проводитъ разъ въ миллионъ лучше, чѣмъ мѣдь, онъ произвелъ бы опытъ съ гораздо большей легкостью;

¹⁾ См. „Электричество и магнетизмъ“ Клерка Максвелла, § 706.

(Прим. автора).

²⁾ У Томсона по ошибкѣ сказано здѣсь „higher“ (выше), но по смыслу ясно, что здѣсь должно быть „lower“ (ниже). (Прим. перев.)

но онъ удобовыполнимъ и съ мѣдью. Достоверно извѣстно изъ наблюдений Феддерсена, Шиллера и другихъ, что можно наблюдать большое число электрическихъ колебаній и что можно опредѣлить съ значительной точностью періодъ или полуперіодъ одного колебанія.

Если нашъ ученый путешественникъ желаетъ опредѣлить разъ навсегда, посредствомъ этого великолѣпнаго опыта, свой счетъ времени, пусть онъ поступаетъ слѣдующимъ образомъ. Пусть онъ возьметъ катушку, всѣ данныя для которой онъ знаетъ въ совершенствѣ, такъ какъ онъ уже выполнилъ весь предварительный процессъ измѣренія ея электрическихъ величинъ; или же, если онъ не можетъ измѣрить послѣднія съ достаточной точностью (а нахожденіе изъ непосредственныхъ измѣреній свойствъ катушки по отношенію къ электрическимъ ея величинамъ представляетъ громадныя трудности), то пусть онъ сдѣлаетъ это частью непосредственнымъ измѣреніемъ ея длины и линейныхъ размѣровъ фигуры, на которой она намотана, а частью электромагнитными сравненіями ея съ другими катушками. Произведя тщательныя изслѣдованія, онъ можетъ найти электромагнитную инерцію катушки, выражая ее въ своихъ сантиметрахъ. Здѣсь, опять, встрѣчается примѣръ любопытнаго затрудненія и видимой нелѣпости, когда я говорю, что электромагнитная инерція катушки эквивалентна длинѣ и измѣряется нѣкоторымъ числомъ сантиметровъ. Пусть нашъ изслѣдователь сдѣлаетъ конденсаторъ и пусть онъ, послѣдовательно переходя отъ малаго къ большому, узнаетъ его емкость въ электростатической мѣрѣ. Пусть онъ начнетъ съ двухъ пластинокъ, или цилиндровъ, или шара, помѣщеннаго внутри другого концентрическаго шара, и продолжаетъ итти дальше, по способу «умноженія», до тѣхъ поръ, пока онъ не получитъ достаточно емкій конденсаторъ, электростатическую емкость котораго, въ электростатической мѣрѣ, онъ знаетъ. Это опять есть линія. Пусть онъ затѣмъ возьметъ прямоугольникъ, составленный изъ этихъ двухъ линій, и построитъ равновеликій ему квадратъ,—пусть онъ возьметъ, геометрически или арифметически, квадратный корень изъ произведенія этихъ двухъ линій, — и пусть онъ

наблюдаетъ періодъ электрическихъ колебаній, о которыхъ я говорилъ. Пусть онъ вообразитъ себѣ стрѣлку часовъ, которая дѣлала бы одинъ оборотъ въ наблюдаемый періодъ. У него хорошіе магнитные глаза, и онъ видитъ электромагнитныя колебанія или у него есть приспособленія, при помощи которыхъ онъ можетъ ихъ изслѣдовать: это уже было осуществлено на дѣлѣ. Онъ приводитъ въ движеніе небольшой приборчикъ изъ колесъ со стрѣлкой, дѣлающей одинъ оборотъ въ нашъ періодъ колебанія. Теперь пусть онъ на минуту представитъ себѣ, что длина этой стрѣлки равна квадратному корню изъ произведенія этихъ двухъ линій,—нѣсколько милліоновъ сантиметровъ, или нѣсколько тысячъ километровъ, если катушка и конденсаторъ имѣютъ размѣры, соотвѣтствующіе дѣйствительному опыту, какой мы, земные обитатели, могли бы сдѣлать. Скорость конца этой стрѣлки есть « v »¹⁾. Вотъ гдѣ у него эта удивительная величина « v ». Онъ имѣетъ стрѣлку, дѣлающую оборотъ въ нѣкоторое время, и онъ знаетъ, что, если бы эта стрѣлка была вычисленной длины, то скорость ея конца была бы « v ». Этотъ способъ интересенъ и поучителенъ и, хотя я не увѣренъ въ томъ, что онъ *очень* практиченъ, тѣмъ не менѣе, я думаю, что онъ достаточно практиченъ, чтобы стоило о немъ подумать. Я думаю, что онъ, современемъ, будетъ однимъ изъ способовъ опредѣленія этого чудеснаго количества « v ».

Нужно надѣяться, что въ недалекомъ будущемъ « v » будетъ извѣстно въ сантиметрахъ въ среднюю солнечную секунду, съ

¹⁾ Все это разсужденіе основано на формулѣ, данной Томсономъ для періода колебанія, T , силы тока колебательнаго разряда конденсатора емкости C черезъ проводникъ, самоиндукція котораго равна L ,—на формулѣ $T = \frac{2\pi\sqrt{CL}}{v}$ (если C выражено въ электростатическихъ единицахъ, а L —въ электромагнитныхъ). Если конецъ стрѣлки, длина которой \sqrt{CL} , имѣетъ скорость v , то угловая скорость $\omega = \frac{v}{\sqrt{CL}}$ и періодъ обращенія, $\frac{2\pi}{\omega}$, дѣйствительно, будетъ $T = \frac{2\pi\sqrt{CL}}{v}$.

(Прим. перев.).

точностью $\frac{1}{10}$ процента. Въ настоящее время извѣстно только, что оно, *вроятно*, не отличается на 1 процентъ отъ 3×10^{10} сантиметровъ въ среднюю солнечную секунду ¹⁾). Когда оно будетъ извѣстно съ достаточной точностью, экспериментаторъ, снабженный мѣрой сантиметра, можетъ, гдѣ бы то ни было во вселенной, сравнить показанія хронометра, который онъ употребляетъ въ своихъ опытахъ, со средней солнечной секундой при помощи только тѣхъ электростатическихъ и электромагнитныхъ операций, которыя описаны выше, и не обращаясь ни къ солнцу, ни къ другому естественному хронометру ²⁾).

Я боюсь, что я уже слишкомъ долго испытываю ваше терпѣніе, но я только теперь дошелъ до начала своего предмета. Теперь мы должны начать разсмотрѣніе электрическихъ единицъ измѣренія. Мнѣ нѣтъ надобности давать опредѣленія этихъ количествъ, одного за другимъ, электростатически и электромагнитно; вы найдете все это въ Эвереттѣ, и въ томъ собраніи Отчетовъ перваго Комитета Британской Ассоціаціи относительно электрическихъ измѣреній. Не мнѣ вамъ говорить объ омѣ, вольтѣ, микрофарадѣ и такъ далѣе; но есть два или три пункта, которые я хотѣлъ бы отмѣтить, — и одинъ изъ нихъ, это — ограниченность такъ называемой практической системы. Абсолютная система развивается отъ начала до конца совершенно согласнымъ образомъ, выполняя на всемъ своемъ протяженіи начальныя условія, — одно изъ которыхъ, въ электромагнитной системѣ, заключается въ томъ, что электродвижу-

¹⁾ Въ первомъ изданіи было „на 3 процента отъ 2.9×10^{10} см.“, — см. прим. 6, на стр. 60. (Прим. перев.).

²⁾ Всѣ эти способы предполагаютъ неизмѣнность свойствъ той, такъ мало еще изслѣдованной, среды, которая передаетъ явленія оптическія и электрическія. Въ частности, приготовленіе сантиметра предполагаетъ не только то, что свойства молекулы натрія сохранились неизмѣнными и что періодъ ея колебанія не измѣнился, но даже то, что скорость распространенія колебаній въ пустотѣ, необходимая для перехода къ длинѣ волны, — та же въ томъ мѣстѣ вселенной, гдѣ находится нашъ странствующій изслѣдователь, какъ и на поверхности земли. (Прим. перев.).

щая сила, производимая движеніемъ со скоростью единица, поперекъ линій силъ поля съ напряженностью единица; единицы длины проводника, есть единица. Этого вы должны держаться, если система должна быть полной и согласной, — и размѣры всѣхъ вашихъ инструментовъ и приборовъ должны быть выражаемы всею однообразно, — въ функціи единицы длины, принятой въ этомъ абсолютномъ опредѣленіи. Омъ есть 1,000,000,000 сантиметровъ или 10,000 километровъ въ секунду. Если мы хотимъ сдѣлать изъ ома абсолютную электромагнитную единицу съ секундой, какъ единицей времени, то мы должны взять четверть земного меридіана за единицу длины. Если мы согласно примемъ это вездѣ, то намъ нѣтъ надобности когда либо оставлять эту частную систему и нѣтъ никакой надобности въ C.G.S. системѣ. Мы имѣли бы Q.G.S. ¹⁾ систему, просто на просто! Но было бы, очевидно, неудобно измѣрять размѣры инструментовъ, діаметры колесъ и калибры проволокъ въ подраздѣленіяхъ четверти земного меридіана. Вообразите ужасъ ремесленника, когда онъ услышитъ челоуѣка науки, обращающагося къ нему со словами «дайте мнѣ проволоку въ $\frac{1}{100,000}$ четверти земного меридіана длиною и въ $\frac{1}{10,000,000,000}$ — діаметромъ». Въ чемъ же теперь отличие такъ называемой практической системы отъ абсолютной и почему не быть ей столь же логической и полной, какъ абсолютная система? Мы бы никогда не оставили абсолютной системы, если бы она давала во всѣхъ случаяхъ удобныя числа, — и она даетъ намъ удобныя числа для измѣренія тока, единица котораго въ десять разъ больше «ампера», единицы практической системы. Между тѣмъ, единица сопротивленія въ C.G.S. системѣ слишкомъ мала, — точно такъ же, какъ и единица электродвижущей силы. Чтобы получить удобныя числа, мы даемъ имена извѣстнымъ кратнымъ этихъ единицъ, — вотъ и все; и мы пользуемся этими кратными до тѣхъ поръ только, пока удобно, — не далѣе. Вотъ мой взглядъ на практическую систему — поль-

¹⁾ Q. = quadrant, четверть земного меридіана.

(Прим. перев.).

зоваться ею для удобства и до тѣхъ поръ, пока она удобна, въ тотъ моментъ, когда она перестанетъ быть удобной, вы бросите ее за бортъ и просто на просто возьмете C.G.S. систему. Съѣздъ въ Парижѣ остановился на практической системѣ, принявъ единицы, которыя такъ хорошо знакомы теперь, омъ, вольтъ Британской Ассоціаціи и амперъ, который предложилъ я самъ. Былъ также присоединенъ кулонъ и всѣмъ доставило большое удовлетвореніе ввести имя Кулона, — одного изъ отцовъ науки объ электричествѣ. Затѣмъ былъ прибавленъ сэрромъ В. Сименсомъ уаттъ и былъ принятъ въ общее употребленіе и оказался чрезвычайно удобнымъ. Но, если вы пойдете дальше съ практической системой и возьмете что либо, что заключаетъ въ себѣ магнитный полюсъ или магнитное поле, то вы совершенно теряетесь въ затрудненіяхъ, происходящихъ отъ принятія четверти земного меридіана за единицу длины, — и отклоненіе отъ C.G.S. системы перестаетъ быть удобнымъ. Вернитесь тогда, просто на просто, къ C.G.S. системѣ.

Я говорилъ о сопротивленіи ома, что оно измѣряется нѣкоторой скоростью. Я хотѣлъ бы объяснить это въ немногихъ словахъ. Вообразите бѣличье колесо, ось котораго помѣщена вертикально. Помѣстите пару щетокъ у верхнихъ и нижнихъ концовъ поперечинъ; помѣстите щетки въ плоскости магнитнаго сѣвера и юга, проходящей черезъ ось и пустите бѣличье колесо вертѣться съ какой вамъ угодно скоростью. Возьмите гальванометръ въ родѣ тангенсъ-гальванометра, но съ одной только дугой проволоки, длиною равной радіусу, — т. е. дугой, стягивающей уголъ, приблизительно, равный $57^{\circ}3$, — и имѣющей концы на одномъ и томъ же уровнѣ, все равно, выше или ниже уровня стрѣлки, и электроды, перпендикулярные къ плоскости дуги и соединенные со щетками¹⁾. Бѣличье колесо должно быть помѣщено такъ далеко отъ гальванометра, чтобы

¹⁾ Авторъ забылъ упомянуть про длину радіуса дуги. Его величина имѣетъ существенное значеніе. Въ самомъ дѣлѣ, при прохожденіи тока силою i по дугѣ (s) круга, радіусъ котораго r (въ сантиметрахъ), находящейся въ плоскости магнитнаго меридіана, дѣйствіе, испытываемое магнитнымъ полюсомъ m , расположеннымъ въ плоскости дуги и очень близко къ ея

не вліять на него замѣтнымъ образомъ своей электромагнитной силой. Возьмите теперь гальванометръ и вращайте бѣличье колесо; пусть длина каждой поперечины бѣличьяго колеса будетъ одинъ сантиметръ, — но это было бы скорѣе колесомъ для блохъ, чѣмъ для бѣлокъ, — пусть, скажемъ, каждая поперечина будетъ въ 100 сантиметровъ; вращайте бѣличье колесо достаточно быстро, — такъ, чтобы вызвать отклоненіе нашего гальванометра на 45° . Тогда скорость поперечинъ равна сопротивленію цѣпи, выраженному въ метрахъ въ секунду. Двойное сопротивленіе требуетъ двойной скорости; половинное сопротивленіе требуетъ половинной скорости, чтобы дать предписанное отклоненіе въ 45° . Итакъ, вотъ рациональное основаніе того, что 10,000 километровъ въ секунду или 1,000,000,000 сантиметровъ въ секунду, есть мѣра сопротивленія. Между тѣмъ какъ въ электромагнитной мѣрѣ мы измѣряемъ сопротивленіе скоростью, въ электростатической мѣрѣ мы измѣряемъ скоростью проводимость. Я далъ очень простое объясненіе и этому въ положеніи, на которое ссылается сэръ Вилльямъ Сименсъ

центру, направлено по нормали къ этой плоскости и выражается чрезъ

$$\frac{mis}{r^2}.$$

Отсюда при отклоненіи магнита на уголъ α имѣемъ:

$$\frac{mis}{r^2} \cos \alpha = mH \sin \alpha,$$

гдѣ H — горизонтальная сила земного магнетизма.

Такимъ образомъ при $s = r$ и $\alpha = 45^{\circ}$ получаемъ:

$$i = rH.$$

Съ другой стороны, называя длину поперечины колеса чрезъ l , линейную скорость ея (въ сантиметрахъ) чрезъ v и сопротивленіе (въ абсолютныхъ единицахъ) всей цѣпи чрезъ R имѣемъ

$$i = \frac{Hlv}{R}.$$

Итакъ, находимъ

$$\frac{Hlv}{R} = rH.$$

Отсюда получимъ $R = v \frac{l}{r}$, а слѣдовательно при $l = r$ имѣемъ

$$R = v$$

(Прим. ред.).

въ своей предсѣдательской рѣчи на сѣздѣ Британской Ассоціаціи въ Сауссамптонѣ (Southampton) въ 1882 г. Скорость, съ которой должна стягиваться къ своему центру поверхность шара, соединеннаго съ землей мокрой нитью, для того, чтобы потенциалъ этого шара оставался постояннымъ, измѣряетъ проводящую способность этой мокрой нити. Двойная проводящая способность потребуетъ двойной скорости стягиванія, т. е. шаръ долженъ стягиваться вдвое быстрее, чтобы не потерять своего потенциала. Съ очень длинной полусухой нитью этотъ шаръ можетъ стягиваться медленно. Положимъ, у насъ есть шаръ, изолированный въ воздухѣ этой комнаты для электрическихъ опытовъ и соединенный съ землею шелковой нитью. Если у васъ есть электрометръ, показывающій потенциалъ, то вы увидите, что потенциалъ постепенно опускается. Вы могли бы подумать, что электричество уносится пылью въ воздухъ, но, въ дѣйствительности, единственная, на практикѣ, потеря происходитъ черезъ эту полусухую шелковую нить. Когда вы замѣчаете, что потенциалъ опускается, вообразите, что вы видите, какъ медленно стягивается шаръ,—и при томъ такъ, чтобы онъ сохранялъ постояннымъ свой потенциалъ, хотя тѣмъ временемъ его электрическій зарядъ постепенно теряется; скорость, съ которою должна при этомъ стягиваться поверхность шара къ центру, чтобы сохранять потенциалъ постояннымъ, измѣряетъ проводящую способность шелковой нити въ электростатической мѣрѣ. Это показываетъ намъ, почему проводящую способность известной нити или проволоки измѣряетъ въ электростатической мѣрѣ нѣкоторая скорость. Но, какъ мы видѣли, въ электромагнитной мѣрѣ, сопротивленіе той же нити или проволоки измѣряется другой скоростью. Тайнственное количество « v » есть квадратный корень изъ произведенія этихъ двухъ скоростей. Или же, это есть та скорость, которою измѣряется въ электромагнитной мѣрѣ сопротивление, а въ электростатической мѣрѣ—проводимость, одного и того же проводника,—который долженъ имѣть сопротивление около 30 омовъ, потому что опытъ показалъ, что « v » не очень отличается отъ 300,000 километровъ въ секунду.

Я говорилъ вамъ о томъ, какъ много мы обязаны сэру Чарльзу

Брайту и г. Латимеру Клэрку за самую идею о названіяхъ. Какъ много мы обязаны обладанію подобными названіями, лучше всего видно изъ того какъ много мы теряемъ,—и къ какимъ неудобствамъ это насъ приводитъ,—въ тѣхъ случаяхъ, когда мы не имѣемъ названій. Намъ недостаетъ названія для величины, обратной сопротивленію. Мы имѣемъ названіе «проводимость», но намъ недостаетъ названія для единицы проводимости. Я сдѣлалъ одинъ ящикъ катушекъ сопротивленія тридцать лѣтъ назадъ и другой пятнадцать лѣтъ назадъ, для измѣренія проводимостей, и они оба зачали изъ-за отсутствія названія. Мои собственные ученики будутъ охотнѣе продолжать пользоваться ящикомъ сопротивленій въ омахъ, чѣмъ ящикомъ проводимостей, потому что при пользованіи послѣднимъ является большое затрудненіе въ томъ, чтобы говорить: «это сопротивленіе есть величина, обратная суммѣ величинъ, обратныхъ этимъ сопротивленіямъ». Вы хотите измѣрить проводимость, но выраженіе этой мысли слишкомъ запутано; а однако для нѣкоторыхъ случаевъ система проводимостей неизмѣримо выше по точности и по удобству системы послѣдовательнаго соединенія сопротивленій. Для названія величины, обратной ому, при измѣреніи сопротивленія,—для единицы проводимости, которая соответствовала бы ому,—предлагаютъ взять фонографъ и вращать его въ другую сторону, и посмотрѣть, что онъ сдѣлаетъ изъ слова «омъ». Я въ восторгѣ отъ этой мысли и хотѣлъ бы, чтобы кто нибудь взялъ на себя ответственность принять ее; тогда у насъ сразу появились бы въ общемъ употребленіи ящики катушекъ въ «мо». По отношенію къ электрическому свѣту, что такое мы желаемъ измѣрить гальванометромъ? У насъ есть гальванометръ для измѣренія потенциаловъ и у насъ есть гальванометръ для измѣренія тока ¹⁾. Всякій знаетъ, что мы желаемъ измѣрить гальванометромъ потенциаловъ. Прислуга во всякомъ домѣ, освѣщаемомъ электричествомъ, знаетъ о потенциалахъ и, если смотря на гальванометръ, она видитъ, что онъ опустился до

¹⁾ Вольтметръ и амперметръ.

(Прим. перев.).

восьмидесяти вольтъ, то она понимаетъ, что что-то неладно, и прямо пойдетъ въ комнату, гдѣ машина, и устроитъ, чтобы получилось восемьдесятъ четыре вольта,—если предполагать, на примѣръ, что надлежащій потенциалъ есть восемьдесятъ четыре вольта (какъ это имѣетъ мѣсто въ моемъ собственномъ домѣ, временно, пока я не буду въ состояніи поставить двухсотъ-вольтовые лампы). Въ гальванометрѣ для тока имѣются дѣленія, указывающія,—это возможно,—число амперовъ въ токѣ. Но, въ концѣ концовъ, что же намъ нужно знать кромѣ потенциала? Это—сумму величинъ, обратныхъ сопротивленіямъ въ цѣпи. Въ системѣ сложныхъ дугъ каждая новая зажженная лампа увеличиваетъ общую проводимость цѣпи. Какъ бы было удобно, если бы въ цѣпи сто-вольтовыхъ лампъ Эдисона или Свана, изъ которыхъ въ каждой вы имѣете токъ въ 0.7 ампера и, потому, сопротивление въ 143 ома, прибавляя лампу, т. е. прибавляя нѣкоторую проводимость,—мы могли сказать, что мы прибавляемъ одинъ *мо* или часть *мо*, смотря по тому, что будетъ въ разсматриваемомъ случаѣ. Я не говорю, что *мо* есть именно то слово, которое нужно употреблять, но я хочу, чтобы оно могло быть принято и чтобы такимъ образомъ оно вошло въ общее употребленіе у насъ скорѣе. У насъ будетъ слово для вещи, когда у насъ будетъ самая вещь, или, вѣрнѣе, я долженъ былъ бы сказать, у насъ будетъ вещь, когда у насъ будетъ слово. Прибавленіе къ отчету за 1862 г. перваго Комитета Британской Ассоціаціи относительно электрическихъ измѣреній содержитъ описаніе «измѣрителя сопротивленій (Resistance Measurer) ¹⁾», изобрѣтеннаго сэромъ Вильямомъ Сименсомъ, и «видоизмѣненія Сименсовскаго измѣрителя сопроти-

¹⁾ Стрѣлка помѣщается между двумя катушками одинаковыхъ размѣровъ, на равномъ разстояніи отъ нихъ; когда по катушкамъ идетъ одинъ и тотъ же токъ, но по противоположнымъ направленіямъ, то стрѣлка стоитъ на нулѣ. Если ввести сопротивление въ цѣпь одной изъ катушекъ, то стрѣлка отклоняется. Ее приводятъ къ нулю, передвигая вторую катушку; приборъ легко градуировать въ омахъ. Таково устройство микрометра Мэнна, представляющаго упрощеніе прибора Сименса.

(Прим. перев.).

вленій» профессора Флиминга Дженкина ¹⁾). Этотъ приборъ даетъ прямо сопротивленіе проводника, при посредствѣ нѣкотораго механическаго приспособленія, приводящаго магнитную стрѣлку для каждаго наблюденія въ нулевое положеніе. Въ оригинальномъ приборѣ Сименса это приспособленіе состоитъ въ передвиженіи поступательнымъ движеніемъ двухъ катушекъ—и проводимость отчитывается на шкалѣ съ равными дѣленіями, устроенной при помощи опредѣленной изъ опыта кривой такъ, чтобы давать прямо отчетъ искомаго сопротивленія. Въ видоизмѣненіи Дженкина механическое устройство значительно упрощено благодаря принятію иной электромагнитной комбинаціи и искомое сопротивленіе дается тангенсомъ угла, на который нужно повернуть катушки, чтобы привести стрѣлку къ нулю. Легко сдѣлать подобный же приборъ, который давалъ бы проводимость при посредствѣ простаго отчета безъ всякой установки или «пригонки» для каждаго наблюденія. Я сдѣлалъ такой приборъ въ 1858 году, представляющій просто гальванометръ, въ которомъ вмѣсто указателя-магнита указателями служатъ катушки сопротивленія ²⁾). Такой приборъ даетъ сразу проводимость, вамъ нужно названіе для единицы проводимости,—положимъ, вы примете *мо*,—назовите тогда этотъ приборъ мометромъ. Правило для сопротивленій, соединенныхъ послѣдовательно, было бы такое: сумма величинъ, обратныхъ числу *мо*, равна числу омовъ; а для проводимостей, соединенныхъ параллельно,—сумма величинъ, обратныхъ числу омовъ, равна числу *мо*. Число *мо*, или миллимо, будетъ въ этомъ случаѣ измѣрять число лампъ въ цѣпи. Такимъ образомъ, ламповый гальванометръ или лампо-счетчикъ могъ бы имѣть шкалу, раздѣленную на сантимы или на миллимы, или же онъ могъ бы быть градуированъ такъ, чтобы число, прочтенное на его шкалѣ въ какое угодно время, было просто числомъ лампъ,

¹⁾ Rep. Brit. Ass. for 1862 стр. и

(Прим. перев.).

²⁾ Этотъ приборъ изображенъ на рис. 6 моего патента подъ № 329, за 1858 годъ, на «улучшенія въ испытаніи и приготовленіи электрическихъ телеграфовъ» (Improvements in Testing and Working Electric Telegraphs).

(Прим. автора).

езажженных въ это время ¹⁾. Этотъ приборъ будетъ также имѣть то большое преимущество, что онъ будетъ оставаться спокойнымъ, не смотря на колебанія машины. Приборъ для опредѣленія потенциаловъ въ цѣпи электрическаго освѣщенія въ лучшемъ случаѣ всетаки нѣсколько измѣнчивъ, потому что потенциалъ порядочно мѣняется—можетъ быть, въ предѣлахъ одного или двухъ процентовъ; но сопротивление въ лампахъ мѣняется чрезвычайно мало. Мометръ будетъ въ этихъ обстоятельствахъ абсолютно спокойнымъ приборомъ; вы не увидите, что онъ дрожитъ,—даже, если бы машина шла неправильно. Гальванометръ потенциаловъ покажетъ вамъ, на какое безпокойство вы должны жаловаться или какое вамъ нужно исправить.

Перейдемъ наконецъ къ послѣднему предмету, являющемуся желательнымъ при пользованіи этой великой системой единицъ. Едва-ли можетъ быть что либо много удовлетворительнѣе измѣреній довольно большихъ сопротивленій, въ томъ видѣ, въ какомъ мы въ настоящее время ихъ обыкновенно производимъ; но, если намъ понадобится лучшій способъ измѣренія малыхъ сопротивленій, то намъ очень много поможетъ указанное мною употребленіе ящичковъ проводимостей въ мо. Что намъ очень нужно въ настоящее время въ области практическихъ электрическихъ измѣреній, это — хорошій эталонъ электродвижущей силы. Это было главнымъ предметомъ работъ недавней комиссіи Британской Ассоціаціи, но цѣль не была еще достигнута съ достаточною для практическихъ цѣлей удовлетворительностью. Элементы-эталонъ до извѣстной степени служатъ для данной цѣли, но намъ нужно нѣчто лучшее, нѣчто, соответствующее электродинамометру и что давало бы хорошій спокойный идиостатическій ²⁾

¹⁾ [Замѣтка отъ 8 декабря, 1887. Модель магнитно-статическаго тангенсъ-гальванометра, который я недавно построилъ для пракческаго употребленія, служитъ для той же цѣли. Она болѣе простаго устройства и болѣе удобной формы, чѣмъ мометръ, о которомъ идетъ рѣчь въ текстѣ.—В. Т.].
(Прим. автора).

²⁾ Авторъ называетъ „идиостатическими“ тѣ электрометры, т. е. приборы, предназначенные для измѣренія потенциаловъ, въ которыхъ заряденіе производится только лишь тѣломъ съ *опредѣляемымъ* потенциаломъ. Электрометры, въ которыхъ нѣкоторыя части заряжаются какимъ либо

измѣритель потенциаловъ, при помощи котораго можно было бы легко и точно опредѣлять постоянную любого электрометра или обыкновеннаго гальванометра. Вотъ предметъ для изысканій; есть много способовъ получить это, и я надѣюсь, раньше, чѣмъ пройдетъ еще годъ, увидѣть осуществленіе этого многими способами—и, навѣрное, хоть однимъ.

Что касается науки объ электричествѣ, то въ настоящій моментъ большой недочетъ на пути измѣренія представляетъ собою отсутствіе точнаго измѣренія «*v*»,—отношенія между электростатической и электромагнитной единицами; и я надѣюсь, что научные изслѣдователи возьмутся за этотъ предметъ и придадутъ ему такую же точность, какую придалъ лордъ Рэлэй измѣренію ома.

Остается въ высшей степени интересный пунктъ—это работа Джуля, отчетъ о которой данъ комитетомъ Британской Ассоціаціи:—смотри томъ Отчетовъ объ электрическихъ эталонахъ (Reports on Electrical Standards, Spon, 1871), стр. 138. Я, только приготовляясь къ этой лекціи, попалъ на это и со-поставилъ окончательнымъ образомъ цифры. Джуль, со скромностью, отличительной чертой этого человѣка, и съ удивительною точностью, отличительной чертой его трудовъ, произвелъ по просьбѣ Британской Ассоціаціи изслѣдованіе нагрѣвающего дѣйствія тока, измѣрявшагося опредѣленнымъ образомъ, причемъ за мѣру сопротивленія принимался омъ Британской Ассоціаціи, который предполагали тогда равнымъ 10^9 C.G.S. единицъ сопротивленія; и Джуль самъ считалъ, что производившіяся имъ электрическія измѣренія были точнѣе, чѣмъ могли быть его старыя измѣренія механическаго эквивалента тепловой единицы по способу тренія. Полученный результатъ, если считать омъ Британской Ассоціаціи абсолютно вѣрнымъ, далъ для механическаго эквивалента 782.2 фунто-футовъ вмѣсто 772 ¹⁾, полу-

постороннимъ источникомъ электричества, авторъ называетъ „гетеростатическими“ (heterostatic).

(Прим. ред.).

¹⁾ = 429.1 и 423.5 килограммометровъ.

(Прим. перев.).

ченыхъ раньше, и Джуль самъ выразилъ желаніе сдѣлать новое опредѣленіе его по способу тренія. Но поставимъ себя теперь въ положеніе, въ которомъ находились въ 1867 году, въ эпоху этого отчета, при этихъ соперничающихъ опредѣленіяхъ ома: одномъ, полученномъ по способу Британской Ассоціаціи—вращающихся катушекъ,—другомъ, полученномъ по электротермическому способу Джуля, причемъ за механическій эквивалентъ тепловой единицы взято было число, данное его методомъ тренія. Если предположить, что этотъ электротермическій способъ правиленъ, то отсюда мы можемъ вывести не то, что этотъ результатъ даетъ механическій эквивалентъ, а то, что единица Британской Ассоціаціи не есть 10^9 , какъ это предполагалось, а $10^9 \times 0.98697$. Такимъ образомъ, этотъ опытъ былъ, въ дѣйствительности, опредѣленіемъ Джуля сопротивленія ома Британской Ассоціаціи въ абсолютной мѣрѣ. Опредѣленіе лорда Рэля даетъ $10^9 \times 0.98677$ ¹⁾, разница на 2 единицы на четвертомъ мѣстѣ,—около $\frac{1}{100}$ процента. Точность работы Джуля совершенно магическая: это не есть игра случая. Я думаю, что, находясь среди Джуля, лорда Рэля, г-жи Сиджвикъ и другихъ, мы не можемъ теперь много сомнѣваться въ томъ, каково абсолютное значеніе единицы Сименса или единицы Британской Ассоціаціи. Я совѣтую всякому взять за единицу омъ Рэля вмѣсто единицы Британской Ассоціаціи. Я началъ поступать такимъ образомъ и я ставлю вездѣ значекъ R. O. Вы можете выразить все въ единицахъ Британской Ассоціаціи, но дѣлайте пожалуйста приведеніе къ Рэлевскимъ омамъ при помощи переводнаго множителя 0.98677. Вольты должны быть уменьшены въ томъ же отношеніи. Прежде на основаніи опредѣленія, выведеннаго мною въ 1851 году изъ опытовъ Джуля, считали абсолютную электродвижущую силу элемента-эталоны Даниеля за 1.07 вольта,—считавши ее въ теченіе десяти лѣтъ за 1.078, изъ-за единицы Британской Ассоціаціи, мы теперь снова исправляемъ

¹⁾ Изъ сводки всѣхъ произведенныхъ до настоящаго времени опредѣленій, сдѣланной Дорномъ (см. прим. 1 на стр. 64), получается число $10^9 \times 0.98670 (\pm 0.00038)$.
(Прим. перев.).

ее и находимъ, что она равна 1.07. Это относится къ вольту. Но намъ нужны болѣе точные приборы и способы, относящіеся къ другимъ отдѣламъ электрическихъ измѣреній, въ особенности, къ измѣренію электродвижущей силы и емкости, какъ электростатической, такъ и электромагнитной, а вмѣстѣ съ тѣмъ къ измѣренію числа сравненія «v». Вотъ что намъ нужно подвинуть впередъ и усовершенствовать для того, чтобы придать достаточно научный характеръ этой великой системѣ абсолютныхъ измѣреній, происхожденіе которой я попытался начертать и объяснить вамъ.

Демонъ-распредѣлитель Максвелля.

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

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

«Демонъ» Клэрка Максвелля представляетъ собою воображаемое существо, могущее совершать нѣкоторыя вполне опредѣленныя 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 отдѣльный атомъ матеріи и умѣрить 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 роялѣ можетъ дѣлать съ клавишами рояля,—даже нѣсколько болѣе: онъ можетъ толкнуть или потянуть всякій атомъ *въ любомъ направленіи*.

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

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

«Разсѣяніе энергіи» происходитъ въ природѣ отъ случайнаго столкновенія атомовъ. Потерянная двигательная способность [motivity] не можетъ существенно возстановляться иначе, какъ при посредствѣ дѣйствій, обращенныхъ на отдѣльные атомы, и способъ обращенія съ атомами, который ведетъ 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.

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

¹⁾ 1° Ц. на 423·5 метра.

(Прим. перев.).

ленной величины, то онъ долженъ отправляться направо; если меньше, — то налѣво. 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 разбиваютъ ихъ на атомы) и затѣмъ посылая 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 накопитъ въ себѣ энергію, какъ въ согнутой пружинѣ; пусть онъ затѣмъ помѣститъ свои двѣ руки между составными частями,—кислородной и двойной водородной, —сложной молекулы пара воды и оторветъ 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) ¹⁾ взрывчатой смѣси кислорода и водорода, въ одномъ случаѣ, и раздѣленныхъ взаимно сжигающихъ 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 растений, — разложеніе, окончательная двига-

¹⁾ 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*».

(Прим. перев.).

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

Представленіе о «демонѣ-распредѣлителѣ» есть представленіе только механическое и имѣетъ 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.

Упругость, рассматриваемая, какъ возможный родъ движенія.

[Краткое извлеченіе изъ пятничнаго 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 открытій 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 Максвеллемъ; эта теорія отъ статистики движеній толпы атомовъ была доведена до наблюдений и измѣреній свободнаго пути одного отдѣльнаго атома въ объясненіи, данномъ Тэтомъ и Дьюаромъ¹⁾ великому открытію Крукса,—радиометру,—и въ живомъ осуществленіи Круксомъ древнихъ потоковъ Лукреція, при посредствѣ котораго самъ Круксъ развилъ далѣе данное этими двумя учеными объясненіе его собственныхъ болѣе раннихъ опытовъ; по этой теоріи, «Пружинность воздуха²⁾»,—менѣе, чѣмъ черезъ двѣсти лѣтъ послѣ перваго от-

¹⁾ Nature, 12, 17—18, 1875.

(Прим. перев.).

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

(Прим. перев.).

крытія ея Робертомъ Бойлемъ, — оказалась просто статистической равнодѣйствующей мириадъ частичныхъ столкновений».

«Но молекулы или атомы должны обладать упругостью и эта упругость должна быть объяснена движеніемъ прежде, чѣмъ можно будетъ довести неуверенныя 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 жиростатами, 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 соскочить съ блока и упасть на полъ, то она твердо стояла отвѣсно втеченіе нѣкотораго времени, пока прикосновеніе и треніе ея звеньевъ объ полъ не прекратило ея движенія. Быстро вращаемый мягкій каучуковый дискъ, казалось, приобрѣталъ жесткость полей гигантской Рубенсовской шляпы. Маленькій деревянный шарикъ, который, когда его погружаютъ внизъ въ спокойной водѣ, моментально снова выскакиваетъ наверхъ, оставался внизу, какъ будто онъ былъ помѣщенъ въ студень [jelly¹⁾], когда вода получала быстрое вращательное движеніе, и отскакивалъ, какъ будто вода имѣла упругость, подобную упругости студня, когда этому шарикъ наносили толчокъ твердой проволокой, проткнутой черезъ центръ пробки, которою закрывался стеклянный сосудъ, содержащій воду. Наконецъ, выбрасываемыя изъ круга лаго или эллиптическаго отверстія въ коробкѣ большія кольца дыма дѣлались видимыми, при помощи освѣщенія ихъ электрическимъ свѣтомъ, въ своемъ движеніи въ воздухѣ аудиторіи. Каждое

¹⁾ См. прим. 3 на стр. 108.

(Прим. перев.).

кольцо было круглымъ и движеніе его было спокойнымъ, когда отверстіе, изъ котораго оно выходило, было круглое и когда это кольцо не было подвержено вліянію другого кольца. Когда одно кольцо пускалось вслѣдъ за другимъ наклонно, то столкновение или приближеніе къ столкновению 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 движенію. Не можетъ ли быть объяснена такимъ образомъ упругость каждаго 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 химическаго сродства, электричества, магнетизма, тяготѣнія и инерціи массъ (т. е. скопищъ вихревыхъ колець).

Теорія Ле-Сажа могла бы дать объясненіе силъ тяжести и ея отношенію къ *инерціи массъ*, по теоріи вихревыхъ колець, 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 движенія*».

Величина атомовъ.

[Пятничное вечернее чтеніе въ Королевскомъ Великобританскомъ Институтѣ, 3 февраля 1883 (Proc. R. I., т. 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 «неизмѣримо». То, что измѣримо, не непостижимо и потому эти два слова, будучи поставлены рядомъ, представляютъ тавтологію. Оставимъ непостижимость метафизикамъ. 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 разсматриваемый предметъ очень великъ или очень малъ, нѣтъ 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 соотвѣтственно на волновой теоріи свѣта, на явленіяхъ электричества при соприкосновеніи, на капиллярномъ притяженіи и на кинетической теоріи газовъ, сходятся въ указаніяхъ, что діаметръ атомовъ или молекулъ обыкновенной матеріи, долженъ быть равенъ чему-то вродѣ $\frac{1}{10,000,000}$ или же отъ $\frac{1}{10,000,000}$ до $\frac{1}{100,000,000}$ сантиметра. Я говорю нѣсколько неопредѣленно, — 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 названіе. 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 отдѣльныя молекулы, причемъ каждая молекула недѣлима или, во всякомъ случаѣ, не раздѣляется въ химическихъ взаимодействіяхъ. Я не буду вовсе входить въ такіе 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 кирпичнаго зданія на промежутки въ девять дюймовъ ¹⁾ толщиной 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 непременно 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 словопрениій, которыя, безъ сомнѣнія, были очень интересны за недостаткомъ болѣе поучительнаго предмета для изученія. Нужно, однако, съ разумной серьезностью внимательно отнестись къ

¹⁾ = 23 сантиметра.

(Прим. перев.).

тому очень важному обстоятельству, что въ хронометріи, какъ и въ геометріи, мы имѣемъ абсолютную непрерывность, и предполагаемъ предѣлъ малости, какъ времени, такъ и пространства, является просто непостижимою нелѣпостью. Но, съ другой стороны, вопросъ, можемъ ли мы раздѣлить кусокъ стекла на кусочки, меньшіе $\frac{1}{100,000}$ сантиметра въ діаметрѣ, и такъ далѣе, не уничтожая его и не принуждая его прекратить имѣть свойства стекла, — совершенно такъ же, какъ кирпичъ не имѣетъ свойствъ кирпичной стѣны, — есть вопросъ, очень практической, и вопросъ, которымъ мы вполне 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, дѣлаютъ вполне достовѣрнымъ, что частицы, составляющія воздухъ, которымъ мы дышемъ, не очень много меньше, — если даже еще меньше, — $\frac{1}{10,000,000}$ сантиметра въ діаметрѣ. Минуть пять тому назадъ одинъ пріятель сказалъ мнѣ, что, еслибъ 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 англійскими 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 діаметромъ, сантиметръ и кругъ въ сантиметръ и миллиметръ, который есть $\frac{1}{10}$ сантиметра, (или, въ круглыхъ числахъ, $\frac{1}{40}$

дюйма), и кругъ въ миллиметрѣ. (Для удобства, рисунокъ 33, представляющій чертежъ, о которомъ идетъ здѣсь рѣчь, пока-



Одинъ сантиметръ. Одинъ миллиметръ.
Рис. 33.

зываетъ 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 неопредѣленная, потому что есть различныя длины волнъ для различныхъ цвѣтовъ свѣта, видимаго и невидимаго, — различныя въ отношеніи 1 къ 16. У насъ есть, такъ сказать, — заимствую аналогію изъ звука, — четыре октавы свѣта, которыя намъ извѣстны. Какъ далеко простирается въ дѣйствительности этотъ рядъ, выше и ниже до сихъ поръ измѣреннаго 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 налѣво вы имѣете длины волнъ свѣта въ частяхъ

сантиметра, приче́мъ 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 сантиметрахъ.	Частота ¹⁾ волнъ или число колебаній въ секунду.
A	7.604×10^{-5}	395.0×10^{12}
B	6.867 "	437.3 "
C	6.562 "	457.7 "
D ₁	5.895 "	509.7 "
D ₂	5.889 "	
E	5.269 "	570.0 "
b	5.183 "	
F	4.861 "	617.9 "
G	4.307 "	697.3 "
H ₁	3.967 "	756.9 "
H ₂	3.933 "	763.6 "

для видимаго свѣта, длины волнъ отъ $7\frac{1}{2}$ до 4, приблизительно, или 3.9. Вы можете, слѣдовательно, сказать, въ круглыхъ чи-

¹⁾ Рѣшаюсь перевести неологизмомъ «частота» англійскій терминъ «frequency» (французскій — fréquence), который ввелъ въ науку лордъ Рэлэй и о полезности и удобствѣ котораго говоритъ Томсонъ на первыхъ страницахъ своей лекціи «Волновая теорія свѣта (см. дальше).

(Прим. перев.).

слахъ, что для длинъ 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 ¹⁾ красного конца спектра. Самый низкій лучъ, обозначенный Фрауэнгоферомъ буквой А, имѣетъ длину 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 ²⁾; 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 ³⁾ или въ упругомъ матеріалѣ любого

¹⁾ Авторъ для краткости называетъ лучи высокими и низкими (по аналогіи со звуками), соотвѣтственно большому или меньшему числу колебаній. (Прим. перев.).

²⁾ Нѣтъ надобности описывать всѣ подробности этого двунитнаго подвѣса, такъ какъ новый видъ его, въ которомъ требуемыя силы взаимодействія даетъ одна стальная фортепианная струна, ниже описанный и изображенный на рис. 34,—лучше и его легче сдѣлать. (Прим. автора).

³⁾ Замѣтимъ, кстати, что подъ студнемъ или желе понимается, какъ любая студенистая масса, такъ и *несжимаемое*, но измѣняемое деформацией сдвига, *упругое твердое тѣло*. Въ одномъ изъ своихъ мемуаровъ (движеніе 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. Phis. 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 ¹⁾]. Бѣлые кружки на деревянныхъ стержняхъ изображаютъ кусочки вещества — я не скажу въ настоящую минуту «молекулы», хотя мы потомъ будемъ разсматривать ихъ, какъ молекулы. Свѣтъ состоитъ изъ колебаній, перпендикулярныхъ къ линіи распространенія, — именно такъ, какъ въ моделяхъ, находящихся передъ вами.

Въ томъ красивомъ опытѣ, который извѣстенъ подъ именемъ Ньютоновыхъ колець, 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

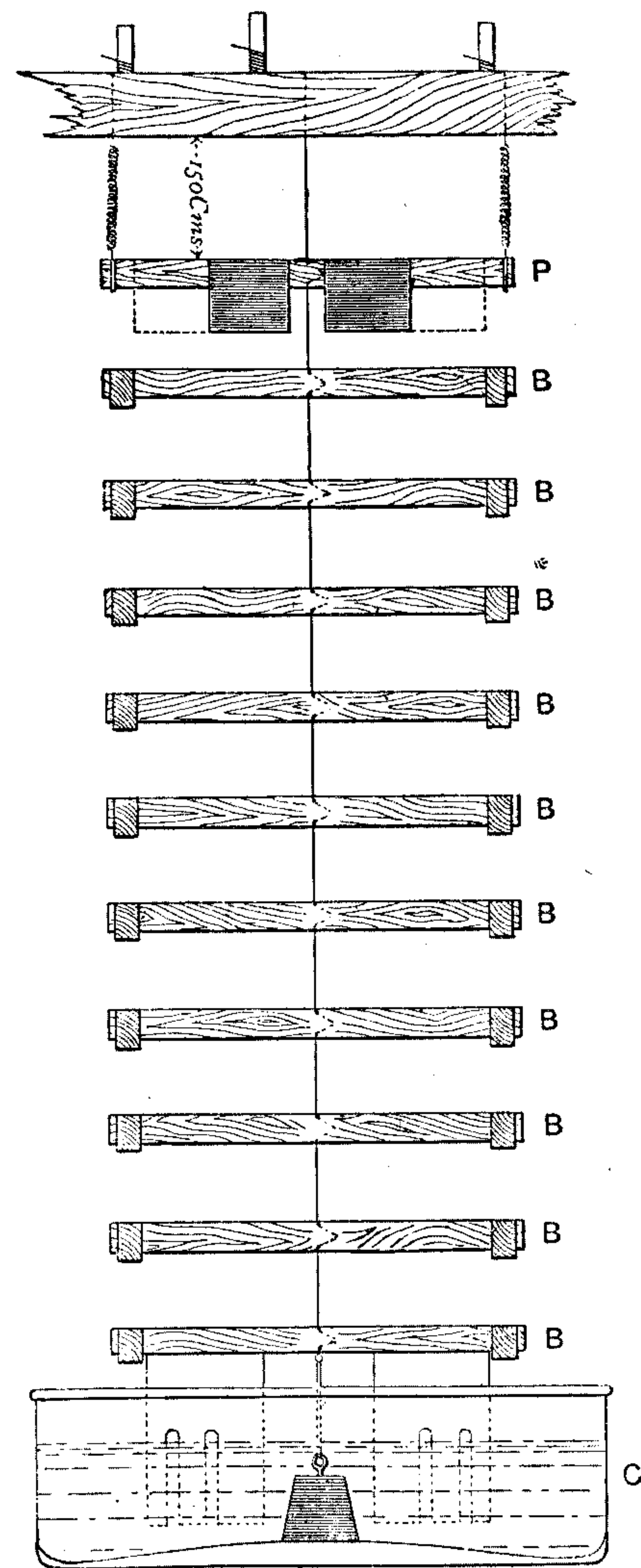


Рис. 34.

¹⁾ Этотъ приборъ, изображенный на рисункѣ 34, слѣдующихъ раз.

я начинаю сообщать простое гармоническое колебаніе нижнему стержню. Я имѣю здѣсь выпуклую чечевицу съ очень длиннымъ фокусомъ и кусокъ зеркальнаго стекла съ вычерненной задней стороной. Когда я прижимаю выпуклую чечевицу къ куску зеркальнаго стекла, вычерненнаго сзади, я вижу окрашенные кольца; это явленіе будетъ вамъ показано на экранѣ при посредствѣ электрическаго свѣта, отраженнаго отъ заполненнаго воздухомъ промежутка между двумя стеклами. Явленіе это было впервые наблюдаемо сэромъ Исаакомъ Ньютономъ и было впервые объяснено волновой теоріей свѣта. [Теперь Ньютоны кольца проэктированы на экранъ передъ вами при помощи отраженнаго 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-

тѣровъ и устройства. Рядъ равныхъ и подобныхъ стержней В, концы которыхъ представляютъ молекулы среды, и стержень-маятникъ Р, исполняющій роль возбудителя колебаній или кинетическаго запаса колебательнаго движенія, представляютъ собой куски дерева, каждый 50 сантиметровъ длиною, 3 сантиметра шириною и 1.5 сантиметра толщиною. Проволока, на которой они подвѣшены, есть стальная фортепьянная струна № 22 В. W. G. (0.07 см. діаметромъ) и стержни прикрѣплены къ ней слѣдующимъ образомъ. Три латунныхъ болта, около 0.4 сантиметра діаметромъ, свободно втиснуты въ каждый стержень въ указанномъ положеніи, т. е. образуя вершины равносторонняго треугольника съ основаніемъ, параллельнымъ линіи подвѣсной проволоки, и со сторонами около 1 мм. длиною. Подвѣсная проволока, проложенная въ желобкахъ, вырѣзанныхъ въ болтахъ, проходитъ подъ верхнимъ болтомъ, снаружи болта у вершины треугольника, надъ верхней стороной нижняго болта и затѣмъ внизъ къ слѣдующему стержню. Верхній конецъ этой проволоки укрѣпленъ такъ: онъ продернутъ черезъ отверстіе въ поддерживающемъ весь приборъ брускѣ и нѣсколькими оборотами закрученъ вокругъ болта, помѣщеннаго съ одного боку отъ отверстія, какъ это изображено на рисункѣ. Къ каждому концу стержня-маятника крѣпко придѣлано, какъ показано, по стальной спиральной пружинкѣ; верхніе концы этихъ пружинъ прикрѣплены къ короткимъ веревкамъ, проходящимъ черезъ отверстія въ поддерживающемъ брускѣ и привязаннымъ двумя или тремя оборотами вокругъ болтсвъ, Эти

талкиваетъ стекло на разстояніи двухъ или трехъ длинъ волны свѣта;—скажемъ, на разстояніи $\frac{1}{5,000}$ сантиметра». Я ни на минуту не вѣрю этому. Кажущееся отталкиваніе стеклъ 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 опредѣленно, потому что мы имѣемъ дѣло съ многими различными длинами волнъ. Я упрощу явленіе, сводя все къ одному цвѣту, красному,—поставивъ на пути красное стекло. У васъ теперь одинъ цвѣтъ, но вмѣстѣ съ тѣмъ гораздо меньше 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 прикрѣпленными къ нимъ кусками свинца. Болѣе значительные куски свинца, которые видны на стержнѣ-маятникѣ, могутъ быть закрѣплены въ различныхъ положеніяхъ на этомъ стержнѣ,—на рисункѣ они изображены въ ихъ наименьшемъ возможномъ разстояніи другъ отъ друга. Къ самому нижнему стержню придѣланы два жестяныхъ обращенныхъ внизъ крыла, которыя погружены въ вязкую жидкость (разведенная водою патока), заключающуюся въ сосудѣ С. Тяжелая гири, лежащая на днѣ этого сосуда и соединенная съ нижнимъ концомъ подвѣсной проволоки при посредствѣ натянутой каучуковой ленты, служитъ для того, чтобы удерживать въ надлежащемъ положеніи нижній конецъ прибора. Періоду колебанія стержня-маятника можно придать любую желаемую величину, передвигая внутрь или внаружу прикрѣпленные 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 діаметромъ,—скажемъ, въ 5 или 6 длинъ 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 показаль 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 притягиваютъ другъ друга съ вполне опредѣленной силой, величину которой можно узнать изъ абсолютныхъ измѣреній въ связи съ вполне установленнымъ ученіемъ 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 маленькія металлическія

ножки; коснитесь теперь пластинки цинка одной изъ нихъ и поворачивайте ее постепенно книзу, пока она не придетъ 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 втеченіе того времени, въ которое онѣ, послѣ первоначальнаго 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 журналѣ *Nature* ¹⁾ тринадцать 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, раздѣленныхъ 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-

¹⁾ 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.

чина работы на одинъ граммъ металла равна четверти граммъ-сантиметра. Но, 4,030 граммъ-сантиметровъ работы, представляють 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 каждаго куска металла и каждаго промежуточнаго пространства будетъ $\frac{1}{100,000,000}$ сантиметра вмѣсто $\frac{1}{100,000}$. Работа увеличится въ миллионъ разъ ¹⁾, если только $\frac{1}{100,000,000}$ сантиметра не приблизится по малости къ размѣрамъ молекулы. Эквивалентнаго этой работѣ 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 промежуточные пространства сдѣланы еще въ четыре раза тоньше, т. е. толщина каждаго 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 надобно для того, чтобы расплавить оба порошка въ отдѣльности,—подобно тому, какъ большое количество пороха, будучи зажжено въ какой либо одной точкѣ, сгораетъ все, безъ новаго сообщенія тепла. Слѣдовательно, пластинки цинка

¹⁾ Такъ какъ сила притяженія обратно пропорціональна квадрату разстоянія. (Прим. перев.).

и мѣди въ $\frac{1}{300,000,000}$ сантиметра толщиною, плотно сложенные попеременно 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 химическаго сродства; тепла выдѣляется немного; смѣсь не нагрѣвается, смѣсь *не взрываетъ*. 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 предѣла предполагаемой ихъ малости*. Мы не можемъ довести дѣленіе цинка и мѣди ниже извѣстной 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,—соотвѣтственно 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 металлъ. Короче, составныя части, такъ сказать, тѣхъ кирпичей, или молекулъ, или атомовъ, изъ которыхъ построены цинкъ и мѣдь, не могутъ быть много меньше,—если только еще могутъ быть меньше, — $\frac{1}{100,000,000}$ сантиметра въ діаметрѣ, и могутъ быть значительно больше.

Подобныя же заключенія являются слѣдствіемъ разсмотрѣнія любопытнаго и въ высшей степени интереснаго явленія, — мыльнаго 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 наведенъ 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-бѣлый, потомъ въ зеленый, голубой, темно-фіолетовый 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-бѣлому 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 лопається. 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-бѣлому цвѣту ¹⁾.

Ньютонъ въ слѣдующемъ отрывкѣ изъ его «Оптики» ²⁾ (стр. 187 и 191 изданія 1721 года, Вторая Книга, Часть I) сказалъ больше объ этомъ важномъ явленіи чернаго пятна, чѣмъ извѣстно 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-

¹⁾ 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. ³⁾ Авторы даютъ слѣдующіе результаты измѣреній толщины черной пленки указанныхъ жидкостей.

Жидкость.	Способъ ⁴⁾ .	Средняя толщина.
„Liquide Glycérique“ Плато	электрическій.	0.119×10^{-2} сант.
	оптическій.	0.107 „
Растворъ мыла.	электрическій.	0.117 „
	оптическій.	0.121 „

Слѣдовательно толщина пленки «liquide glycérique» [глицериновой жидкости] и толщина пленки раствора мыла, не содержащаго глицерина, почти одинаковы и равны, приблизительно, $\frac{1}{50}$ длины волны натриваго пламени. (Прим. автора).

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

(Прим. перев.).

³⁾ Proc. Roy. Soc., 25, 149—151.

(Прим. перев.).

⁴⁾ 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 самаго пятна, и изъ этого сопротивленія выводили толщину пленки, въ предположеніи, что удѣльное сопротивленіе не измѣняется (что они провѣрили до толщинъ въ 3.74×10^{-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 цвѣта. Чтобы защитить эти пузыри отъ колебанія ихъ внѣшнимъ воздухомъ (черезъ что ихъ цвѣта неправильно пердвигаются одинъ посреди другого, такъ что нельзя дѣлать точныя наблюденія надъ окрашиваніями), я, какъ только выдувалъ какой нибудь изъ нихъ, покрывалъ его чистымъ стаканомъ, и благодаря этому цвѣта пузыря возникали въ очень правильномъ порядкѣ въ видѣ концентрическихъ колецъ, окружавшихъ вершину пузыря. И по мѣрѣ того, какъ пузырь дѣлался тоньше вслѣдствіе непрерывнаго стеканія воды, эти кольца медленно расширялись и распространялись по всему пузырю, опускаясь въ полномъ порядкѣ къ его основанію, гдѣ они послѣдовательно исчезали. Тѣмъ временемъ, послѣ того, какъ всѣ цвѣта прошли отъ вершины, тамъ въ центрѣ колецъ появлялось небольшое круглое черное пятно, подобное пятну въ первомъ наблюденіи ¹⁾, которое непрерывно расширялось, пока не становилось иногда болѣе половины или трехъ четвертей дюйма шириною, 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 нѣсколькихъ пленокъ при помощи стальной иглы, приводимой въ движеніе 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. (Прим. перев.).

¹⁾ «Наблюденіе I. Сжимаемая крѣпко призмы вмѣстѣ, такъ, чтобы ихъ грани (которые случайно оказались немножко выпуклыми) могли гдѣ нибудь 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 черного пятна, но также и отъ маленькихъ болѣе темныхъ пятенъ, находившихся внутри его.

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

Теперь, у меня есть основаніе, и основаніе неопровержимое 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 паръ.

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, совершается работа. Эта стягивающая сила должна выразиться извѣстнымъ числомъ единицъ силы на единицу ширины ¹⁾. 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-

¹⁾ Томсонъ хочетъ показать этимъ, что сила относится къ единицѣ длины линіи раздѣла поверхности, перпендикулярной направленію силы.

(Прим. перев.).

ваніи пленки воды до любой степени тонкости, считаема в 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. Вь статью «О тепловомъ дѣйствіи растяженія пленки жидкости» («On the Thermal Effect of Drawing out a Film of Liquid»), напечатанной вь Протоколахъ Королевскаго Общества за апрѣль 1858 года, [Math. and Phys. Papers, т. III, ст. XCV¹⁾], я вывелъ изъ второго закона термодинамики, что пленкѣ нужно сообщить еще около половины этого количества энергіи, вь формѣ тепла, чтобы предотвратить пониженіе ея температуры вь то время, какъ ее вытягиваютъ. Отсюда, внутренняя энергія [intrinsic energy] массы воды, взятой вь видѣ пленки, поддерживаемой при постоянной температурѣ, увеличивается на 24 миллиграммъ-миллиметра на каждый квадратный сантиметръ, прибавляемый къ ея поверхности.

Положимъ, затѣмъ, что дана пленка толщиной вь миллиметръ, и положимъ, что ея площадь увеличивается вь 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 количество тепла соотвѣтствуетъ поднятію температуры вещества болѣе, чѣмъ на полъ градуса Цельсія (0°57). Толщина, къ которой сведена пленка вь 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, нѣтъ 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.

¹⁾ Proc. Roy. Soc., 9, 255—260; вь Math. Phys. Pap., изданія 1890 года, этой статьи вовсе нѣтъ. (Прим. перев.).

Очень умѣренная величина работы, указанная вь предыдущемъ расчетѣ, вполне 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, вь тысячу разъ больше той, которую мы сейчасъ вычислили. Эквивалентное ей тепло вь 570 разъ больше количества, потребнаго, чтобы поднять температуру жидкости на 1° Цельсія. Это много больше того, что мы можемъ допустить, какъ возможное количество работы, совершаемой при растяженіи жидкой пленки. Это больше того количества работы, которое, будучи затрачено на жидкость, обратило бы ее вь паръ при обыкновенныхъ атмосферныхъ условіяхъ. Неизбѣжное заключеніе отсюда, что у водяной пленки значительно понижается ея стягивающая сила прежде, чѣмъ пленка дойдетъ до толщины вь $\frac{1}{10,000,000}$ миллиметра. Какую бы мы молекулярную теорію ни допускали, едва ли возможно, чтобы могло быть какое нибудь значительное пониженіе стягивающей силы до тѣхъ поръ, пока вь толщѣ пленки еще заключается много молекулъ. Поэтому вѣроятно, что вь толщѣ воды вь $\frac{1}{10,000,000}$ миллиметра не находится много молекулъ.

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

шагося металла съ кислородомъ воздуха подѣ влияніемъ жара представляетъ собою настоящій пожаръ поверхности.

Вы всё хорошо знакомы съ яркими и красиво распределенными полосками цвѣтовъ, производимыми жаромъ на полированныхъ стальныхъ рѣшеткахъ и кочергахъ, если онѣ ускользнуть отъ тѣхъ несчастныхъ правилъ домашней эстетики, которыя 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 фіолетоваго цвѣта, ослабленія голубого цвѣта и меньшаго, въ зависимости отъ ихъ естественнаго порядка, ослабленія другихъ цвѣтовъ, — ослабленія, происходящаго отъ интерференціи лучей, отраженныхъ отъ двухъ поверхностей пленки, — толщина эта, будучи нѣсколько меньше четверти длины волны фіолетоваго цвѣта, равна около $\frac{1}{100,000}$ сантиметра ¹⁾.

Чрезвычайная дѣйствительность электричества для отысканія и обнаруживанія чего либо приходитъ и здѣсь къ намъ на помощь и при посредствѣ силы, распростертой, 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 производитъ

¹⁾ Можетъ быть, толщина эта значительно меньше, потому что нормальное отраженіе на поверхности раздѣла металла и прозрачнаго 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 ¹⁾. Если въ приборѣ для измѣренія электричества при соприкосновеніи ²⁾, 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-

¹⁾ Наименьшія толщи отложеннаго на стеклѣ слоя серебра, присутствіе которыхъ обнаруживалось замѣтнымъ измѣненіемъ въ свойствахъ отраженнаго свѣта, доходятъ до $\frac{2}{10,000,000}$ миллиметра (2×10^{-8} сантиметра).

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

²⁾ Приборъ этотъ (рис. 34 А) состоитъ изъ квадратнаго электрометра, соединяемаго съ испытуемыми пластинками (съ Вольтовымъ конденсато-

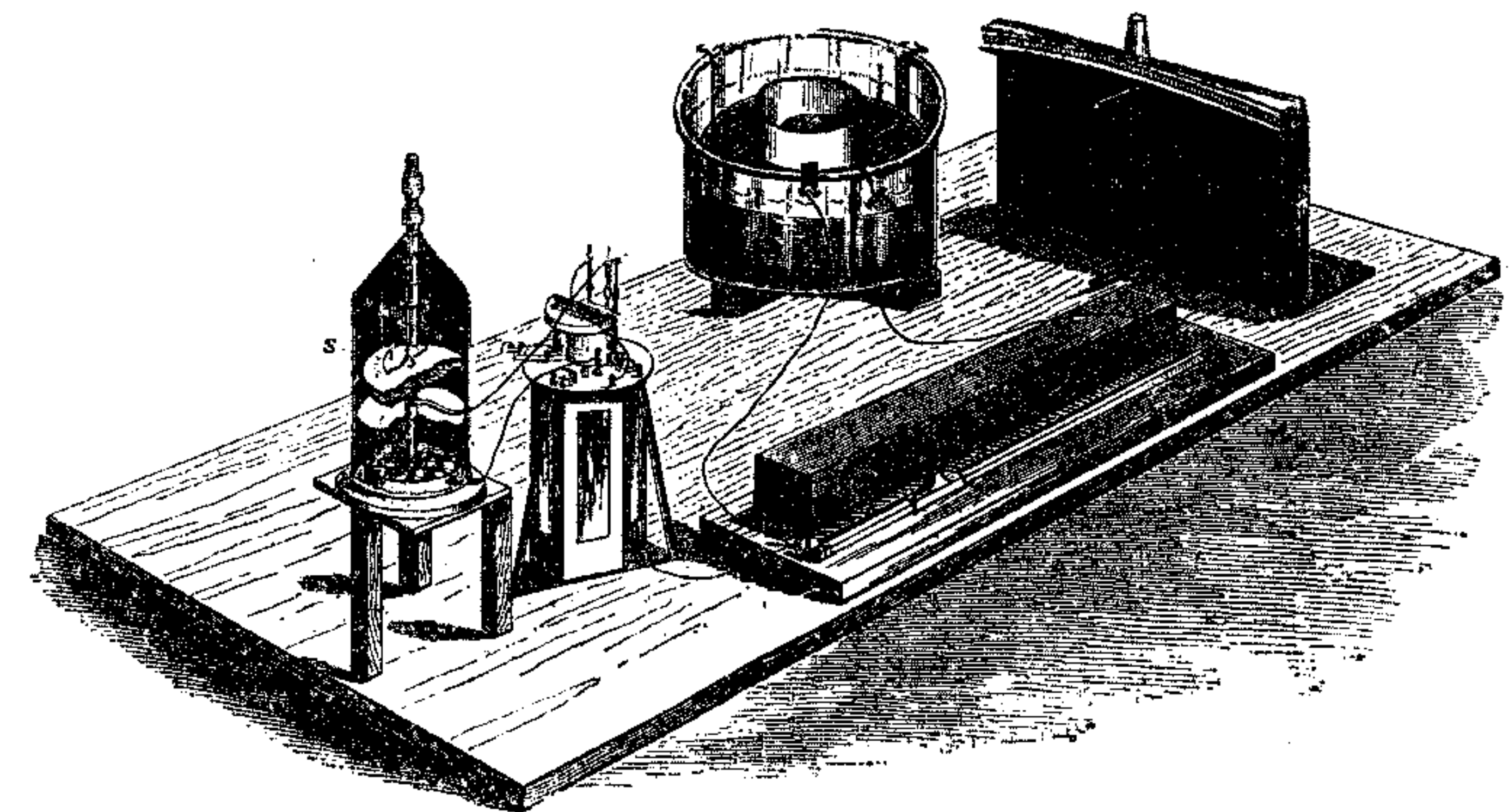


Рис. 34 А.

ромъ), изъ элемента Даніэля 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 операціи 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 операцію при нѣсколько болѣе высокихъ температурахъ или нѣсколько болѣе продлить нагрѣваніе, то электрическая разница между пластинками увеличивается. Такое явленіе наблюдается раньше, чѣмъ на мѣдной поверхности, измѣненной нагрѣваніемъ, появляется какая либо замѣтная окраска. Явленіе это продолжаетъ усиливаться при возвышеніи температуры нагрѣвающего 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 нагрѣваніе не увеличиваетъ, повидимому, интенсивности явленія. Наибольшее явленія электризаціи при соприкосновеніи, какое я такимъ образомъ получилъ, между свѣже отполированной блестящей мѣдной поверхностью и противоположащей стороной мѣди, ставшей почти черной вслѣдствіе окисленія, было таково, что для компенсирующаго потенціала въ моемъ способѣ изслѣдованія ¹⁾ требовалось около половины потенціала одного элемента Даніэля.

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 бесконечно-малыхъ слѣдовъ паровъ іода. Дѣйствіе на свойства поверхности

¹⁾ Описанъ въ первый разъ въ письмѣ къ Джулю, напечатанномъ въ Proceedings of the Literary and Philosophical Society of Manchester отъ 21 января 1862 г. ²⁾, гдѣ 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).

²⁾ Proc. Manch. Soc. 2, 176—78.

(Прим. автора).

(Прим. перев.).

по отношенію къ электричеству при соприкосновеніи возрастаетъ, повидимому, непрерывно, начиная съ перваго наложенія на металлъ,—наложенія, совершенно незамѣтнаго 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, чтобъ 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, притянувшихся 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 нѣкоторыя чрезвычайно тонкія пленки платины, золота и серебра, помѣщенные на стеклянныхъ пластинкахъ,—пленки, толщина которыхъ измѣрена. Эта платина—толщиною 1.9×10^{-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 2×10^{-5} сантиметра) равна какъ разъ половинѣ длины волны фіолетоваго 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 1.5×10^{-5} сантиметра или $\frac{3}{8}$ длины волны фіолетоваго свѣта въ воздухѣ. Оно

совершенно непрозрачно для электрическаго свѣта,—на сколько позволяютъ намъ судить наши глаза,—и отражаетъ весь свѣтъ вверхъ къ потолку. Не удивительно, что оно непрозрачно; мы могли бы удивляться, если бы было иначе; но есть невидимый ультра-фіолетовый свѣтъ, соотвѣтствующій небольшому числу длинъ волнъ и заключающій въ себѣ линію цинка съ длиною волны въ воздухѣ въ 3.4×10^{-5} сантиметра, который пропускаетъ эта серебряная пленка. Для этой линіи, въ частности, серебряная пленка въ 1.5×10^{-5} сантиметра толщиною прозрачна. Изображеніе, которое вы видите теперь на экранѣ, есть изображеніе при посредствѣ волшебнаго фонаря фотографіи со спектра свѣта, который дѣйствительно прошелъ черезъ это серебро. Вы весьма ясно видите цинковую линію, проходящую поперекъ его близъ его середины. Слѣдовательно, здѣсь мы имѣемъ прозрачныя золото и серебро. Серебро непрозрачно для всѣхъ лучей кромѣ этого очень опредѣленнаго свѣта съ длинами волны отъ, приблизительно, 3.07 до 3.32×10^{-5} сантиметра.

Различная преломляемость различныхъ цвѣтовъ есть результатъ наблюдений основной важности въ вопросѣ о величинѣ атомовъ. Вы видите теперь предъ собою на экранѣ призматическій спектръ,—извѣстное явленіе, происходящее отъ различія въ преломленіи различныхъ цвѣтовъ при прохожденіи ихъ черезъ призму. Объясненіе его по волновой теоріи свѣта довело до крайняго напряженія способности математиковъ. Сначала, однако, взгляните на то, что легко усвояемо и что этотъ, находящійся передъ вами, рисунокъ (рис. 35) дѣлаетъ вполне яснымъ,—и вы легко поймете, что преломленіе зависитъ отъ разницы въ скорости распространенія свѣта въ двухъ разсматриваемыхъ средахъ. Углы на рисункѣ приблизительно вѣрны для преломленія на какомъ либо раздѣлѣ между воздухомъ или пустою и флинтгласомъ; и вы видите, что въ этомъ случаѣ скорость распространенія меньше въ болѣе плотной средѣ. Въ болѣе преломляющей (не всегда болѣе плотной) изъ двухъ средъ у свѣта, проходящаго черезъ нее, будетъ меньшая скорость «Показатель преломленія» какой либо прозрачной среды есть

отношеніе скорости распространенія въ эфирѣ къ скорости распространенія въ этой прозрачной средѣ.

Что скорость распространенія будетъ различной въ различныхъ средахъ и что она будетъ въ большинствѣ случаевъ меньше 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 періодовъ колебанія, не есть то, чего

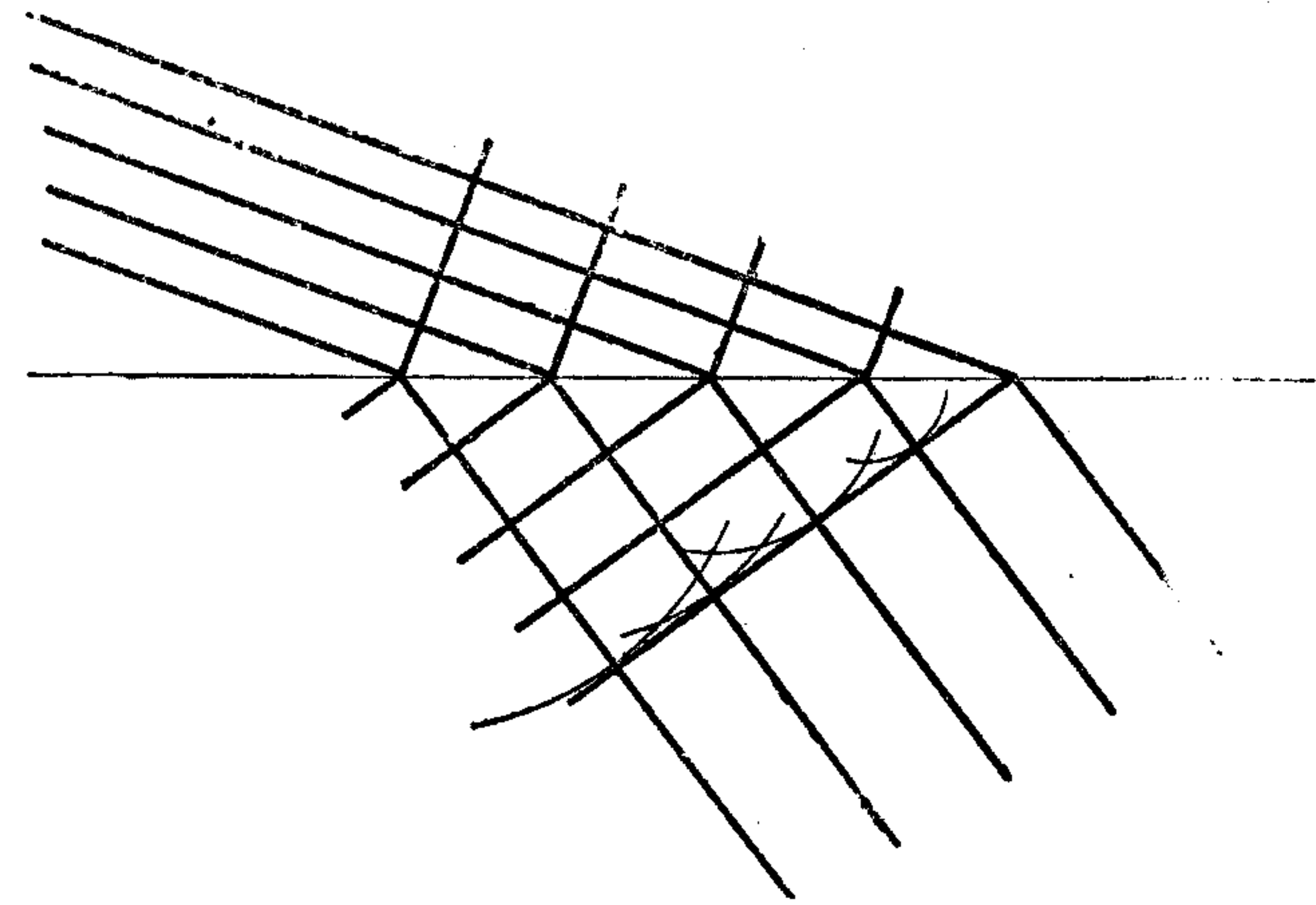


Рис. 35. Чертежъ построения Гюйгенса для передней части волны преломленнаго свѣта; нарисованъ для свѣта, проходящаго изъ воздуха въ флинтгласъ.

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

дится передъ вами,—не до безконечности однородно, но что, наоборотъ, если изслѣдовать смежныя части любой такой среды—дѣйствительно, любой среды, которая можетъ дать призматическіе цвѣта,—черезъ промежутки, не безконечно малые въ сравненіи съ длинами волны, то откроются совершенно неоднородныя 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 направленіи движенія при различныхъ положеніяхъ вихревого кольца въ однородной жидкости; — или такія разницы въ матеріалѣ, занимающемъ изслѣдуемое пространство, какъ тѣ, которыя мы находимъ въ большой массѣ кирпичнаго 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 молекулярнаго строенія и молекулярныхъ взаимодействій, которыя 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 Коши¹⁾. Посмотрите на эту небольшую таблицу (таблица II),

¹⁾ Какъ изложеніе механической теоріи «дисперсіи свѣта», смотри

ТАБЛИЦА II.

Скорость v въ зависимости отъ числа N частицъ въ длинѣ 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
∞	100·00

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

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

(Прим. автора).

измѣняющеюся прямо пропорціонально избытку разстоянія между ними надъ нѣкоторой постоянной линіей (длина которой должны быть выбрана соотвѣтственно степени сжимаемости, которою обладаетъ упругое тѣло, которое мы желаемъ изобразить этимъ скопищемъ взаимодействующихъ молекулъ). Если мы представимъ себѣ, что частицы дѣйствительной матеріи расположены въ кубическомъ порядкѣ и что шесть спиральныхъ пружинъ изъ стальной проволоки или упругихъ каучуковыхъ лентъ прикрѣплены къ каждой частицѣ и натянуты между нею и ея шестью ближайшими сосѣдями, то такой моделью эти силы будутъ воспроизведены со всей надлежащей точностью; и если бы мы могли успѣшно *пожелать*, чтобы амфитеатръ Королевскаго Института былъ перенесенъ въ центръ земли и оставленъ тамъ на пять минутъ, то я бы имѣлъ большое удовольствіе 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 вмѣсто этого у васъ есть эти двѣ модели волнъ (см. рис. 34, стр. 109), каждая изъ которыхъ показываетъ вамъ перемѣщеніе и движеніе ряда частицъ при распространеніи волны черезъ наше воображаемое твердое тѣло трехъ измѣреній, причемъ выбранный рядъ молекулъ представляетъ собой тѣ, которыя при равновѣсіи находятся на одной прямой линіи, направляющей кубическаго расположенія, а у предполагаемой волны ея передняя сторона перпендикулярна къ этой линіи, а направленіе колебанія ея есть направленіе одной изъ двухъ другихъ направляющихъ линій кубическаго расположенія.

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-

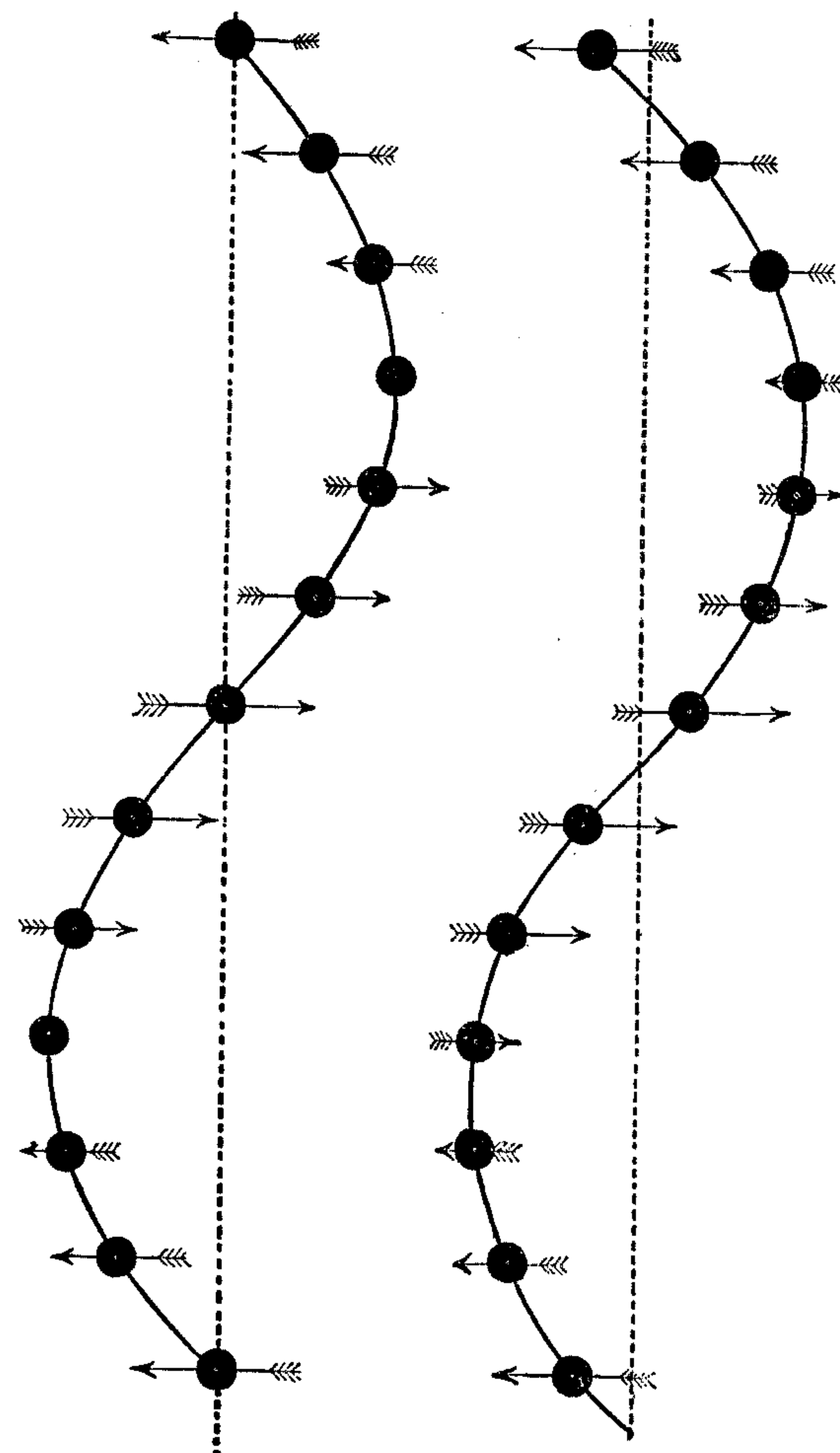


Рис. 36.

Рис. 37.

Двѣнадцать частицъ въ длинѣ одной волны.

казываетъ величину и направленіе скоростей послѣ того, какъ

волна подвинулась вперед на такое расстояние, (в этомъ случаѣ равное $\frac{1}{24}$ длины волны), что гребень волны ока-

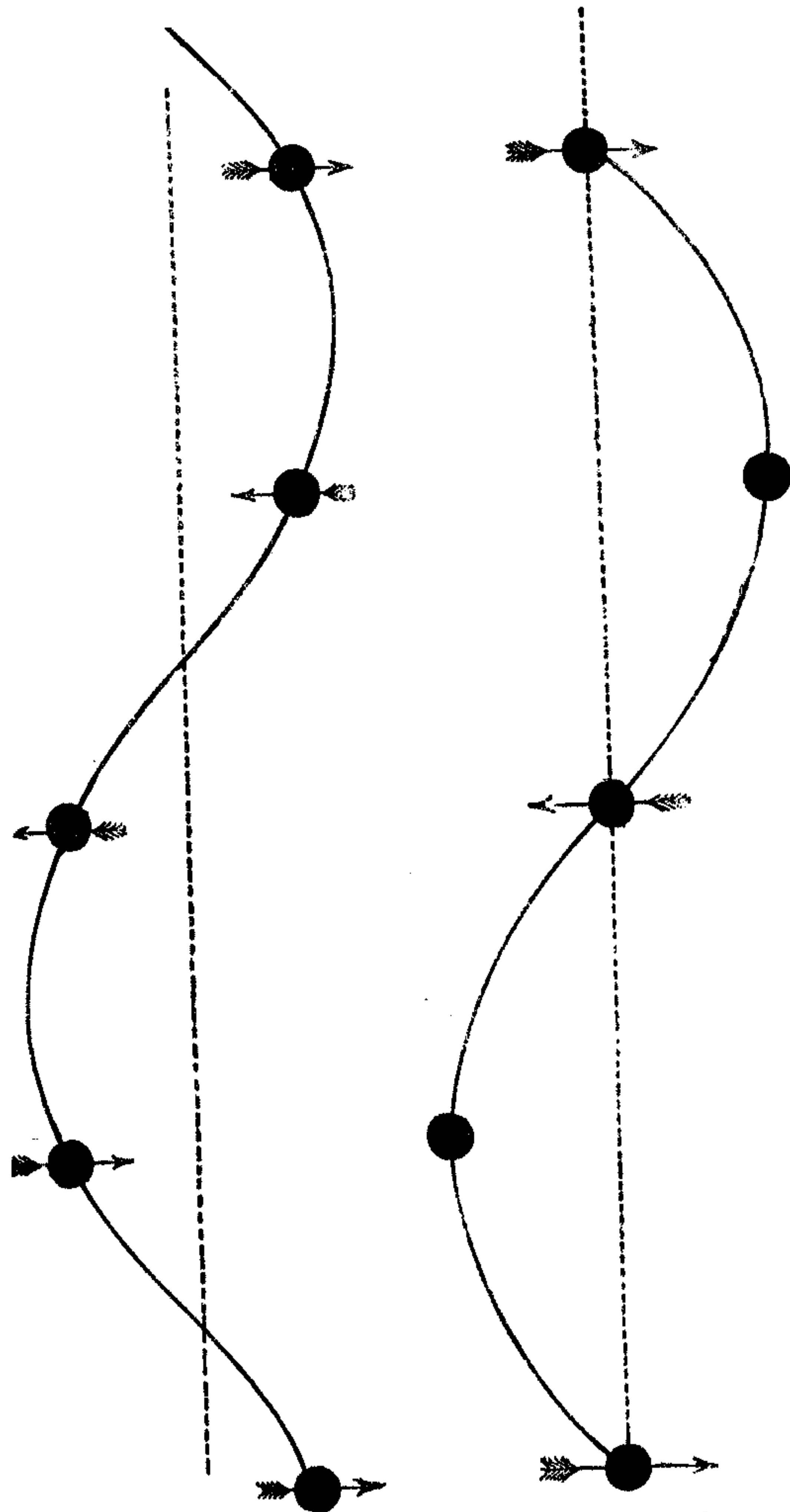


Рис. 38.
Четыре частицы въ длинѣ одной волны.

Рис. 39.

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.

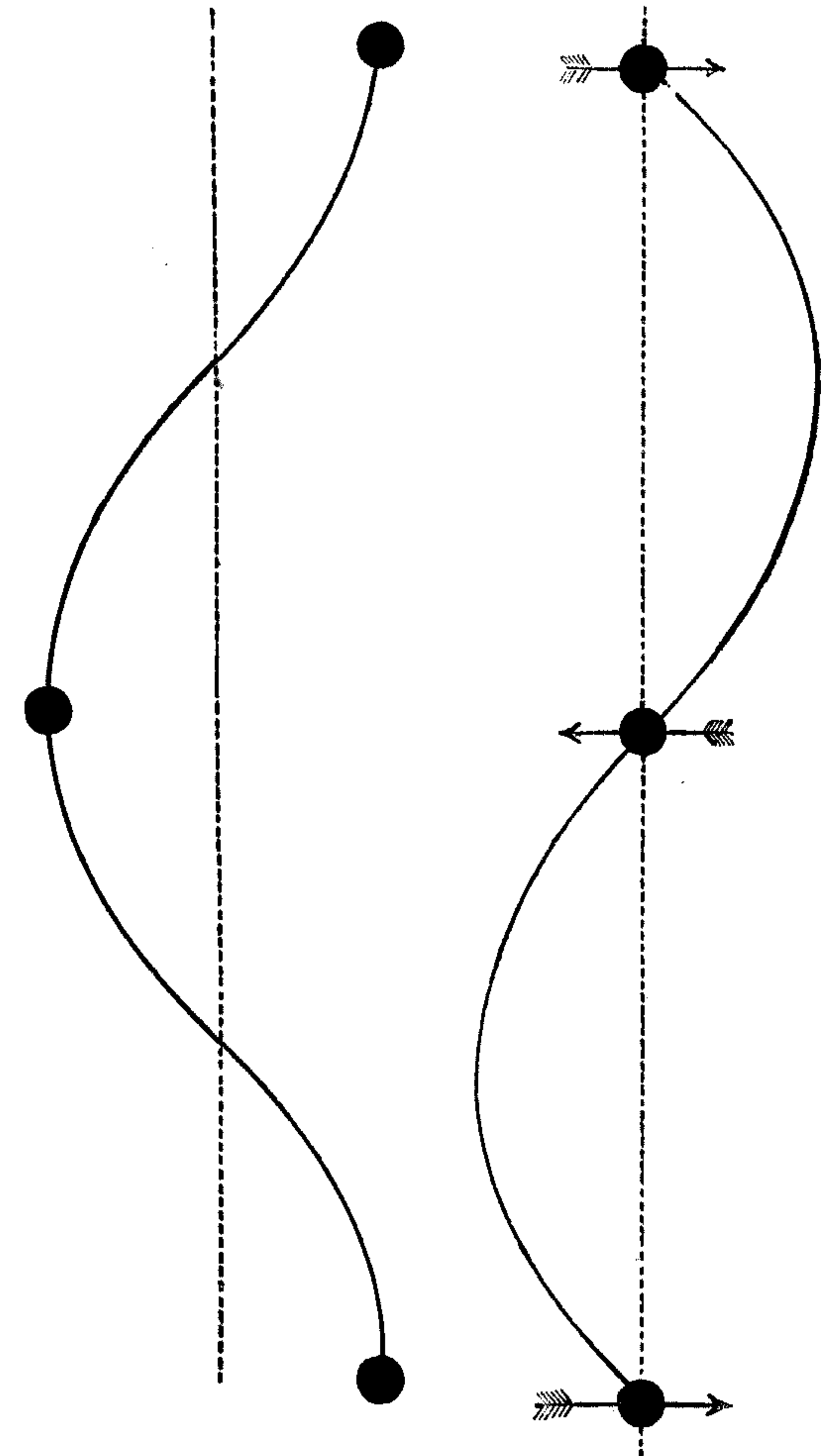


Рис. 40.

Двѣ частицы въ длинѣ одной волны.

Рис. 41.

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 меньше становится разница между двумя видами движенія, которые представляютъ собой волны, распространяющіяся по противоположнымъ направленіямъ. Въ крайнемъ или критическомъ случаѣ разница сводится къ нулю и движеніе не есть волнообразное движеніе, а представляетъ собою случай того, что часто называется «стоячимъ колебаніемъ». Прежде, чѣмъ я закончу сегодняшнюю бесѣду, я надѣюсь объяснить подробно родъ движенія, которое мы получаемъ вмѣсто волнообразнаго движенія (становящагося въ математическомъ смыслѣ мнимымъ), когда періодъ колебанія возбудителя немного меньше этого критическаго значенія, потому что этотъ случай крайне важенъ и интересенъ въ физической оптикѣ, 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 сосѣдей, 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 представляющемъ поэтому крайній предѣлъ примѣнимости неизмѣнной теоріи Коши къ объясненію дисперсіи.

Теперь, взглянувъ на ту небольшую таблицу (таблица II, стр. 129) вычисленныхъ результатовъ, вы увидите, что, когда въ длинѣ волны находится всего 20 молекулъ, скорость распространенія равна 99½ процентовъ той, которая имѣла бы мѣсто въ случаѣ безконечнаго числа молекулъ; отсюда, крайняя разница въ скоростяхъ распространенія, объясняемая неизмѣнной теоріей Коши въ ея идеальномъ крайнемъ случаѣ взаимодействія, ограничивающагося ближайшими

сосѣдами, 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				
	твердый кронгласъ.	экстра-плотный флинтгласъ.	вода при 15°Ц.	сѣроуглеродъ при 11°Ц.	алкоголь при 15°Ц.
<i>A</i>	1·5118	1·6391	1·3284	1·6142	1·3600
<i>B</i>	1·5136	1·6429	1·3300	1·6207	1·3612
<i>C</i>	1·5146	1·6449	1·3307	1·6240	1·3621
<i>D</i>	1·5171	1·6504	1·3324	1·6333	1·3638
<i>E</i>	1·5203	1·6576	1·3347	1·6465	1·3661
<i>b</i>	1·5210	1·6591
<i>F</i>	1·5231	1·6642	1·3366	1·6584	1·3683
<i>G</i>	1·5283	1·6770	1·3402	1·6836	1·3720
<i>h</i>	1·5310	1·6836
<i>H</i>	1·5328	1·6886	1·3431	1·7090	1·3751

Числа первыхъ двухъ столбовъ опредѣлены 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 фіолетоваго свѣта *H* доходитъ въ двухсѣрнистомъ углеродѣ до $\frac{1}{17}$; въ плотномъ флинтгласѣ, приблизительно, до $\frac{1}{30}$, въ твердомъ кронгласѣ—до $\frac{1}{73}$ а въ водѣ и алкогольѣ немного болѣе, чѣмъ до $\frac{1}{100}$. Слѣдовательно, ни одно изъ этихъ веществъ не можетъ имѣть въ

длинѣ волны даже 20 молекулъ, если объяснять дисперсію по неизмѣненной теоріи Коши; обращаясь назадъ къ небольшой таблицѣ (таблица II, стр. 129) вычисленныхъ результатовъ, вы увидите, что въ длинѣ волны фіолетоваго свѣта въ водѣ или алкоголь не могло бы быть болѣе 12 молекулъ; скажемъ, 10—въ твердомъ кронгласѣ; 8—въ флинтгласѣ, а въ двухсѣрнистомъ углеродѣ, дѣйствительно, не могло бы быть болѣе 4 молекулъ въ длинѣ волны, если бы намъ пришлось для объясненія дисперсіи рассчитывать только на неизмѣненную теорію Коши. Совершенно невозможно допустить столь сильную крупнозернистость обыкновенныхъ прозрачныхъ, твердыхъ или жидкихъ, тѣлъ. Прежде, чѣмъ закончить, я намѣреваюсь показать вамъ на основаніи кинетической теоріи газовъ *высшій 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 всякаго такого опредѣленнаго 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 рассчитать на сантиметръ,—или около двухъ на длину волны въ эфирѣ голубого (F) свѣта ¹⁾, 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.

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

²⁾ Special Kat. der Ausstellung des Zollvereins in der Londoner Ausstellung 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 неизмѣненную 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, имѣетъ, такъ сказать, небольшую бахрому изъ частицъ, которыя по своимъ размѣрамъ становятся все больше и больше по мѣрѣ удаленія отъ молекулы и соединены съ нею упругими связями,—мы получимъ грубое механическое объясненіе, осуществимое при помощи очень нетруднаго добавленія соотвѣтственныхъ приспособленій къ находящимся передъ вами динамическимъ моделямъ,—приспособленій, которыя служили бы для объясненія свѣторазсѣяннаго преломленія 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 ¹⁾. 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 длинѣ 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 идти по тому пути, который я слегка намѣтилъ.

Взгляните теперь на это красивое распредѣленіе цвѣтовъ

¹⁾ Дальнѣйшія 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 ²⁾ я далъ математическія изысканія по этому вопросу.—В. Т. 16 Марта 1883.

(Прим. автора).

²⁾ Въ Proc. Roy. Soc. Edin., 12, № 114, 128, содержится только заглавіе этого мемуара

(Прим. перев.).

на экранъ передъ вами. Это—диффракціонные спектры отъ кусочка стекла, разграфленнаго 2000-ами линій въ одномъ дюймѣ. Взгляните снова, — вы видите одинъ диффракціонный спектръ, получаемый отраженіемъ отъ одной изъ Рутерфордовскихъ рѣшетокъ, у которой на полированномъ зеркальномъ металлѣ находится 17,000 линій въ одномъ дюймѣ. Объясненіе «интерференціей» является одинаковымъ, по существу, съ тѣмъ, которое волновая теорія даетъ для Ньютоновыхъ колець свѣта, отраженнаго отъ двухъ поверхностей, — колець, которыя вы уже видѣли. Въ тѣхъ мѣстахъ, въ которыхъ свѣтоты волны, исходящія изъ отверстій между послѣдовательными полосками рѣшетки, достигаютъ экрана въ одинаковыхъ фазахъ, онѣ производятъ свѣтъ; — а въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ онѣ находятся въ противоположныхъ фазахъ, онѣ производятъ темноту.

Красивые цвѣта, которые получаютъ, зависятъ отъ того, что мѣста на экранѣ, гдѣ колебанія помогаютъ и препятствуютъ другъ другу, различны для свѣтовыхъ волнъ различныхъ длинъ волнъ; и именно изъ измѣреній размѣровъ диффракціоннаго спектра,—такого, какъ тотъ, который вы видѣли сперва (или же болѣе мелкихъ спектровъ, отъ болѣе грубыхъ рѣшетокъ),—Фраунгоферъ опредѣлилъ впервые длины волнъ различныхъ цвѣтовъ.

Благодаря д-ру Тиндаллю, я могу теперь показать вамъ въ высшей степени красивый и интересный опытъ, тѣсно соприкасающійся съ вопросомъ о величинѣ атомовъ,—искусственное «голубое небо», производимое удивительнѣйшимъ, открытымъ Тиндаллемъ, дѣйствіемъ свѣта на матерію. У насъ здѣсь пустая стеклянная трубка,—она «оптически пуста». Пучекъ электрическаго свѣта проходитъ теперь черезъ нее,—вы не видите ничего. Теперь мы прекращаемъ доступъ свѣту и впускаемъ въ эту трубку пары сѣрнистаго углерода. Теперь туда введено немного этихъ паровъ до давленія дюйма въ три,—а также введенъ, въ количествѣ, соотвѣтствующемъ 15 дюймамъ ¹⁾ давленія, воздухъ, налитанный небольшимъ количествомъ азот-

¹⁾ 3 и 15 дюймовъ=7.6 и 38 сантиметрамъ. (Прим. перев.).

ной кислотой, такъ что все вмѣстѣ составляетъ немного менѣе атмосфернаго давленія. Здѣсь надо обнаружить присутствіе молекулъ веществъ, получающихся отъ разложенія сѣрнистаго углерода свѣтомъ. Въ настоящую минуту вы ничего не видите въ трубкѣ; она все еще продолжаетъ бытъ, какъ и до впусканія паровъ, 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 какомъ нибудь направленіи, перпендикулярномъ къ возбуждающему 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 чемъ, по моему мнѣнію, не можетъ быть никакого сомнѣнія) профессоромъ Стоксомъ, на основаніи обсужденія этого явленія поляризаціи ¹⁾, которое онъ наблюдалъ при раз-

¹⁾ Извлеченіе изъ мемуара профессора Стокса «Объ измѣненіи преломляемости свѣта» (On the Change of Refrangibility of Light), прочитаннаго передъ Королевскимъ Обществомъ 27 мая 1852 г. и напечатаннаго въ Трудахъ его подъ тѣмъ же числомъ ²⁾).

«§ 184. Этотъ результатъ мнѣ кажется тѣсно связаннымъ съ вопросомъ о направленіяхъ колебанія въ поляризованномъ свѣтѣ. До тѣхъ поръ, пока подвѣшенныя частички велики въ сравненіи съ длинами волны, отраженіе происходитъ такъ, какъ оно происходило бы отъ части поверхности погруженнаго въ жидкость твердаго тѣла большихъ размѣровъ и нельзя вывести, тѣмъ или инымъ путемъ, никакихъ заключеній. Но, если діаметры 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 длиною волны свѣта. Наблюденіе показало, что отраженный лучъ былъ поляризованъ. Но всѣ явленія, представляемыя лучемъ, поляризованнымъ въ плоскости, симметричны по отношенію къ падающему лучу. Слѣдовательно, мы должны для направленія колебаній въ отраженномъ лучѣ сдѣлать выборъ между двумя направленіями, а именно: направленіемъ падающаго луча и направленіемъ, перпендикулярнымъ къ обоимъ лучамъ, па-

²⁾ Trans. Roy. Soc. 142, 463—562.

(Прим. перев.).

личныхъ расположеніяхъ опытовъ, дававшимъ ему разсѣянные по прозрачной средѣ мельчайшія твердыя или жидкія частицы,—этимъ направлениемъ должно быть направленіе, перпендикулярное къ плоскости поляризаціи.

То, что вы сейчасъ увидите, и то, что, какъ я говорилъ вамъ, я видѣлъ черезъ Николеву призму, происходитъ отъ того, что я могъ бы назвать вторичными или производными волнами свѣта, расходящимися отъ мельчайшихъ жидкихъ шариковъ, сгустившихся вслѣдствіе химическаго 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 cadaго 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 направлениамъ колебаній въ падающемъ лучѣ и потому мы принуждены выбрать послѣднее и, слѣдовательно, предположить, что колебанія въ плоскополяризованномъ свѣтѣ перпендикулярны къ плоскости поляризаціи, — разъ опытъ показываетъ, что плоскость поляризаціи въ отраженномъ лучѣ есть плоскость отраженія. Согласно съ этой теоріей, если мы разложимъ колебанія въ [горизонтальномъ] падающемъ лучѣ на горизонтальные и вертикальные, разложенныя части будутъ соответствовать двумъ лучамъ, поляризованнымъ соответственно въ плоскости отраженія и перпендикулярно къ ней,—лучамъ, на которые можно считать раздѣляющимся падающій 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,—вмѣсто того, чтобы анализировать отраженный свѣтъ,—поляризовать падающій свѣтъ въ плоскости, перпендикулярной къ плоскости отраженія»

(Прим. автора).

сительнымъ движеніемъ эфира относительно cadaго шарика, чтобы произвести полное составное движеніе, испытываемое эфиромъ, когда пучокъ свѣта проходитъ вдоль трубки 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 ¹⁾, большого числа мельчайшихъ частицъ. Если вы помѣстите

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

«8. (a). Исходя изъ извѣстнаго явленія, что свѣтъ безоблачнаго голубого неба, разсматриваемаго въ любомъ направленіи, перпендикулярномъ къ направленію солнца, почти вполне 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-поляризованнаго свѣта перпендикулярно къ плоскости поляризаціи».

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

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

гдѣ k обозначаетъ коэффициентъ сопротивленія сжатію; n —коэффициентъ крѣпости; α, β, γ ,—составляющія перемѣщенія въ точкѣ (x, y, z) и

вашъ глазъ въ плоскости, проходящей черезъ длину трубки и перпендикулярной къ этой линіи, то вы увидите свѣтъ отъ всѣхъ частей трубки, 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 трубки, то вы не будете видѣть свѣта въ этомъ направленіи; но если, оставляя вашъ глазъ въ томъ же самомъ положеніи, вы посмотрите подъ угломъ на тотъ же или другой конецъ трубки, то вы увидите свѣтъ, переходящій въ темноту по мѣрѣ того, какъ вы переводите свой взглядъ съ того или другого конца трубки къ серединѣ ея. Отсюда слѣ-

$$\delta = \frac{dx}{dx} + \frac{dy}{dy} + \frac{dz}{dz},$$

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

«с). 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 φ, u, v, w . Найти соответственныя скорости волнъ для рѣшенія φ и для рѣшенія (u, v, w) .

«d). Доказать, что слѣдующія далѣ 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 λ (длиною волны).

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

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

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

(Прим. астора)

дуетъ, что, если возбуждающій пучокъ будетъ состоять изъ плоско-поляризованнаго свѣта,—т. е. свѣта, всѣ колебанія котораго параллельны одной линіи,—и если посмотрите на трубку въ направленіи, перпендикулярномъ къ этой линіи и къ длинѣ трубки, то вы увидите свѣтъ, колебанія котораго будутъ параллельны этой самой линіи. Но, если вы посмотрите на трубку въ какомъ либо направленіи, параллельномъ этой линіи, то вы не увидите свѣта,—а линія, вдоль которой вы не видите свѣта, есть направленіе колебаній въ возбуждающемъ пучкѣ; и это направленіе, какъ вы теперь видите, есть направленіе, перпендикулярное къ тому, что въ техническомъ языкѣ называется плоскостью поляризаціи свѣта. Слѣдовательно, вотъ у васъ *experimentum crucis* Стокса, которымъ онъ отвѣтилъ,—по моему мнѣнію, въ всякихъ сомнѣніяхъ,—на старый спорный вопросъ: *перпендикулярно* ли колебаніе къ плоскости поляризаціи или происходитъ *въ* ней? Чтобы показать вамъ этотъ опытъ, я, вмѣсто того, чтобы употребить для возбуждающаго 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,—эту 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 направленіи, котораго нужно для того, чтобы послѣдовательно получились въ ней явленія «свѣта» и «отсутствія свѣта». Вы видите теперь, что эти явленія вполне соответствуютъ тому описанію ихъ, которое я предварительно далъ вамъ. Еслибъ каждый изъ васъ имѣлъ въ рукѣ николеву призму, то вы бы узнали, что, когда вы видите свѣтъ полностью, то его плоскость поляризаціи находится въ плоскости, проходящей черезъ вашъ глазъ и ось трубы; и я надѣюсь, вы всѣ теперь совершенно понимаете доказательство того, что направленіе колебаній перпендикулярно къ плоскости поляризаціи.

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 попросилъ у него позволенія рассказать вамъ про это сегодня вечеромъ. Это—механическое объясненіе того удивительнаго 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 движеніе съ періодомъ секунды въ четыре. Вы видите, что правильное волнообразное движеніе распространяется внизъ по линіи молекулъ, изображаемыхъ этими круглыми дисками на концахъ стержней, и энергія, непрерывно сообщаемая моею рукою верхнему стержню, непрерывно поглощается находящимся внизу сосудомъ 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 спиральныя пружины, прикрѣпленныя къ верхнему стержню, постепенно расходуется на посыланіе внизъ по линіи ряда затихающихъ волнъ и, въ концѣ концовъ, превращается въ тепло въ патоку 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. Скорыя колебанія, которыя я сообщаю теперь верхнему стержню (періодъ доведенъ до секундъ полутора), не въ состояніи посылать волны вдоль линіи молекулъ; вотъ эти-то быстрыя колебанія частицъ и составляютъ, по Стоксу, скрытый или запасенный свѣтъ (см. рис. 42). Замѣьте теперь, что, когда я отнимаю руку отъ верхняго стержня, то, такъ какъ волны не распространяются внизъ по ряду, въ патоку не расходуется энергія и колебанія будутъ продолжаться вѣчно (или, чтобъ быть болѣе точными, скажемъ, одну минуту), какъ вы видите, *безъ всякой потери* (или, чтобы мои слова были въ полномъ согласіи съ

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

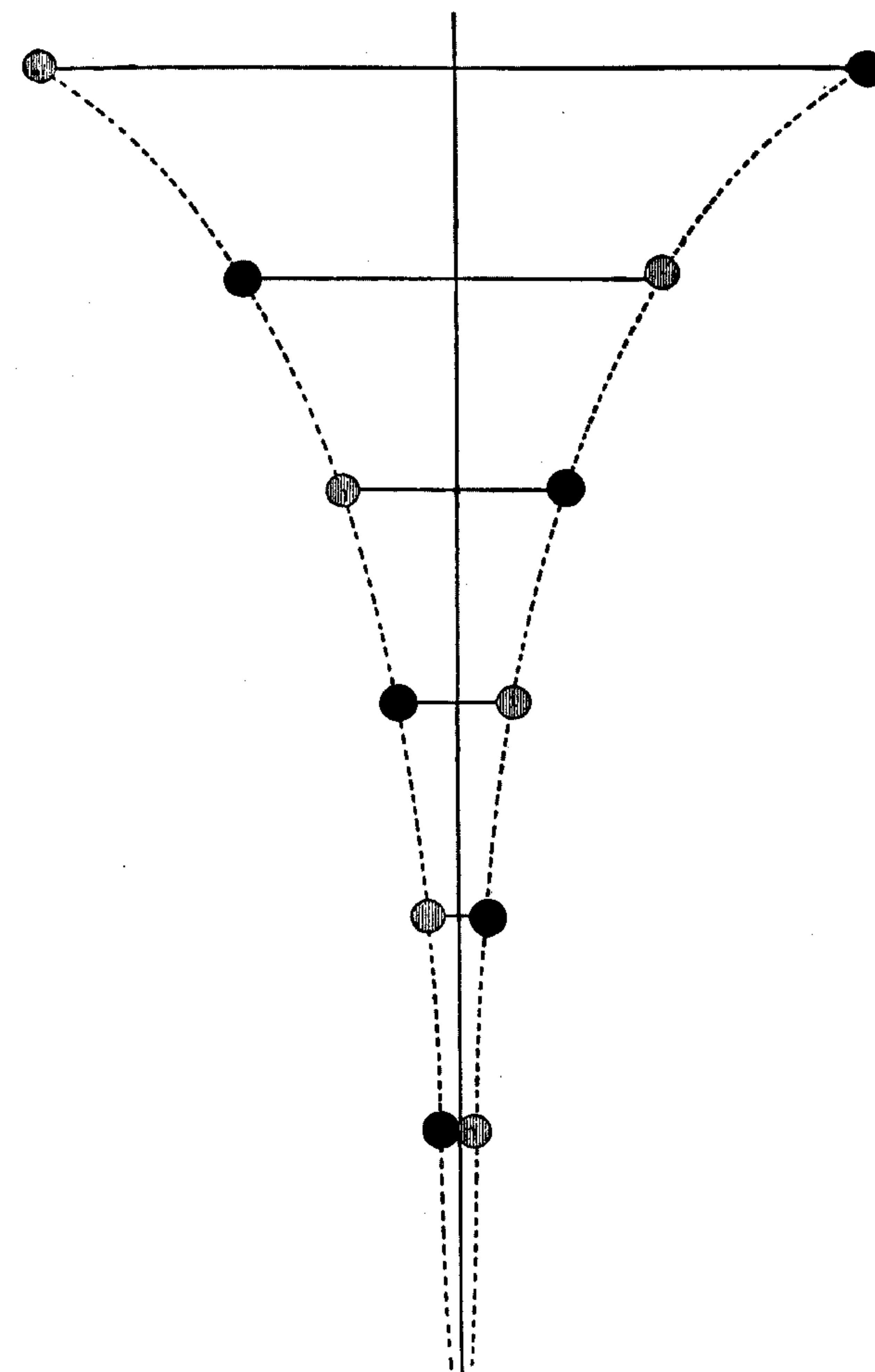


Рис. 42. Чертежъ, показывающій различныя амплитуды колебанія ряда частицъ, колеблющихся съ періодомъ, меньшимъ, чѣмъ ихъ крайній періодъ колебанія волною.

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

въ этой теперь общеизвестной свѣтящейся 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 свѣтящимся 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, держація его, не отбрасываютъ тѣни на экранъ. И вы видите урановое стекло, которое я держу въ рукѣ въ ультра-фіолетовомъ свѣтѣ, — между тѣмъ, какъ вы не видите моей руки. Я теперь подношу стекло ближе къ тому мѣсту, гдѣ вы видите воздухъ (или, вѣрнѣе, пыль въ немъ), освѣщенный фіолетовымъ свѣтомъ: все еще нѣтъ тѣни на экранѣ, но урановое стекло въ моей рукѣ свѣтится теперь ярче своимъ зеленымъ свѣтомъ очень смѣшаннаго состава, состоящимъ изъ волнъ съ періодами, болѣе длинными, чѣмъ періодъ ультра-фіолетоваго свѣта, — изъ волнъ, испускать которыя побуждаетъ частицы урановаго стекла падающій свѣтъ, имѣющій болѣе короткій періодъ, чѣмъ періодъ фіолетоваго свѣта. Этотъ цвѣтъ вполнѣ неполяризованъ. Вотъ это безусловное отсутствіе поляризаціи и фактъ, что его періоды всѣ меньше періодовъ возбуждающаго свѣта, и побудили Стокса отличать то освѣщеніе, которое вы видите въ урановомъ стеклѣ ¹⁾, отъ простого молеку-

¹⁾ 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 призматическій спектръ, — такъ, чтобы ультра-фіолетовый невидимый свѣтъ падалъ на ту часть, на

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

Стоксъ далъ этому свѣщенію свѣтомъ съ болѣшимъ періодомъ, чѣмъ возбуждающій свѣтъ, названіе флуоресценціи, потому что оно наблюдалось въ флуоршпатѣ ¹⁾, а онъ желалъ избѣжать всякой гипотезы при выборѣ названія. Онъ выставилъ на видъ сильное сходство между этимъ свѣщеніемъ и давно уже известнымъ явленіемъ фосфоресценціи; но онъ нашелъ между этими двумя явленіями нѣсколько кажущихся различій, которыя 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 Единбургскаго Общества*, 1833, и *Британской Ассоціаціи*, 1838 ²⁾] и изучено сэромъ Джономъ Гершелемъ и названо имъ «эпиполической дисперсіей» [*Phil. Trans.*, 1845]. Полное опытное изслѣдованіе этого явленія, показывающее, что собственно такое наблюдали предшествующіе наблюдатели, и объясняющее многія особенно таинственныя 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).

¹⁾ Плавиковый шпатъ.

(Прим. перев.).

²⁾ 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 явления (параграфы 221—225 его мемуара 1852 года), Стоксъ говоритъ слѣдующее: «но гораздо болѣе поразительный контрастъ между этими двумя явлениями состоитъ въ мгновенномъ, повидимому, возникновеніи и прекращеніи свѣченія, какъ только допускается или задерживается свѣтъ, вызывающій внутреннее свѣторазсѣяніе. Нѣтъ ничего такого, что заставляло бы подозрѣвать какую либо замѣтную продолжительность подобнаго явления. 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 явления при посредствѣ вращающагося зеркала». Исслѣдованіе, о которомъ упомянуто сейчасъ, было на самомъ дѣлѣ произведено Эдмондомъ Бэккерелемъ, и на вопросъ, —имѣетъ ли какую нибудь замѣтную продолжительность свѣченіе флуоресценціи, —дала положительный отвѣтъ эта прекрасная и простая маленькая находящаяся передъ вами машинка, которую Бэккерель изобрѣлъ для этой цѣли. Опытъ, дающій отвѣтъ на поставленный вопросъ, въ высшей степени интересенъ, и я увѣренъ, вы посмотрите на него съ удовольствіемъ. Приборъ состоитъ изъ плоской круглой коробки съ двумя приходящимися другъ противъ друга отверстиями, сдѣланными въ двухъ основаніяхъ коробки недалеко отъ окружности; внутри коробки находятся два диска, укрѣпленные на быстро вращающейся оси, при помощи которыхъ отверстія попеременно закрываются и открываются, причемъ одно отверстие бываетъ открыто, когда другое закрыто, и обратно. Небольшой кусокъ урановаго стекла помѣщенъ внутри коробки между двумя отверстиями и пучекъ свѣта отъ электрической лампы падаетъ на одно изъ этихъ отверстій. Вы же смотрите въ другое.

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

но вы не видите ничего, потому что отверстие, ближайшее къ свѣту, закрыто, и урановое стекло не обнаруживаетъ замѣтнаго послѣсвѣченія, которое являлось бы вслѣдствіе предшествующаго освѣщенія его. Это вполне согласуется съ тѣмъ, что вы видѣли, когда я держалъ большую плитку урановаго стекла въ ультра-фіолетовой части призматическаго 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 втеченіе двадцатой или пятидесятой 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 отверстие, находящееся передъ вами, открывалось, приблизительно, чрезъ одну пятидесятую секунды послѣ того, какъ урановое стекло окунулось въ свѣтъ, — вы все еще ничего не видите. Я вращаю колесо все быстрѣе и быстрѣе, и теперь стекло начинаетъ свѣтиться, — когда ближайшее къ вамъ отверстие открывается, приблизительно, черезъ двухсотую секунды послѣ непосредственно предшествующаго допущенія свѣта черезъ другое отверстие. 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, которыя образуютъ собой мостъ надъ разницей въ качествахъ этого урановаго стекла, которое свѣтится только нѣсколько тысячныхъ секунды, и свѣтящихся сѣрнистыхъ соединеній, которыя свѣтятся часы, дни, недѣли, послѣ прекращенія возбуждающаго свѣта.

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

мовъ, — способъ, основанный на кинетической теоріи газовъ. Вотъ чертежъ (рис. 43) скопица 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 слоѣ его, толщиной въ $\frac{1}{10,000}$ толщины всего куба. Представьте себѣ кубъ, наполненный частицами, подобными этимъ стекляннымъ шарамъ¹⁾, 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-

¹⁾ Приборъ, который былъ показанъ при этомъ, служилъ иллюстраціей столкновений, происходящихъ между молекулами газообразнаго 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 cadaго отверстия висѣла веревка въ пять метровъ длиною. Къ нижнему концу каждой веревки въ пяти смежныхъ рядахъ былъ прикрѣпленъ окрашенный въ голубой цвѣтъ стеклянный шаръ въ четыре сантиметра діаметромъ, — подобнымъ же образомъ къ каждой веревкѣ другихъ пяти рядовъ былъ прикрѣпленъ шаръ, окрашенный въ красный цвѣтъ и такихъ же размѣровъ. Отклоняли въ сторону шаръ изъ одного изъ внѣшнихъ рядовъ; когда его отпускали, то онъ врѣзывался внутрь другихъ, вызывая столкновения на протяженіи всей плоскости, въ которой были расположены подвѣшенные шары.

(Прим. автора).

ставить себѣ, что нѣчто, сравнимое съ этимъ, представляютъ условія обыкновеннаго 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

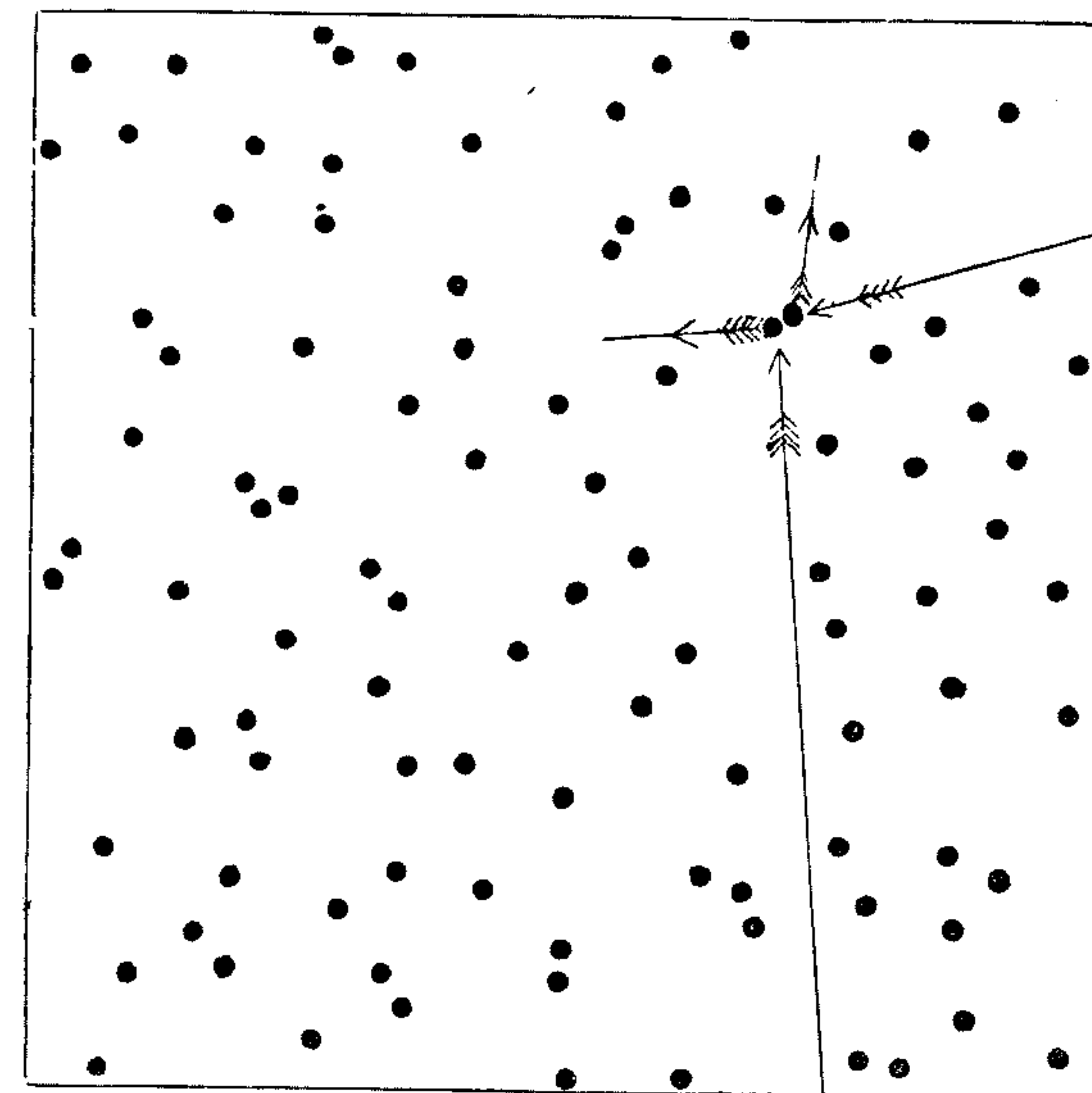


Рис. 43. Чертежъ, иллюстрирующій число молекулъ въ пространствѣ въ $\frac{1}{10,000}$ сантиметра въ квадратѣ и въ $\frac{1}{100,000,000}$ сантиметра толщиной¹⁾.

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

¹⁾ Масштабъ рисунка въ книгѣ 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 свободнаго пути была бы 0.75 сантиметра. (Прим. перев.).

Теперь вамъ нужно представить себѣ эти частицы двигающимися по всѣмъ направленіямъ, при чемъ каждая частица движется по прямой линіи, до тѣхъ поръ, пока не столкнется съ другой. Средняя длина свободнаго пути на нашемъ чертежѣ есть 10 сантиметровъ, что представляетъ въ дѣйствительности $\frac{1}{100,000}$ сантиметра. И чтобы согласовать это со случаемъ атмосфернаго воздуха обыкновенной плотности и при обыкновенномъ давленіи, вы должны предположить, что дѣйствительная скорость каждой частицы равна 50,000 сантиметровъ въ секунду, откуда для средняго промежутка времени отъ столкновения до столкновения 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 свободнаго пути молекулы. Далѣе, красивая теорія Клаузіуса даетъ намъ возможность вычислить изъ средней длины свободнаго пути величину атома. Это и сдѣлалъ Лопшидтъ ¹⁾, и я, идя, — самъ не зная того,—по его слѣдамъ, пришелъ къ тому же заключенію—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, ведутъ всѣ къ тому же самому, по существу, опредѣленію размѣровъ молекулярнаго строенія. Они въ совокупности устанавливаютъ — съ вѣроятностью, которую мы не можемъ разсматривать иначе, какъ очень высокую степень вѣроятности,—то заключеніе, что въ любой обыкновенной жидкости, прозрачномъ твердомъ тѣлѣ или повидимому непрозрачномъ твердомъ

¹⁾ 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 больше $\frac{1}{1,000,000,000}$ сантиметра.

Чтобы составить себѣ нѣкоторое представленіе о томъ, насколько крупна зернистость, указываемая этимъ заключеніемъ, вообразите, что шаръ, водяной или стеклянный, величиною въ ножной мячъ ¹⁾ [foot-ball ²⁾] увеличился до размѣровъ земли, причемъ каждая изъ молекулъ, его составляющихъ, увеличилась 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.

¹⁾ Или, скажемъ, шаръ въ 16 сантиметровъ діаметромъ.

(Прим. автора).

²⁾ Названіе англійской игры, въ которой большой мячъ, которымъ играютъ, можно катать и подкидывать только ногами.

(Прим. перев.).

Шаги къ кинетической теоріи матеріи.

[Рѣчь, произнесенная при открытіи секціи Математики и Физики Британской Ассоціаціи на сѣздѣ въ Монреаль [Montreal], 1884. (Brit. Assoc. Report, стр. 613)].

Всѣмъ извѣстная теперь кинетическая теорія газовъ представляетъ собою такой важный шагъ на пути къ объясненію движеніемъ по виду статическихъ свойствъ матеріи, что почти не представляется возможности не предвидѣть мысленно возникновенія полной теоріи матеріи, въ которой всѣ свойства матеріи будутъ разсматриваться, просто какъ атрибуты движенія. Если мы пожелаемъ найти зародышъ этой идеи, то мы должны обратиться назадъ къ Демокриту, Эпикуру и Лукрецію. Мы можемъ затѣмъ, не пропустивъ, я думаю, ни одного шага впередъ, пройти молчаніемъ 1,800 лѣтъ. Въ началѣ прошлаго столѣтія мы находимъ въ *Recherche de la Vérité* («Отысканіе Истины») Малембранша утвержденіе, что *la dureté des corps* [твердость тѣлъ] зависитъ отъ *petits tourbillons* [небольшихъ вихрей ¹⁾]. Хотя

¹⁾ «Доказательство предположенія, мною сдѣланнаго: что тонкая или эфирная матерія состоитъ непремѣннымъ образомъ изъ *небольшихъ вихрей*; и что они суть естественныя причины всѣхъ измѣненій, которыя испытываетъ матерія; что я подтверждаю объясненіемъ самыхъ общихъ явленій Физики, каковы суть: твердость тѣлъ, ихъ текучесть, ихъ тяжесть, ихъ легкость, свѣтъ, преломленіе и отраженіе его лучей». [«*Preuve de la supposition que j'ay faite: Que la matière subtile ou éthérée est nécessairement composée de petits tourbillons; et qu'ils sont les causes naturelles de tous changements qui arrivent à la matière; ce que je confirme par l'explication des effets les plus généraux de la Physique, tels*

эти слова зарыты въ безнадежную массу непонятныхъ положеній физической, метафизической и теологической философіи того времени и не поддерживаются ни въ какомъ другомъ мѣстѣ этихъ трехъ томовъ никакимъ объясненіемъ, разъясненіемъ или примѣромъ, а только затемняются иной отдѣльной фразой или словомъ, которыя можно найти въ этой большой книгѣ, — тѣмъ не менѣе они выражаютъ опредѣленное представленіе, составляющее въ высшей степени замѣчательный шагъ впередъ на пути къ кинетической теоріи матеріи. Нѣсколько позже Даніиль Бернулли проповѣдуетъ то, что мы принимаемъ теперь за наиболѣе достовѣрный членъ научнаго символа вѣры, — кинетическую теорію газовъ. Онъ, насколько я знаю, думалъ только о законѣ Бойля и Мариотта «пружинности воздуха» ¹⁾, какъ выражался Бойль, и не обращалъ вниманія на измѣненіе температуры воздуха или увеличеніе его давленія, если воздуху не давать расширяться при возвышеніи температуры, — явленіе, которое Бойль, можетъ быть, едва зналъ, — и еще менѣе обращалъ онъ вниманіе на возвышеніе температуры, производимое сжатіемъ, и на пониженіе температуры отъ расширенія воздуха и на слѣдующую отсюда необходимость выждать долю секунды или нѣсколько секундъ времени (съ приборами такой величины, кака я обыкновенно бываетъ въ опытахъ), чтобы увидѣть, какъ получившееся большее, чѣмъ слѣдуетъ, измѣненіе давленія уменьшается до той величины измѣненія, которая подтверждаетъ законъ Бойля. Разсмотрѣніе этихъ явленій Джулемъ сорокъ лѣтъ тому назадъ въ соединеніи съ оригинальнымъ представленіемъ Бернулли составило фундаментъ для кинетической теоріи газовъ въ томъ видѣ, въ какомъ мы теперь ее имѣемъ. Но какое великолѣпное и полезное зданіе было возведено на этомъ фундаментѣ Клаузиусомъ и Максвеллемъ и какія изящныя украшенія мы видимъ на вершинѣ его въ видѣ радиометра Крукса, надежно прикрѣпленнаго къ этой вершинѣ

que sont la dureté des corps, leur fluidité, leur pesanteur, leur légèreté, la lumière réfraction et reflexion de ses rayons“], — Malebranche, *Recherche de la Vérité*, 1712.

¹⁾ См. стр. 100.

(Прим. автора).

(Прим. перев.).

при посредствѣ счастливаго открытія Тэта и Дьюара ¹⁾, что длина свободного пути молекулъ воздуха, остающихся въ хорошей современной пустотѣ, можетъ достигать нѣсколькихъ дюймовъ! Объясненія диффузіи газовъ и теплопроводности въ газахъ, данныя Клаузіусомъ и Максвеллемъ, ихъ очаровательное по вразумительности заключеніе, что въ газахъ диффузія тепла, происходящая вслѣдствіе обмѣна энергіи при столкновеніяхъ между молекулами ²⁾, только немногимъ быстрѣе диффузіи

¹⁾ *Proc. R. S. E.* 2 марта 1874 и 5 іюля 1875 ³⁾.

(Прим. автора).

²⁾ Съ другой стороны въ жидкостяхъ вслѣдствіе весьма тѣсной сгущенности молекулъ диффузія тепла должна происходить главнымъ образомъ при посредствѣ обмѣна энергіями между молекулами и должна быть, какъ опытъ и показываетъ, въ значительной степени быстрѣе диффузіи самихъ молекулъ, а эта послѣдняя опять должна быть гораздо менѣе быстрой, чѣмъ какая либо, вещественная или тепловая, диффузионная способность газовъ. Такъ, Фиккъ нашель, что диффузионная способность поваренной соли черезъ воду имѣетъ такую незначительную величину, какъ 0·0000116 квадратныхъ сантиметра въ секунду: разъ въ 200 больше этого диффузионная способность тепла черезъ воду, которая, какъ нашель Дж. Т. Боттомлэй, равна, приблизительно, 0·002 квадратныхъ сантиметра въ секунду. Вещественныя диффузионныя способности газовъ, согласно опытами Лашмидта, простираются отъ 0·098 (взаимная диффузионная способность [inter-diffusivity] углекислоты и окиси азота) до 0·642 (взаимная диффузионная способность окиси углерода и водорода), — между тѣмъ, какъ тепловыя диффузионныя способности газовъ, вычисленные согласно кинетической теоріи газовъ Клаузіуса и Максвелля, суть 0·089 для углекислоты, 0·16 для обыкновеннаго воздуха и для другихъ газовъ почти такой же плотности и 1·12 для водорода (причемъ всѣ, какъ вещественныя, такъ и тепловыя, выражены въ квадратныхъ сантиметрахъ въ секунду) ⁴⁾.

(Прим. автора).

³⁾ *Proc. Roy. Soc. Ed.*, 8, № 89, 348—9 и № 90, 528.

(Прим. перев.).

⁴⁾ Эти диффузионныя способности [diffusivities] представляютъ собой коэффициентъ κ въ основномъ уравненіи теоріи диффузіи (въ обыкновенномъ смыслѣ) или теплопроводности

$$\frac{du}{dt} = \kappa \frac{d^2u}{dx^2},$$

гдѣ u есть концентрація раствора или температура. Если обозначимъ черезъ L , T и U единицу длины, единицу времени и единицу концен-

молекулъ, тогда какъ главный переносъ тепла совершается при посредствѣ дѣйствительнаго переноса самихъ молекулъ; и Максвеллевское объясненіе вязкости газовъ вмѣстѣ съ тѣми абсолютными численными соотношеніями, которыя были установлены работою этихъ двухъ великихъ изслѣдователей между тремя свойствами — диффузіей, теплопроводностью и вязкостью, — все это присоединило къ области науки обширную и постоянно растущую провинцію.

До такой степени богатая по практическимъ результатамъ, кинетическая теорія газовъ, въ томъ развитіи, которое она получила до сихъ поръ, останавливается, какъ вкопанная, передъ атомомъ или молекулой, и даже не даетъ никакихъ указаній на то, какъ объяснить тѣ свойства, благодаря которымъ атомы или молекулы взаимно вліяютъ другъ на друга. Чтобы найти нѣкоторое указаніе относительно пути къ болѣе глубокой и болѣе понятной теоріи матеріи, мы съ успѣхомъ можемъ оглянуться на конецъ прошлаго столѣтія и начало настоящаго и разыскать заключеніе Румфорда относительно тепла, выдѣляемаго при просверливаніи мѣдной пушки: «Мнѣ кажется, что крайне трудно, если не совершенно невозможно, составить какое либо опредѣленное представленіе о чемъ нибудь такомъ, что могло бы возбуждаться и передаваться такъ, какъ возбуждалось и передавалось тепло въ этихъ опытахъ, если только это не есть *движеніе*;» ¹⁾ и еще болѣе убѣдительное утвержденіе Дэви: «Существованіе явленій отталкиванія не зависитъ отъ нѣкоторой особенной упругой жидкости...» «Тепло можетъ быть опредѣлено, какъ особый родъ движенія, — вѣроятно, колебаніе, — частицъ тѣлъ, — движенія, стремящагося раздѣлить ихъ...» «Чтобы отличить это движеніе отъ другихъ, указать причины нашихъ тепловыхъ ощущеній и т. д., было принято названіе

траціи или температуры, то измѣренія коэффициента k (K), найдемъ изъ соотношенія $UT^{-1} = KUL^{-2}$, откуда $K = L^2T^{-1}$.

(Прим. перев.).

¹⁾ Труды графа Румфорда [Count Rumford's Works], т. I, стр. 90, напечатанные Американской Академіей Искусствъ и Наукъ, Бостонъ, 1890

(Прим. автора).

отталкивательнаго движенія»¹⁾. Это въ высшей степени важная для насъ мысль. Было бы нѣсколько смѣлымъ оборотомъ рѣчи сказать, что земля и луна удерживаются во взаимномъ отдаленіи отталкивательнымъ движеніемъ; а однако, въ концѣ концовъ, что такое центробѣжная сила, какъ не отталкивательное движеніе, и развѣ не можетъ быть, что совсѣмъ не существуетъ такой вещи, какъ отталкиваніе, и что единственно инерція производитъ то, что, повидимому, есть отталкиваніе? Два тѣла летятъ другъ къ другу; движеніе ихъ ускоряется вслѣдствіе взаимнаго притяженія и, если они не попадутъ точно другъ въ друга, то они непремѣнно разойдутся вслѣдствіе инерціи ихъ массъ. Такимъ образомъ, скользнувъ другъ по другу и описавъ сильно вогнутыя кривыя вокругъ ихъ общаго центра тяжести, эти тѣла снова разлетятся врозь. Невнимательный зритель могъ бы подумать, что эти тѣла оттолкнули другъ друга, и могъ бы не замѣтить разницы между тѣмъ, что онъ видитъ на самомъ дѣлѣ, и тѣмъ, что онъ видѣлъ бы, если бы эти два тѣла были пущены съ большой скоростью прямо другъ въ друга и, либо отскочивши другъ отъ друга послѣ своего столкновенія, либо описавъ вслѣдствіе взаимнаго отталкиванія сильно выпуклыя непрерывныя линіи, разлетѣлись снова врозь.

Джюль, Клаузіусъ, Максвэлль, — и, безъ сомнѣнія, самъ Данииль Бернулли и, я думаю, всякій, кто до сихъ поръ написалъ или сдѣлалъ чтонибудь вполне ясное въ кинетической теоріи газовъ, — принимали взаимодѣйствіе сталкивающихся молекулъ за отталкивательное. Но развѣ это дѣйствіе, несмотря на все, не можетъ быть притягательнымъ? Эта мысль никогда не покидала моей головы съ тѣхъ поръ, какъ я, лѣтъ тридцать пять тому назадъ, впервые прочелъ «Отталкивательное движеніе» [Repulsive Motion] Дэви, но я ничего не сдѣлалъ съ этой мыслью, — во всякомъ случаѣ, не сдѣлалъ до сегодня (16-го іюня 1884 года), — если только можно сказать,

¹⁾ „Опытъ теоріи тепла, свѣта и соединеній свѣта“. Собрание трудовъ сэра Гемфри Дэви («Essay on Heat, Light, and the Combinations of Light». Collected Works of Sir Humphry Davy) т. II, стр. 10, 14 и 20. (Прим. автора).

что я сдѣлалъ чтонибудь съ нею, когда, готовясь къ настоящей рѣчи, я замѣтилъ, что старые опыты, произведенные Джулемъ и мною¹⁾ надъ тепловымъ дѣйствіемъ газовъ, подъ сильнымъ давленіемъ выходящихъ изъ сосуда, черезъ пористую пробку, доказываютъ, что менѣе плотный газъ имѣетъ большую внутреннюю *потенціальную* энергію, чѣмъ болѣе плотный газъ, если мы примемъ относительно температуры газа обыкновенную гипотезу, согласно съ которой два газа будутъ одинаковой температуры²⁾, когда кинетическія энергіи составляющихъ ихъ молекулъ имѣютъ равныя среднія величины, по отношенію къ одной молекулѣ.

Представьте себѣ это слѣдующимъ образомъ. Вообразите себѣ великое множество частицъ, заключенныхъ въ оболочку, которую можно по произволу въ любомъ мѣстѣ ея поверхности вдавливать внутрь. Разставьте теперь корпусъ саперовъ максвелловской арміи демоновъ-распредѣлителей³⁾ вокругъ всей этой заключенной въ оболочку части, приказавъ имъ старательно вездѣ вталкивать оболочку внутрь, когда нѣтъ близко никого изъ принадлежащихъ къ осажденнымъ войскамъ, и не дѣлать ничего, когда они завидятъ приближеніе когонибудь изъ послѣднихъ, — не дѣлать до тѣхъ поръ, пока эти не повернутъ

¹⁾ Перепечатаны въ *Собраніи математическихъ и физическихъ работъ* сэра В. Томсона (Mathematical and Physical Papers), т. I, ст. XLIX, стр. 381; смотри, также Собрание работъ Джуля (Joule's Collected Papers), т. II, стр. 216. (Прим. автора).

²⁾ Что это есть чистая гипотеза, почти не замѣчали ни сами основатели, ни почти всѣ писавшіе по кинетической теоріи газовъ. Никто еще не изслѣдовалъ вопроса: каковы условія средняго распредѣленія кинетической энергіи, выполняемыя двумя частями газообразнаго вещества, раздѣленными тонкой упругой перепонкой, которая безусловно препятствуетъ взаимной диффузіи вещества, допуская между тѣмъ обмѣнъ кинетической энергіи, который происходилъ бы при посредствѣ столкновеній съ ней? Въ самомъ дѣлѣ, я знаю только, что настоящія слова представляютъ самое первое, какое когда либо было опубликовано, изложеніе этихъ условій задачи о равныхъ температурахъ двухъ газообразныхъ массъ.

(Прим. автора).

³⁾ См. статью „Демонъ-распредѣлитель Максвелла“ стр. 96—99.

(Прим. перев.).

снова внутрь ¹⁾). Слѣдствіемъ этого будетъ, что при совершенно той же суммѣ кинетической и потенциальной энергіи того же самаго множества заключенныхъ частицъ, толпа эта окажется вынужденной сдѣлаться плотнѣе. Но однако старые опыты, сдѣланные Джулемъ и мною надъ истеченіемъ воздуха, доказываютъ, что, если скопищемъ этимъ будетъ обыкновенный воздухъ, или кислородъ, или азотъ, или углекислота, то получается температура нѣсколько выше въ случаѣ болѣе плотности, чѣмъ въ случаѣ меньшей плотности, когда энергіи тѣ же самыя. По гипотезѣ, равенство температуры у двухъ различныхъ газовъ или у двухъ частей одного и того же газа, но различныхъ плотностей, означаетъ равенство кинетическихъ энергій одинаковаго числа молекулъ этихъ двухъ веществъ. Поэтому изъ нашихъ наблюденій, указывающихъ, что температура выше въ болѣе плотномъ скопищѣ, слѣдуетъ, что потенциальная энергія будетъ тамъ менѣе. Это—все еще, однако, при предположеніи, что мы согласны съ температурной гипотезой—доказываетъ нѣкоторую степень притяженія между частицами, но это не доказываетъ существованія окончательнаго притяженія между двумя молекулами, сталкивающимися или находящимися на разстояніи, гораздо меньшемъ, чѣмъ среднее разстояніе другъ отъ друга ближайшихъ сосѣдей въ этомъ скопищѣ. Сила при столкновеніи могла бы быть отрицательной, какъ обыкновенно предполагали до сихъ поръ, и всетаки притяженіе могло бы преобладать, въ общемъ итогѣ, въ разности между внутренними потенциальными энергіями болѣе плотнаго и менѣе плотнаго скопища. Замѣчательно, однако, что объясненіе по кинетической теоріи газовъ распространенія звука черезъ газы и даже положительнаго гидростатическаго давленія газа на стѣнки заключающаго его сосуда является совершенно независимымъ отъ вопроса, будетъ

¹⁾ Такимъ образомъ уменьшаютъ объемъ, не прилагая къ газу никакой внѣшней работы, но приэтомъ, именно, предполагается, что во всякій моментъ можно найти такія части или, по крайней мѣрѣ, такія точки поверхности, дѣйствіе на которыя подвижныхъ молекулъ равно нулю. Демоны Максвелла должны только совершать внутреннюю работу деформациі оболочки.
(Прим. перев.).

ли окончательная сила при столкновеніи притягательной или отталкивательной. Понятно, надо при этомъ подразумѣвать, что, если она притягательная, то частицы должны быть такъ малы, чтобы онѣ почти никогда не встрѣчались.—чтобы *никогда* не встрѣчаться, онѣ бы должны были быть безконечно малыми,—такъ малы, чтобы, въ дѣйствительности, онѣ встрѣчались такъ рѣдко въ сравненіи съ числомъ разъ, когда ихъ пути только отклоняются на большой уголъ вслѣдствіе притяженія, что вліяніе этихъ чисто притягательныхъ встрѣчъ преобладаетъ надъ вліяніемъ сравнительно очень рѣдкихъ соудареній при непосредственномъ соприкосновеніи. Такимъ образомъ, въ концѣ концовъ, тотъ ходъ размышленій, на который наводитъ Repulsive Motion Дэви, не позволяетъ намъ совсѣмъ откинуть идею о дѣйствительномъ отталкиваніи, а только позволяетъ намъ сказать, что эта идея не имѣетъ значенія,—и сказать это даже безъ особой увѣренности, потому что, если только вообще случаются соударенія, то избѣгать разсмотрѣнія природы силы въ продолженіе соударенія и разсмотрѣнія дѣйствія этихъ взаимныхъ соудареній, какъ бы они рѣдки ни были, невозможно, разъ пытаешься составить какое нибудь реальное представленіе о кинетической теоріи газовъ. И въ самомъ дѣлѣ, если только мы не удовлетворяемся тѣмъ, что вообразимъ атомы математическими точками, надѣленными инерціей и, согласно съ Босковичемъ, надѣленными силами взаимнаго, положительнаго и отрицательнаго, притяженія,—силами, измѣняющимися въ нѣкоторой опредѣленной функціи отъ разстоянія, то мы не можемъ миновать вопроса о соудареніяхъ и о происходящихъ отъ соудареній колебаніяхъ и вращеніяхъ молекулъ и мы должны разсматривать каждую молекулу отдѣльно, какъ либо небольшое упругое твердое тѣло, либо особый видъ движенія въ сплошной все-проникающей жидкости. Я самъ не вижу, какимъ образомъ мы когда либо будемъ въ состояніи прочно остановиться гдѣ либо, не дойдя до этой послѣдней точки зрѣнія; но, если бы мы могли, такъ сказать, сдѣлать механическую модель газа изъ небольшихъ круглыхъ кусковъ вполне упругой твердой матеріи, летающихъ во всѣхъ направленіяхъ по про-

странству, занятому газомъ, и ударяющихся другъ объ друга и объ стѣнки заключающаго ихъ сосуда, то это было бы очень пріятнымъ временнымъ мѣстомъ отдохновенія по пути къ этой точкѣ зрѣнія. Вотъ, на самомъ дѣлѣ, все, что намъ дала до настоящаго времени кинетическая теорія газовъ, и это, въ рукахъ Клаузіуса и Максвелла, привело насъ къ тѣмъ великимъ результатамъ, которые составляютъ нашъ первый шагъ по пути къ молекулярной теоріи матеріи. Конечно, отъ него мы должны были бы пойти дальше, чтобы найти объясненіе упругости и всѣхъ другихъ свойствъ самыхъ молекулъ,—предметъ гораздо болѣе сложный и трудный, чѣмъ тѣ свойства газовъ, для объясненія которыхъ мы принимаемъ молекулу упругой; но, не объясняя вовсе свойствъ самой молекулы, а просто принимая, что молекула имѣетъ требуемыя свойства, мы можемъ съ наслажденіемъ остановиться на созерцаніи кинетической теоріи газовъ и объясненія, даваемаго ею свойствамъ газовъ,—объясненія, которое не только изумительно важно, какъ шагъ къ болѣе глубоко проникающей теоріи матеріи, но которое несомнѣнно представляетъ собой выраженіе ряда совершенно понятныхъ и опредѣленныхъ фактовъ въ природѣ.

[Но горе нашей механической модели, состоящей изъ тучи маленькихъ упругихъ твердыхъ тѣлъ, летающихъ по всѣмъ направленіямъ другъ между другомъ! Хотя бы каждая частица обладала безусловно полной упругостью, конецъ долженъ быть почти совсѣмъ такимъ же, какъ если бы онѣ были не вполне упруги. Среднимъ результатомъ повторяющихся и повторяющихся взаимныхъ столкновеній должно быть постепенное превращеніе всей поступательной энергіи въ энергію все болѣе и болѣе рѣзкихъ колебаній молекулы. Является, повидимому, несомнѣннымъ, что при каждомъ столкновеніи молекулъ въ колебаніяхъ весьма мелкихъ частей молекулы, раздѣленной на эти части узловыми линіями, остается больше энергіи, чѣмъ было энергіи въ этихъ колебаніяхъ передъ соудареніемъ. Чѣмъ мельче это узловое подраздѣленіе, тѣмъ меньше должно быть стремленіе къ переходу во время столкновенія части колебательной энергіи въ форму энергіи поступательной, и я думаю, что можно

строго доказать, что, если каждая молекула есть сплошное упругое твердое тѣло, то вся поступательная энергія должна въ концѣ концовъ превратиться въ колебательную энергію все высшихъ и высшихъ узловыхъ подраздѣленій. Итакъ, оставимъ кинетическую теорію газовъ съ этой неразрѣшенной трудностью, въ надеждѣ, что мы или другіе послѣ насъ будутъ въ состояніи вернуться къ ней, вооруженные болѣе глубокими знаніями свойствъ матеріи и болѣе острымъ математическимъ оружіемъ, чтобы прорѣзать насквозь ту завѣсу, которая въ настоящее время закрываетъ отъ насъ всякій видъ на самую молекулу и на тѣ дѣйствія,—помимо простой перемежны поступательнаго движенія, — которая она испытываетъ при столкновеніи ¹⁾].

Дать объясненіе упругости газа—такова была первоначальная цѣль кинетической теоріи газовъ. Этой цѣли можно достигъ только принятіемъ упругости, болѣе сложной по характеру и болѣе трудной для объясненія, чѣмъ упругость газовъ,—упругости твердыхъ тѣлъ. Такимъ образомъ, если бы даже не существовало той роковой ошибки въ этой теоріи, на которую я указалъ, и если бы мы могли быть вполне удовлетворены кинетической теоріей газовъ, основанной на столкновеніяхъ упругихъ твердыхъ молекулъ, то все таки за нею находилась бы болѣе грандіозная теорія, которую не надо считать за химерическую цѣль научнаго честолюбія,—теорія, долженствующая объяснить упругость твердыхъ тѣлъ. Но, когда мы устремимъ взоры по направленію къ такой теоріи, насъ могутъ остановить ядовитымъ вопросомъ: «да что вы понимаете подъ объясненіемъ свойства матеріи?» Остановленный подобнымъ вопросомъ, я могу сказать на него только то, что, если бы вся наука физики состояла изъ инженернаго искусства и заканчивалась однимъ имъ, то мы поневолѣ довольствовались бы лишь тѣмъ, что прямо находили бы изъ наблюденій свойства матеріи и пользовались бы ими для практическихъ

¹⁾ По поводу отрывка, заключеннаго въ скобки, смотри «Прибавленіе» къ этой статьѣ, стр. 177.

(Прим. перев.).

цѣлей. Но я увѣренъ, что существуетъ очень мало инженеровъ,—можетъ быть и совсѣмъ нѣтъ,—которые на практикѣ удовлетворялись бы такимъ узкимъ взглядомъ на свою благородную профессію. Они должны наблюдать и, дѣйствительно, терпѣливо наблюдаютъ и при помощи наблюденія открываютъ свойства веществъ и результаты различныхъ комбинацій веществъ. Но болѣе глубокіе вопросы всегда на лицо и всегда переполнены интереса для настоящаго инженера и онъ будетъ послѣднимъ изъ тѣхъ, кто при попыткѣ взглянуть подъ поверхность вещей скорѣе придастъ значеніе какому либо иному возраженію, чѣмъ исключительно практическому вопросу: «Вѣроятно ли, что это окажется вполнѣ празднымъ?» Но теперь вмѣсто того, чтобы воображать, что вопросъ «что вы понимаете подъ объясненіемъ свойства матерій?» поставленъ намъ съ коварствомъ, и позволять себѣ раздражаться этимъ, положимъ, что мы довѣряемъ благорасположенію къ намъ спрашивающаго и снизойдемъ до попытки отвѣтить на его вопросъ. Окажется, что намъ не очень-то легко сдѣлать это. Всѣ свойства матеріи такъ связаны другъ съ другомъ, что мы едва ли можемъ себѣ представить, что одно изъ нихъ *вполнѣ объяснено*, безъ того, чтобы мы не увидѣли его отношеній ко всѣмъ остальнымъ,—чтобы, на самомъ дѣлѣ, не получили объясненія ихъ всѣхъ, и до тѣхъ поръ, пока у насъ не будетъ этого, мы не можемъ сказать, что мы понимаемъ подъ «объясненіемъ свойства» или «объясненіемъ свойствъ» матеріи. И, хотя эта завершающая цѣль никогда, можетъ быть, не будетъ достигнута человѣкомъ, возможно,—и я думаю, что это, дѣйствительно, будетъ имѣть мѣсто—приближеніе къ ней науки, приближеніе шагъ за шагомъ, по многимъ различнымъ дорогамъ, сходящимся къ ней со всѣхъ сторонъ. Кинетическая теорія газовъ, какъ я сказалъ, есть истинный шагъ впередъ по одной изъ этихъ дорогъ. По очень отличной отъ нея дорогѣ науки химіи Сенъ Клэръ Девиля пришелъ къ своей великой теоріи диссоціаціи безъ малѣйшей помощи кинетической теоріи газовъ. Тотъ фактъ, что онъ разработалъ ее единственно на основаніи химическихъ наблюденій и опытовъ и изложилъ ее

міру, не дѣлая какой бы то ни было гипотезы и, повидимому, даже не сознавая, какое прекрасное объясненіе имѣетъ она въ кинетической теоріи газовъ, доставилъ ей, какъ химической теоріи, немедленно послѣ того, какъ она была обнаружена, такую независимую прочность и важность, какихъ она едва ли могла бы достигъ въ это время, если бы она была сначала дана, лишь какъ вѣроятное слѣдствіе, указанное кинетической теоріей газовъ, и затѣмъ только подтверждена наблюденіемъ. Теперь, однако, руководствуясь тѣми взглядами, которые развили намъ Клаузиусъ съ Вилльямсономъ на непрерывный обмѣнъ составныхъ частей между сложными молекулами, составляющими химическія соединенія въ газообразномъ состояніи, мы видимъ въ теоріи Девиля въ высшей степени интересную точку соприкосновенія между двумя линіями, выражающими прогрессъ химіи и физики.

Вернемся къ упругости: если бы мы могли построить изъ матеріи, лишенной упругости, сложную систему изъ подвижныхъ другъ относительно друга частей,—систему, которая, благодаря движенію, имѣла бы существенныя отличительныя черты упругаго тѣла, то это, навѣрное, было бы, если не положительнымъ шагомъ впередъ въ кинетической теоріи матеріи, то, по крайней мѣрѣ, важнымъ указаніемъ на тотъ путь, который, мы можемъ надѣяться, приведетъ къ кинетической теоріи матеріи. Но это, какъ я уже показалъ ¹⁾, мы можемъ сдѣлать различными способами. Въ послѣднемъ изъ сообщеній,

¹⁾ Статья о «Вихревыхъ атомахъ» (Vortex Atoms), *Proc. R. S. E.*, февр. 1867 г.; краткое извлеченіе изъ чтенія въ Королевскомъ Великобританскомъ Институтѣ, 4 марта 1881 г., объ «Упругости, разсматриваемой, какъ возможный родъ движенія» (Elasticity viewed as possibly a Mode of Motion),—включенное въ настоящій томъ; «Натуральная Философія» (Natural Philosophy) Томсона и Тэта, второе изданіе, часть I, §§ 345 VIII до §§ 345 XXVII; «О колебаніи и волнахъ въ адинамической жироостатической системѣ» (On Oscillation and Waves in an Adynamical Gyrostatic System)—одно заглавіе, *Proc. R. S. E.* Мартъ 1883 г. ²⁾.

(Прим. автора).

²⁾ *Proc. Roy. Soc. Ed.* 6, № 73, 94—105 и 12, № 114, 128.

(Прим. перев.).

на которыя я сослался,—котораго только заглавіе напечатано до сихъ поръ,—я показалъ, что изъ математическаго изслѣдованія системы, основанной на жиростатахъ,—изслѣдованія, находящагося въ томъ мѣстѣ «Натуральной Философіи» Томсона и Тэта, на которое я ссылаюсь,—слѣдуетъ, что всякой идеальной системѣ матерьяльныхъ частицъ, оказывающихъ другъ на друга взаимодѣйствіе чрезъ посредство невѣсомыхъ соединяющихъ ихъ пружинокъ¹⁾, можетъ совершенно точно подражать модель, состоящая изъ соединенныхъ между собой крѣпкихъ звеньевъ, у которыхъ на нѣсколькихъ или на всѣхъ ихъ помѣщены быстро вращающіяся маховыя колеса. Подражаніе это не ограничивается случаями равновѣсія. Оно сохраняется и для колебаній, производимыхъ безконечно малымъ смѣщеніемъ системы изъ положенія устойчиваго равновѣсія и предоставленіемъ затѣмъ системы самой себѣ. Такимъ образомъ мы можемъ сдѣлать такую жиростатическую систему, которая находится въ равновѣсіи подъ вліяніемъ извѣстныхъ положительныхъ силъ, приложенныхъ къ различнымъ точкамъ этой системы, при чемъ всѣ силы будутъ совершенно тѣ же самыя и точки приложения будутъ расположены точно такъ же, какъ въ устойчивой системѣ съ пружинами. Затѣмъ, если только приписать надлежащія массы (т. е. надлежащія количества и распредѣленія инерціи) этимъ звеньямъ, то мы можемъ устранить въ каждой системѣ внѣшнія силы, и колебанія точекъ приложения этихъ силъ, которыя воспослѣдуютъ отъ этого, будутъ тождественными. Или же, мы можемъ дѣйствовать на систему матерьяльныхъ точекъ и пружинокъ какими угодно данными силами втеченіе какого угодно даннаго времени и затѣмъ предоставить ее самой себѣ,—и можемъ сдѣлать то же самое съ жиростатической системой; движеніе, которое воспослѣдуетъ отсюда, будетъ одинаковымъ въ обоихъ этихъ случаяхъ. Если въ одномъ случаѣ пружины будутъ дѣлаться все болѣе и болѣе тугими, а въ другомъ случаѣ угловыя скорости маховыхъ ко-

¹⁾ Обыкновенная теорія упругости: Френеля, Навье, Пуассона, Коши, Грина и другихъ.

(Прим. перев.).

лесъ будутъ дѣлаться все болѣе и болѣе, то періоды колебательныхъ составляющихъ движенія будутъ становиться все короче и короче, а амплитуды ихъ все меньше и меньше,—и оба движенія будутъ приближаться все ближе и ближе къ движеніямъ двухъ вполне неизмѣняемыхъ системъ матерьяльныхъ точекъ, движущихся черезъ пространство и вращающихся по извѣстному закону вращенія твердаго тѣла, имѣющаго неравные моменты инерціи вокругъ своихъ трехъ главныхъ осей. Въ одномъ случаѣ идеальное, почти крѣпкое соединеніе между частицами производится невѣсомыми чрезвычайно тугими пружинами; въ другомъ случаѣ, оно производится чрезвычайно быстрымъ вращеніемъ маховыхъ колесъ въ системѣ, которая, когда маховыя колеса совершенно лишены своего вращенія, представляется совершенно дряблой.

Рисунки (рис. 44 и 45), находящіеся предъ вами, изображаютъ двѣ такихъ матерьяльныхъ системы¹⁾. Направленія вращенія маховыхъ колесъ въ жиростатической системѣ (рис. 45) указаны направляющими эллипсами, которые показываютъ въ перспективѣ направленіе вращенія махового колеса каждаго жиростата. Жиростатическая система (рис. 45) могла бы быть составлена изъ двухъ жиростатическихъ частей, но для симметріи ихъ показано четыре. Внѣшній кругъ въ обоихъ случаяхъ представляетъ сѣченіе окружающей сферической оболочки, пре-

¹⁾ На рис. 44 два стержня съ крючками, которые, какъ видно, выходятъ наружу изъ сферы, соединены упругой каретной рессорой. На рис. 45 стержни съ крючками прикрѣплены къ двумъ противолежащимъ угламъ четырехсторонней колѣнчатой рамы, на каждой части которой укрѣпленъ жиростатъ—такимъ образомъ, что ось вращенія махового колеса находится на оси той части рамы, на которой оно находится. Каждый изъ стержней съ крючками рисунка 45 присоединенъ къ рамѣ при посредствѣ карабиннаго соединенія, такъ что вся жиростатическая рама можетъ вращаться вокругъ оси стержней съ крючками, чтобы приводился къ нулю главный моментъ количества движенія²⁾ всей рамы вокругъ этой оси, зависящій отъ вращенія маховыхъ колесъ въ жиростатахъ.

(Прим. автора).

²⁾ Moment of momentum,—см. по поводу этого выраженія ниже примѣчаніе автора на одной изъ послѣднихъ страницъ статьи «О солнечномъ теплѣ».

(Прим. перев.).

пятствующей видѣть внутренность ея. Внутри одной сферы находятся маховыя колеса, внутри другой—невѣсомая пружина. На видъ кажется, какъ будто выступающіе наружу стержни съ крючками соединены въ обоихъ случаяхъ пружиной. Если

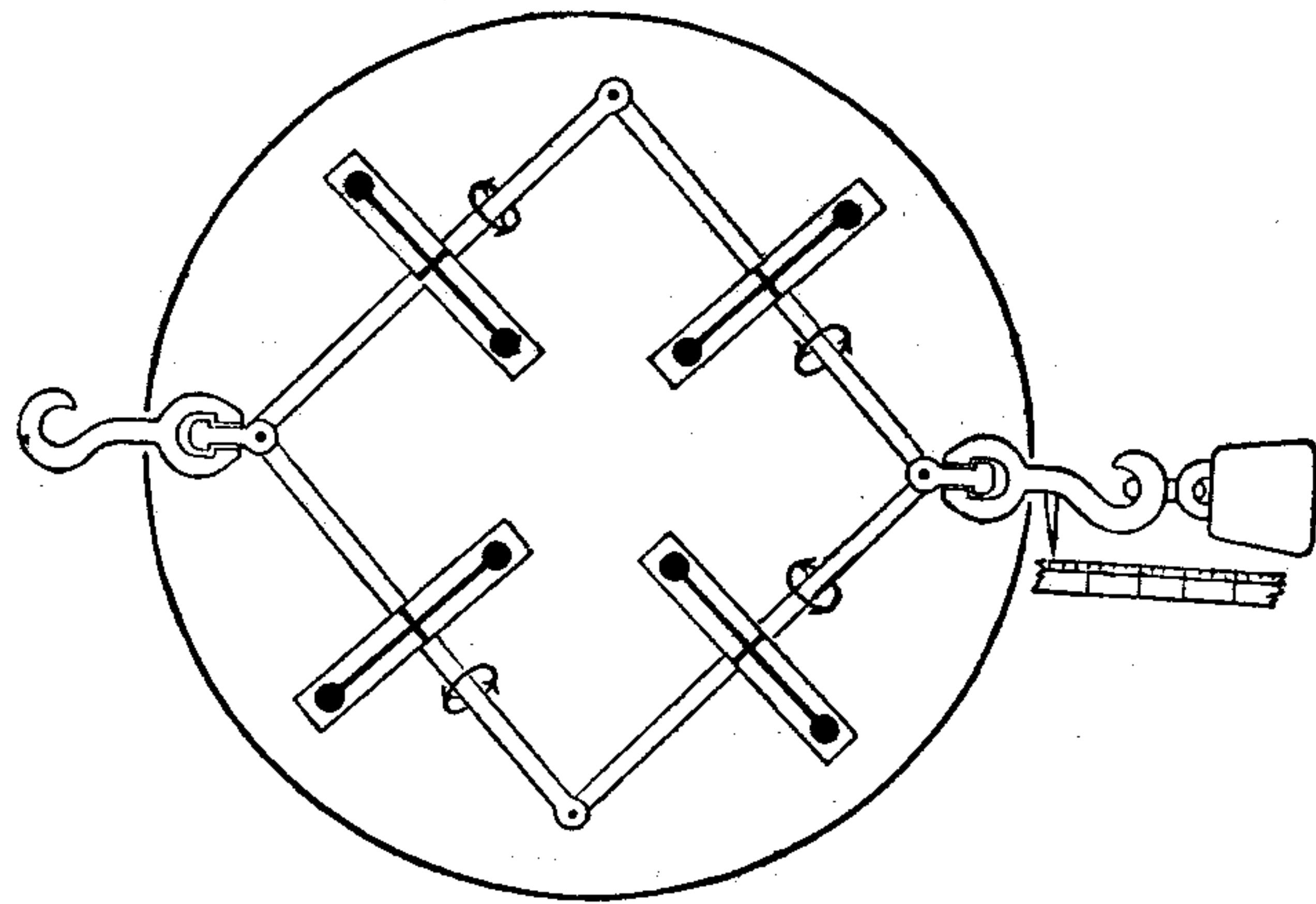


Рис. 45.

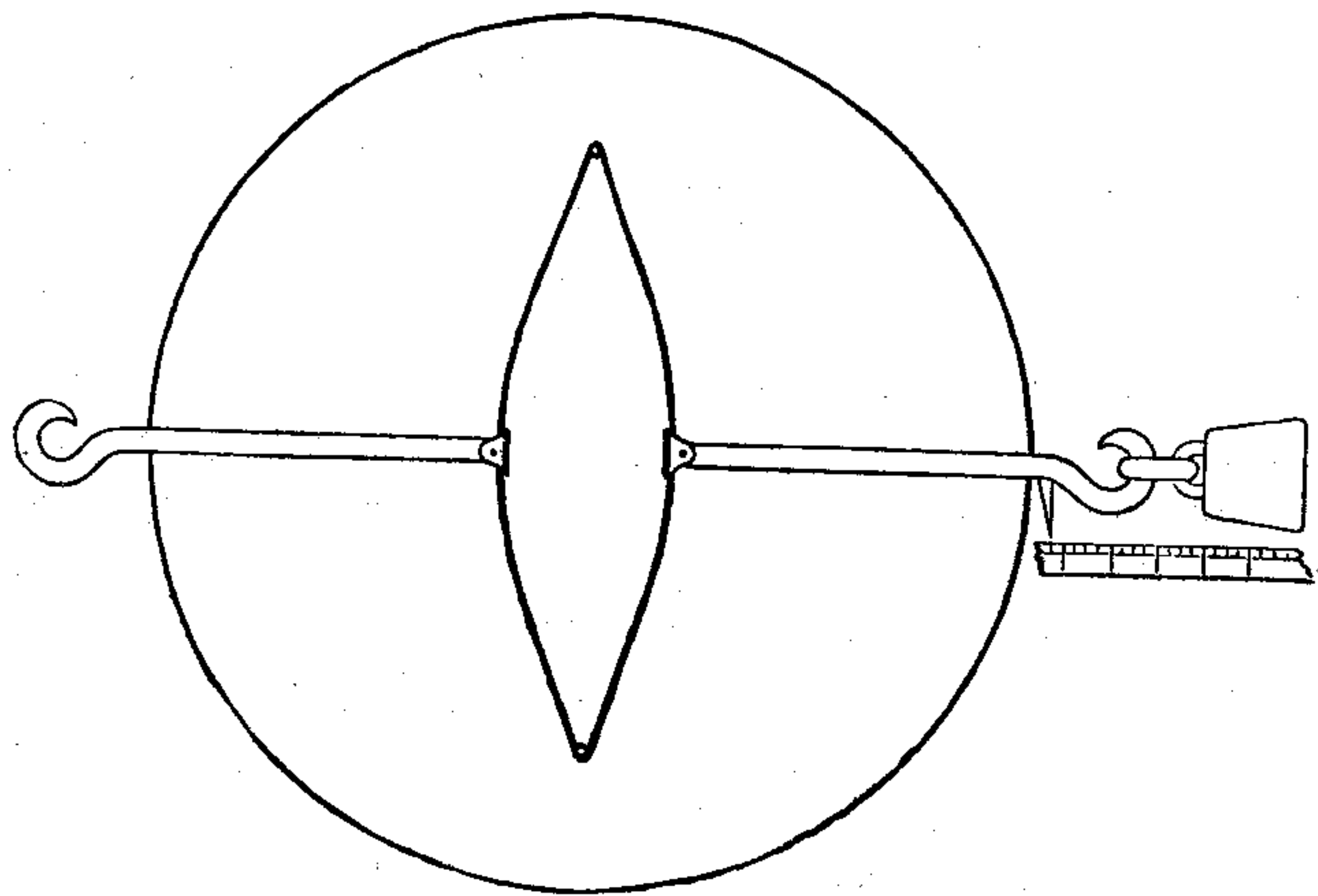


Рис. 44.

мы подвѣсимъ какую либо изъ этихъ системъ за крючокъ, находящійся на одномъ изъ ея выступающихъ наружу стержней, и привѣсимъ гирию къ крючку, находящемуся на другомъ выступающемъ наружу стержнѣ, то гирия, когда первый разъ ее

надѣнуть, будетъ колебаться вверхъ и внизъ и будетъ вѣчно продолжать дѣлать это, если система будетъ безусловно лишена тренія. Если мы уйдемъ колебанія рукою, то гирия повиснетъ въ покоѣ, вытянувъ до извѣстной степени штифтъ; при этомъ разстояніе, на которое онъ вытянутъ, будетъ прямо пропорціонально вѣсу привѣшенной гири, какъ въ обыкновенныхъ пружинныхъ вѣсахъ.

Вотъ, слѣдовательно, изъ матеріи, обладающей крѣпостью, но безусловно лишенной упругости, мы сдѣлали совершенно точную модель пружины въ формѣ пружинныхъ вѣсовъ. Соедините миллионы миллионовъ частицъ такими парами стержней, какъ стержни этихъ пружинныхъ вѣсовъ, и мы получимъ систему частицъ, составляющую упругое твердое тѣло и точно выполняющую математическій идеалъ, выработанный Навье, Пуассономъ и Коши, и многими другими математиками, которые, слѣдуя ихъ примѣру, пытались основать теорію упругости твердыхъ тѣлъ на взаимныхъ притяженіяхъ и отталкиваніяхъ между системой матеріальныхъ частицъ¹⁾. Все то, что можетъ быть дано этой теоріей при принятіи ею силъ, дѣйствующихъ по какому угодно допускаемому закону зависимости отъ разстоянія, *даетъ* и жиро-статическая система. Но

¹⁾ Томсонъ развилъ теорію такой жиро-статической системы въ своихъ мемуарахъ: «Молекулярное строеніе матеріи» (Molecular Constitution of Matter), Proc. Roy. Soc. Ed., 1 и 15 іюля 1889; «Движеніе вязкой жидкости; равновѣсіе или движеніе упругаго твердаго тѣла; равновѣсіе или движеніе идеальнаго вещества, называемаго для краткости *эфиромъ*; механическое изображеніе магнитной силы» (Motion of a Viscous Liquid; equilibrium or motion of an elastic solid; equilibrium or motion of an ideal substance called for brevity *ether*; mechanical representation of magnetic force) май, 1890; «О жиро-статическомъ-динамическомъ строеніи для *эфира*» (On a Gyrostatic-Adinamic Constitution for *Ether*). 16-го сент. 1889; Proc. Roy. Soc. Ed., 17, № 130, 17 марта 1890, 127—132 [подъ заглавіемъ „о механизмѣ для строенія эфира“ (On a Mechanism for the Constitution of Ether)]; „эфиръ, электричество и вѣсомая матерія“ (Ether, Electricity and Ponderable Matter) 10 января 1889, — мемуарахъ, составляющихъ статьи XCXVII, XCXIX, C и CII третьяго тома его Собранія Математическихъ и Физическихъ Работъ (Math. and Phys. Pap., 1890). (Прим. перев.).

жиростатическая система дѣлаетъ сверхъ того то, что система взаимодействующихъ матеріальныхъ частицъ не можетъ сдѣлать: она составляетъ упругое твердое тѣло, которое можетъ обладать Фарадеевскимъ магнито-оптическимъ вращеніемъ плоскости поляризаціи свѣта,—въ предположеніи, что наше твердое тѣло употребляютъ, какъ модель свѣтоноснаго эфира, для иллюстраціи волновой теоріи свѣта. Жиростатическая модель пружинныхъ вѣсовъ устроена такъ, чтобы имѣть, какъ одно цѣлое, главный моментъ количествъ движенія равнымъ нулю, и вслѣдствіе этого не способствуетъ нисколько Фарадеевскому вращенію; при такомъ устройствѣ модель изображаетъ свѣтоносный эфиръ въ полѣ, въ которомъ не дѣйствуетъ магнитная сила. Но пусть теперь будетъ сообщена колѣнчатому квадрату другая скорость вращенія вокругъ оси двухъ выступающихъ наружу стержней съ крючками,—такая, чтобы получался окончательно нѣкоторый главный моментъ количествъ движенія вокругъ какой нибудь данной линіи, проходящей чрезъ центр инерціи системы, и пусть пары стержней съ крючками въ измѣненной такимъ образомъ модели, которая болѣе не представляетъ собой модели простыхъ пружинныхъ вѣсовъ, служатъ, какъ прежде, соединеніями между милліонами паръ частицъ и при этомъ пусть оси окончательныхъ главныхъ моментовъ количествъ движенія будутъ всѣ направлены одинаковымъ образомъ: мы имѣемъ теперь модель упругаго твердаго тѣла, которое будетъ имѣть то свойство, что направленіе колебаній въ волнахъ прямолинейныхъ колебаній, распространяющихся чрезъ него, будетъ поворачиваться вокругъ линіи распространенія волнъ,—совершенно такъ, какъ это, по наблюденіямъ Фарадея, происходитъ съ направленіемъ колебанія свѣта въ плотной средѣ, находящейся между полюсами сильнаго магнита. Тотъ случай, что передняя сторона волны перпендикулярна къ осямъ окончательнаго главнаго момента количествъ движенія (т. е. что направленіе распространенія параллельно этимъ осямъ), соотвѣтствуетъ, въ нашей механической модели, тому случаю, что свѣтъ распространяется по направленію силовыхъ линій въ магнитномъ полѣ.

У насъ въ этихъ иллюстраціяхъ и моделяхъ различныя части идеальной крѣпкой матеріи дѣйствуютъ одна на другую нормальнымъ давленіемъ въ математическихъ точкахъ соприкосновенія,—при этомъ, понятно, не предполагается никакихъ силъ тренія. Въ высшей степени интересно видѣть, какъ такимъ образомъ безъ всякихъ другихъ точекъ отправленія, кромѣ инерціи, крѣпости и взаимной непроницаемости, мы можемъ вполне воспроизвести не только упругое тѣло или какое либо соединеніе упругихъ тѣлъ, но даже такое сложное и таинственное явленіе, какъ прохожденіе поляризованнаго свѣта чрезъ магнитное поле. Теперь, съ цѣлью совершенно освободиться отъ той точки отправленія, которая требуетъ существованія крѣпости у всѣхъ нашихъ матеріаловъ, положимъ, что нѣкоторые изъ нихъ безусловно лишены крѣпости, а обладаютъ только инерціей, несжимаемостью и взаимной непроницаемостью по отношенію къ остающейся еще крѣпкой матеріи. Мы можемъ, исходя изъ этихъ точекъ отправленія, построить вполне совершенную модель взаимодействія на разстояніи между твердыми частицами,—взаимодействія, которое выполняетъ желанное условіе Ньютона и Фарадея, чтобы оно объяснялось непрерывнымъ дѣйствіемъ, передающимся чрезъ промежуточную среду. Законъ силы взаимодействія въ нашей модели не есть, однако, просто Ньютоновскій законъ, но гораздо болѣе сложный законъ взаимодействія между двумя электромагнитами,—съ тою разницею, что въ гидрокинетической модели сила во всѣхъ случаяхъ противоположна по направленію соотвѣтствующей силѣ въ электромагнитной системѣ, ей аналогичной. Вообразите твердое тѣло, въ которомъ просверлено насквозь отверстіе и которое помѣщено въ нашу идеальную совершенную жидкость. Пусть на моментъ отверстіе будетъ закрыто діафрагмой и пусть на мгновеніе будетъ приложенъ импульсъ давленія, равномерно распределеннаго по всей этой перепонкѣ, и пусть затѣмъ перепонка эта мгновенно превратится въ жидкость. Это дѣйствіе вызоветъ относительное движеніе жидкости относительно твердаго тѣла,—движеніе такого рода, которому я далъ названіе «циркуляціи безъ вращенія» [irrotational circulation],—движеніе, остающееся безъ

условно постояннымъ, какъ бы твердое тѣло ни двигалось въ жидкости. Такимъ образомъ, во всякое время дѣйствительное движеніе жидкости въ какой нибудь точкѣ по сосѣдству съ твердымъ тѣломъ будетъ представлять собой составное движеніе, образующіеся изъ того движенія, какое она бы имѣла благодаря одной циркуляціи при состояніи покоя твердаго тѣла, и изъ движенія, которое она имѣла бы вслѣдствіе движенія самого твердаго тѣла, если бы не установилось циркуляціи черезъ отверстие. Интересно и важно замѣтить мимоходомъ, что полная кинетическая энергія жидкости есть сумма кинетическихъ энергій, которыя она бы отдѣльно имѣла въ этихъ двухъ случаяхъ. Теперь, вообразите, что вся жидкость заключена въ безконечно большой крѣпкій сосудъ, и пусть въ жидкости, на безконечно большомъ разстояніи отъ какой либо части вмѣщающаго ее сосуда, будутъ помѣщены въ покоѣ недалеко другъ отъ друга два просверленныхъ твердыхъ тѣла, черезъ каждое изъ которыхъ происходитъ циркуляція безъ вращенія. Результирующее движеніе жидкости, зависящее отъ этихъ двухъ циркуляцій, явится причиной гидростатическаго давленія на эти два тѣла, которое, если оно не будетъ уравновѣшено, приведетъ ихъ въ движеніе; системы силъ, — силы съ поворотнымъ усиленіемъ ¹⁾, или пары силъ, — потребныя для того, чтобы воспрепятствовать ихъ движенію, будутъ взаимны и противоположны и будутъ равны по величинѣ, но противоположны по направленію системамъ взаимныхъ силъ, потребнымъ для удержанія въ покоѣ двухъ электромагнитовъ, выполняющихъ слѣдующій перечень условій. Эти два электромагнита должны быть такой же формы и размѣровъ, какъ эти два тѣла, должны быть помѣщены въ то же относительное положеніе и должны состоять изъ безконечно тонкихъ слоевъ электрическихъ токовъ, распределенныхъ на поверхностяхъ твердыхъ тѣлъ, обладающихъ крайне діаманитными свойствами, — другими словами, чрезвы-

¹⁾ force-and-torques; torque есть названіе системы силъ, главный моментъ которой не равенъ нулю, — а force-and-torque будетъ такая система силъ, главный моментъ которой параллеленъ главному вектору.

(Прим. перев.).

чайно малой магнитной проникаемостью. Распределеніе электрическихъ токовъ на каждомъ тѣлѣ можетъ быть любымъ изъ тѣхъ распределеній, которыя выполняютъ условіе, чтобы сумма токовъ, проходящихъ черезъ какую нибудь замкнутую линію, проходящую по поверхности одинъ разъ черезъ отверстие, была равна $\frac{1}{4\pi}$ циркуляціи ¹⁾ черезъ это отверстие въ соотвѣтствующей гидрокинетической модели.

Можно было бы вообразить, что дѣйствіе на разстояніи, опредѣляемое такимъ образомъ движеніемъ жидкости, могло бы служить основаніемъ для теоріи равновѣсія и колебаній упругихъ тѣлъ и передачи волнъ, подобныхъ волнамъ свѣта, черезъ якобы упругую твердую среду большого протяженія. Но несчастьемъ для этой идеи является то, что равновѣсіе оказывается существенно неустойчивымъ, какъ въ случаѣ магнитовъ, такъ и, — несмотря на то, что силы противоположно направлены, — въ соотвѣтствующей гидрокинетической системѣ, въ томъ случаѣ, когда эти нѣсколько подвижныхъ тѣлъ (два или какое нибудь большее число) помѣщены такъ относительно другъ друга, чтобы быть въ равновѣсіи. Если же мы соединимъ между собою эти просверленные тѣла съ циркуляціями черезъ нихъ, въ гидрокинетической системѣ, колѣнчатыми крѣпкими соединительными связями, то мы можемъ устроить положеніе устойчиваго равновѣсія. Такимъ образомъ безъ маховыхъ колесъ, но съ циркуляціями жидкости черезъ отверстия, мы можемъ построить модель пружинныхъ вѣсовъ или модель свѣтоноснаго эфира, либо лишеннаго, либо обладающаго вращательнымъ свойствомъ, соотвѣтствующимъ свойству настоящаго свѣтоноснаго эфира въ магнитномъ по-

¹⁾ «Циклическая постоянная» [cyclic constant], или «циркуляція», опредѣляется, какъ интеграль отъ тангенціальной слагаемой скорости по нѣкоторой замкнутой кривой, проходящей одинъ разъ черезъ отверстие. Vortex Motion, § 60 a, *Trans. R. S. E.*, 29 апрѣля, 1867 ²⁾. Онъ имѣетъ одну и ту же величину для всѣхъ замкнутыхъ кривыхъ, проходящихъ именно одинъ разъ черезъ отверстие, и остается постояннымъ втеченіе всего времени, независимо отъ того, находится ли при этомъ твердое тѣло въ движеніи, или въ покоѣ.

(Прим. автора).

²⁾ 25, I, 248.

(Прим. перев.).

лѣ,—короче, можемъ сдѣлать при посредствѣ просверленныхъ твердыхъ тѣлъ съ циркуляціями чрезъ нихъ все то, что, какъ мы видѣли, мы могли сдѣлать при помощи сцѣпленныхъ гиростатовъ. Но мы можемъ сдѣлать при помощи просверленныхъ тѣлъ съ циркуляціями жидкости нѣчто такое, что мы не можемъ сдѣлать при помощи сцѣпленныхъ жиростатовъ. Мы можемъ сдѣлать модель газа. Взаимодѣйствія на разстояніи,—отталкивательнаго или притягательнаго соотвѣтственно взаимному расположенію двухъ тѣлъ, когда они проходятъ на разстояніи столкновения [collisional distance] ¹⁾ другъ отъ друга,—достаточно, чтобы произвести измѣненіе направленія движенія при столкновеніи; а это, собственно говоря, составляетъ основу кинетической теоріи газовъ, и, какъ мы раньше видѣли, можетъ одинаково зависѣть отъ притяженія, какъ и отъ отталкиванія, — поскольку указываютъ намъ это всѣ изслѣдованія, сдѣланныя до сихъ поръ по этой теоріи.

Однако, какъ мы раньше видѣли, остается еще трудность объяснить случай дѣйствительныхъ соудареній между твердыми тѣлами; для этого нужно снабдить ихъ невѣсомыми пружинными буферами или, что сводится къ тому же самому, придать имъ отталкивательныя силы, которыя были бы достаточно могущественны на очень короткихъ разстояніяхъ, чтобы безусловно препятствовать соудареніямъ между твердымъ тѣломъ и твердымъ тѣломъ, — если только мы не примемъ не менѣе

¹⁾ Согласно съ этимъ взглядомъ нѣтъ опредѣленнаго разстоянія,—или опредѣленнаго условія по отношенію къ разстоянію между двумя молекулами,— на которомъ онѣ, повидимому, начинаютъ быть въ столкновеніи или же, когда онѣ удаляются другъ отъ друга, перестаютъ быть въ столкновеніи. Тѣмъ не менѣе удобно, въ кинетической теоріи газовъ, произвольно принять нѣкоторое точное опредѣленіе столкновения, соотвѣтственно которому можно было бы сказать, что два тѣла или двѣ частицы, взаимодействующія на разстояніи, находятся въ столкновеніи, когда ихъ взаимодействие превышаетъ нѣкоторый опредѣленный произвольно назначенный предѣлъ, — на примѣръ, такъ: когда радіусъ кривизны пути каждаго тѣла меньше, чѣмъ установленная часть (на примѣръ, $\frac{1}{100}$) разстоянія между ними. (Прим. автора).

непереваримую идею о бесконечно малыхъ просверленныхъ твердыхъ тѣлахъ съ бесконечно большими циркуляціями жидкости черезъ нихъ. Не будь этой основной трудности, гидрокинетическая модель газа была бы чрезвычайно интересна и, хотя мы врядъ ли могли бы принять ее за постижимо вѣрное изображеніе того, что газы представляютъ собой въ дѣйствительности, она все таки могла бы имѣть нѣкоторое значеніе, какъ модель такого соединенія твердой и жидкой матеріи, которое безъ упругости можетъ изображать упругость настоящаго газа.

Но такъ какъ гидрокинетическая модель газа съ просверленными твердыми тѣлами и циркуляціями жидкости черезъ нихъ оказывается несостоятельной изъ-за соудареній между твердыми тѣлами, уничтожимъ, на послѣдокъ, эти твердыя тѣла и оставимъ жидкость совершать циркуляцію безъ вращенія вокругъ пустотъ ¹⁾, находящихся на мѣстѣ твердыхъ сердцевинъ, существованіе которыхъ мы до сихъ поръ предполагали; или же уничтожимъ крѣпость твердыхъ сердцевинъ колецъ и придадимъ имъ, согласно съ Гельмгольцевской теоріей вихреваго движенія, молекулярное вращеніе. Для устойчивости, молекулярное вращеніе должно быть таково, чтобы на границѣ вращающейся жидкой сердцевины оно давало ту же самую скорость, какая имѣется у циркулирующей безъ вращенія жидкости, соприкасающейся съ нею, потому что, какъ я доказалъ, скольженіе съ треніемъ между двумя соприкасающимися частями жидкости несовмѣстимо съ устойчивостью. Есть еще другое условіе, относительно котораго я не могу теперь входить въ подробности, но которое можно понять самымъ общимъ

¹⁾ Изслѣдованія, касающіяся вихрей безъ сердцевинъ, можно найти въ работѣ автора «Колебанія столбообразнаго вихря» [Vibrations of a Columnar Vortex], Proc. R. S. E., 1 марта 1880 г., и въ работѣ Гиккса «Объ установившемся движеніи полога вихря» [On the Steady Motion of a Hollow Vortex], прочитанной 21 июня 1883 г. въ Королевскомъ Обществѣ (см. Trans. R. S. за 1884 г. ²⁾). (Прим. автора).

²⁾ Thomson, Proc. Roy. Soc. Ed. 10, № 106, 443—456, 1880. Hicks, Trans. Roy. Soc., 175, 161—195, 1884; Proc. Roy. Soc. 35, 304—8, 1883.

(Прим. перев.).

образомъ, если я скажу, что это есть условіе или одинаковості молекулярнаго вращенія, или увеличенія его отъ поверхности внутрь; это условіе аналогично тому условію, что плотность жидкости, находящейся въ покоѣ, напр., подъ вліяніемъ силы тяжести, должна для устойчивости равновѣсія или быть одинаковой, или же быть больше внизу, чѣмъ наверху. Все, что я сказалъ въ пользу вихревой модели газа, состоящей изъ просверленныхъ твердыхъ тѣлъ съ циркуляціями жидкости черезъ нихъ, остается вѣрнымъ безъ измѣненій и для чисто гидрокинетической модели, состоящей или изъ Гельмгольцевскихъ вихревыхъ колець съ сердцевинами, или же изъ вихрей безъ сердцевины,—и насъ теперь уже не останавливаютъ такіа затрудненія, какъ въ вопросѣ о соудареніяхъ между твердыми тѣлами. Однако, окажется ли вихревая теорія газовъ, когда она будетъ совершенно разработана, несостоятельной—подобно напр., той несостоятельности, которую я уже указалъ, по поводу кинетической теоріи газовъ, состоящихъ изъ небольшихъ упругихъ твердыхъ молекулъ,¹⁾—или не окажется, я не могу въ настоящее время рѣшиться сказать съ увѣренностью. Мнѣ кажется въ высшей степени вѣроятнымъ, что вихревая теорія не можетъ оказаться несостоятельной ни въ какомъ такомъ направленіи, потому что все то, что я до сихъ поръ былъ въ состояніи открыть относительно колебанія вихрей²⁾, съ сердцевинами ли, или безъ сердцевины, повидимому, не указываетъ на склонность поступательной или импульсивной энергіи от-

¹⁾ См. отрывокъ въ квадратныхъ скобкахъ на стр. 162—163 и «Прибавленіе» къ этой лекціи, стр. 177. (Прим. перев.).

²⁾ Смотри работы автора «О вихревомъ движеніи». [On Vortex Motion] Trans. R. S. E. апрѣль 1867 г. и «Вихревая статика» [Vortex Statics] Proc. R. S. E., декабрь, 1875 г., а также работу Дж. Дж. Томсона, бакалавра наукъ, «О колебаніяхъ вихревого кольца» [On the Vibrations of a Vortex Ring], Trans. R. S., декабрь 1881 г. и его цѣнную книгу «О вихревомъ движеніи» [On Vortex Motion], представленную на соисканіе преміи Адамса въ 1882 г.³⁾ (Прим. автора).

³⁾ Sir W. Thomson, Trans. Roy. Soc. Ed. 25, I, 217—261 и Proc. Roy. Soc. Ed. 9, № 94, 59—78; J. J. Thomson, Trans. Roy. Soc. 173, 493—521. (Прим. перев.).

дѣльныхъ вихрей теряться, превращаясь въ энергію все меньшихъ и меньшихъ колебаній.

Въ высшей степени интересно отмѣтить, какъ шагъ по направленію къ кинетической теоріи матеріи, что въ этой quasi-упругости, — упругости, которая похожа на упругость каучуковой ленты и которую мы видимъ въ колеблющемся кольцѣ дыма, выпущенномъ изъ эллиптическаго отверстія, или въ двухъ кольцахъ дыма, которыя были круговыми, но круглая форма которыхъ была нарушена взаимнымъ столкновеніемъ,—мы имѣемъ, въ дѣйствительности, искусственную упругость матеріи, лишенной упругости и лишенной даже крѣпости, — искусственную упругость, зависящую отъ движенія и порождаемую порожденіемъ движенія.

Прибавленіе ¹⁾ къ статьѣ

«Шаги къ кинетической теоріи матеріи».

Въ промежутокъ времени между напечатаніемъ этой статьи и окончаніемъ печатанія настоящаго тома, я усмотрѣлъ причины перемѣнить одно мнѣніе, выраженное въ ней, согласно съ которымъ среднимъ результатомъ многочисленныхъ столкновеній среди скопища совершенно упругихъ твердыхъ молекулъ должно было бы быть превращеніе всей поступательной энергіи въ энергію колебательную все болѣе и болѣе многочисленныхъ родовъ колебанія все болѣе и болѣе короткихъ періодовъ. Поэтому я удаляю весь отрывокъ, помѣщенный въ скобкахъ на стр. 162—163. Взглядъ, выраженный въ этомъ отрывкѣ, первый разъ пришелъ мнѣ въ голову, какъ необходимое слѣдствіе теоремы, которую мнѣ передалъ въ разговорѣ Максвелль, какъ теорему, къ которой пришелъ Больцманъ и которая заключается въ томъ, что, по отношенію къ разсѣянію энергіи, въ среднемъ результатѣ многочисленныхъ столкновеній или взаимодействій между различными матеріальными системами, является равенство среднихъ, по отношенію ко времени, энергій всѣхъ возможныхъ составляющихъ родовъ движенія (какъ, напр., три составляющихъ поступательнаго движенія центра инерціи или угловыя скорости вращенія вокругъ трехъ главныхъ осей твер-

¹⁾ Помѣщено во второмъ изданіи въ концѣ книги.

(Прим. перев.).

даго тѣла). Если бы эта теорема была справедлива, то энергія сталкивающихся упругихъ твердыхъ тѣлъ должна была бы въ концѣ концовъ стать только энергіей колебательныхъ движеній, потому что есть безконечное число родовъ колебательнаго движенія и только шесть — поступательнаго и вращательнаго. Я указалъ на это заключеніе Максвеллу открытымъ письмомъ, — вѣроятно, отъ 4-го февраля 1878 года, написанномъ въ поѣздѣ изъ Кембриджа въ Лондонъ, если память мнѣ не измѣняетъ, — навѣрное, черезъ нѣсколько часовъ послѣ того, какъ онъ мнѣ рассказалъ объ этой предполагаемой теоремѣ Больцмана. Это была послѣдняя наша встрѣча, и вопросъ этотъ, насколько мнѣ помнится, не затрогивался снова въ письмахъ, которыми мы послѣ этого обмѣнялись.

Я никогда не считалъ возможнымъ повѣрить этой теоремѣ, касающейся распредѣленія энергіи; и работа Максвелла объ ней въ Трудахъ Кембриджскаго Философскаго Общества, отъ 6 мая 1878 г., (стр. 713—741 тома II его Собранія работъ) тоже, мнѣ кажется, и не доказываетъ ея во всей ея общности, и не дѣлаетъ вѣроятной ея справедливости для какого нибудь разряда случаевъ. Тѣмъ не менѣе до самаго послѣдняго времени я думалъ, что частный выводъ изъ нея, высказанный въ вычеркиваемомъ теперь мѣстѣ настоящей книги, долженъ быть вѣренъ. Теперь я вижу, что, наоборотъ, столкновенія между колеблющимися упругими твердыми тѣлами должны имѣть въ среднемъ стремленіе уменьшать колебательную энергію, если только вся энергія каждаго изъ отдѣльныхъ твердыхъ тѣлъ меньше нѣкотораго предѣла, зависящаго отъ формы или формъ этихъ тѣлъ: а отсюда слѣдуетъ, — такъ какъ изъ общей суммы энергіи не теряется ничего, — что окончательнымъ результатомъ должно быть обращеніе всей, за исключеніемъ безконечно-малой части, энергіи въ поступательную и вращательную.

Шесть вратъ познанія.

Предсѣдательская рѣчь, обращенная къ Бирмингемскому и Мидлэндскому Институту [Birmingham and Midland Institute] въ залѣ городской думы Бирмингема, 3-го октября 1883 г.).

Заглавіемъ изложенія того предмета, о которомъ я собираюсь говорить сегодня вечеромъ, могло бы быть, — если бы меня попросили дать ему заглавіе, — «Шесть Вратъ Познанія». Я думаю, что предметъ, о которомъ я собираюсь изложить вамъ, тѣсно связанъ съ тѣми работами, за которыя было роздано здѣсь нѣсколько премій. Вопросъ, о которомъ я попрошу васъ подумать, таковъ: «каковы тѣ способы, посредствомъ которыхъ человѣческій умъ приобрѣтаетъ свѣдѣнія о внѣшнемъ мірѣ?»

Джонъ Буніанъ уподобляетъ душу человѣка крѣпости, стоящей на горѣ, заключенной въ самой себя, не имѣющей никакихъ способовъ сообщенія съ внѣшнимъ міромъ, кромѣ пяти вратъ, — Вратъ Глазъ, Вратъ Ушей, Вратъ Рта, Вратъ Носа и Вратъ Ощупыванія. Буніанъ, очевидно, нуждался здѣсь въ словѣ. Онъ употребляетъ «ощупываніе» [feel] въ смыслѣ «осязанія» [touch] — это наименованіе до такой степени обыкновенно употребляется до настоящаго времени, что я едва ли могу обвинять его за его неточность. Въ то же время самое точное и опредѣленное наименованіе есть, безъ сомнѣнія, чувство осязанія. Покойный д-ръ Джоржъ Вильсонъ, который былъ прежде профессоромъ технологии въ Единбургскомъ университетѣ, напечаталъ, за нѣсколько времени до своей смерти, прекрасную небольшую книжку подъ заглавіемъ «Пять Вратъ Познанія» [The Five Gateways of Knowledge]; онъ въ ней цитируетъ Джона Буніана, такимъ же образомъ, какъ я вамъ

указалъ. Но я сказалъ *шесть* вратъ познанія, и я долженъ постараться доказать справедливость сказаннаго. Я собираюсь попробовать доказать вамъ, что у насъ есть шесть чувствъ,— т. е., что, если намъ нужно перечислить всѣ чувства, то мы должны насчитать ихъ шесть.

Единственнымъ, насколько мнѣ извѣстно, перечнемъ чувствъ, въ которомъ когда либо прежде оказывалось ихъ больше пяти, было счисленіе Ирландца, въ которомъ семь чувствъ. Я предполагаю, что седьмымъ чувствомъ Ирландца было чувство здраваго смысла ¹⁾; и я увѣренъ, что присутствіе этого достоинства у моихъ земляковъ,—я говорю въ качествѣ Ирландца,—повторяю, обширное присутствіе этого седьмого чувства, которое, по моему мнѣнію, имѣется у Ирландцевъ, и пользование имъ гораздо больше сдѣлаютъ для облегченія скорбей Ирландіи, чѣмъ сдѣлало бы даже удаленіе «меланхолическаго океана», окружающаго ея берега ²⁾. Тѣмъ не менѣе, я не могу, съ научной точки зрѣнія, усмотрѣть, какъ намъ сдѣлать больше шести чувствъ. Я однако, если время позволитъ, возвращусь къ этому вопросу о седьмомъ чувствѣ и попытаюсь высказать нѣсколько мыслей, указывающихъ путь для рѣшенія вопроса: существуетъ, или нѣтъ, магнитное чувство? Возможно, что таковое существуетъ, но факты и наблюденія до сихъ поръ не даютъ намъ никакихъ доказательствъ того, что существуетъ магнитное чувство.

Тѣ шесть чувствъ, которыя я намѣреваюсь, насколько возможно, объяснить сегодня вечеромъ, суть, согласно обыкновенному перечисленію, чувство зрѣнія, чувство слуха, чувство обонянія, чувство вкуса и чувство осязанія, раздѣляемое на два отдѣленія. Лѣтъ сто тому назадъ, д-ръ Томасъ Рейдъ, профессоръ Нравственной Философіи въ Глазговскомъ университетѣ,

¹⁾ Непереводаемая игра словъ: „common sense“—буквально „обыкновенное чувство“—значитъ „здравый смыслъ“ (франц. *sens commun*).

(Прим. перев.).

²⁾ Замѣтимъ кстати, что Томсонъ, въ качествѣ пэра Англіи, лорда Кельвина [онъ получилъ это званіе въ 1892 году за научныя заслуги], явился сильнымъ противникомъ *home-rule-bill*'я. (Прим. перев.).

указалъ, что существуетъ большое различіе между способностью ощущенія шероховатости или сопротивленія, которою обладаетъ рука, и способностью ощущенія теплоты. Мысль Рейда не получила, по моему мнѣнію, того развитія, какого она заслуживаетъ. Мы не найдемъ, мнѣ кажется, ни въ одномъ изъ элементарныхъ учебниковъ натуральной философіи, или же въ сочиненіяхъ физиологовъ о чувствахъ, яснаго перечисленія шести чувствъ. У насъ есть много разсужденій относительно мускульнаго ощущенія и осязательнаго ощущенія; но у насъ нѣтъ того яснаго и широкаго различенія въ чувствѣ осязанія двухъ подраздѣленій, которое, мнѣ кажется, слѣдуетъ изъ того, какъ д-ръ Томасъ Рейдъ объясняетъ чувство осязанія, хотя онъ самъ не формулируетъ ясно этого различія, къ объясненію котораго я сейчасъ перейду.

Чувство осязанія, органомъ котораго считается обыкновенно рука, но которымъ обладаетъ вся чувствующая поверхность тѣла, представляетъ собой явственнымъ образомъ двойное свойство. Если я осязаю предметъ, то я воспринимаю нѣкоторое сложное ощущеніе. Я воспринимаю извѣстное ощущеніе шероховатости, но я въ то же время воспринимаю очень явственное ощущеніе, которое не есть ощущеніе ни шероховатости, ни гладкости. Здѣсь есть два ощущенія; попробуемъ ихъ разложить. Опущу я руку въ этотъ тазикъ съ горячей водой. Въ тотъ моментъ, когда я касаюсь воды, я воспринимаю очень явственное ощущеніе, ощущеніе тепла. Есть ли это ощущеніе шероховатости или гладкости? Нѣтъ. Съ другой стороны, я опускаю руку въ этотъ бассейнъ ледяной воды. Я воспринимаю очень явственное ощущеніе. Есть ли это ощущеніе шероховатости или мягкости? Нѣтъ. Сравнимо оно съ предыдущимъ ощущеніемъ тепла? Я говорю, да. Хотя оно противоположно, но оно сравнимо съ ощущеніемъ тепла. Я не буду говорить, что у насъ есть два ощущенія въ этомъ отдѣленіи: ощущеніе тепла и ощущеніе холода. Я попытаюсь объяснить, что воспринятіе тепла и холода есть воспринятіе различныхъ степеней одного и того же свойства, но что это свойство замѣтнымъ образомъ отличается отъ ощущенія шероховатости. Теперь, что же такое это ощущеніе шероховатости? Объяснить это вполне,—это зай-

метъ у меня нѣсколько времени. Поэтому я скажу напередъ, что это есть чувство силы; и я скажу вамъ напередъ,—прежде чѣмъ я докажу совершенно справедливость того, что мнѣ надо сказать,—что тѣ шесть чувствъ, относительно которыхъ я хочу дать вамъ нѣкоторые объясненія, суть: чувство зрѣнія, чувство слуха, чувство вкуса, чувство обонянія, чувство тепла и чувство силы. Чувство силы есть шестое чувство; или же чувство тепла и чувство силы представляютъ собой чувство осязанія, раздѣленное на два чувства, завершая такимъ образомъ тотъ перечень шести чувствъ, который я намѣреваюсь доказать.

Но я намекнулъ на возможность седьмого чувства,—магнитнаго чувства, — и, хотя это находится внѣ того пути, по которому я намѣренъ идти, и хотя время драгоценно и не позволяетъ дѣлать много отступленій, но я хочу только уничтожить въ васъ мысль, что я какимъ либо образомъ внушаю вамъ что либо, касающееся этого злополучнаго предразудка животнаго магнетизма, столоверченія, спиритизма, месмеризма, ясновидѣнія, стучащихъ духовъ, о которыхъ мы такъ много слышали. Не существуетъ никакого седьмого чувства мистическаго характера. Ясновидѣніе и тому подобное представляетъ собой, главнымъ образомъ, результатъ дурно произведенныхъ наблюденій,—къ которымъ немного примѣшались, однако, дѣйствія умышленнаго обмана, вліяющаго на невинные, довѣрчивые умы. Но, если нѣтъ отдѣльнаго магнитнаго чувства, то я утверждаю, что это великое чудо, что его нѣтъ.

Мы всѣ знаемъ кое-что о компасѣ моряковъ, о стрѣлкѣ, указывающей на сѣверъ, и такъ далѣе; но немногіе изъ насъ углублялись въ этотъ предметъ и не многіе изъ насъ понимаютъ всѣ новѣйшія открытія въ электромагнетизмѣ. Я бы желалъ, будь у меня здѣсь приборы и если бы вы позволили мнѣ, показать вамъ одинъ опытъ изъ магнетизма. Еслибы мы имѣли предъ собой сильный магнитъ или, скажемъ, ту машину, которая даетъ намъ этотъ великолѣпный электрическій свѣтъ, которымъ освѣщена зала, то она, служа для возбужденія электромагнита, составляла бы одну часть нашего прибора; другою частью былъ бы кусокъ мѣди. Положимъ, слѣдовательно, мы

имѣли бы эти приборы,—тогда я бы показалъ вамъ одно очень замѣчательное явленіе, открытое Фарадеемъ и удивительно разработанное Фуко, превосходнымъ французскимъ экспериментаторомъ. Я сказалъ, что одной частью аппарата долженъ былъ бы быть кусокъ мѣди, но серебро годилось бы точно такъ же. Вѣроятно, ни одинъ другой металлъ кромѣ мѣди и серебра—навѣрное, ни одинъ другой изъ всѣхъ металловъ, которые хорошо извѣстны и которые можно получить для обыкновенныхъ опытовъ,—не обладаетъ и неизвѣстно, чтобы какой нибудь другой металлъ или вещество, металлическое ли, или нѣтъ, обладало въ подобной степени, какъ мѣдь и серебро, тѣмъ свойствомъ, на которое я теперь обращаю ваше вниманіе.

Свойство, на которое я намекаю, есть «электропроводность», и слѣдствіемъ существованія этого свойства, въ томъ опытѣ, который я сейчасъ опишу, является то, что кусокъ мѣди или кусокъ серебра, опущенный между полюсами магнита, будетъ падать внизъ медленно, какъ будто онъ падаетъ чрезъ тину. Я беру это тѣло и выпускаю его изъ рукъ. Многіе изъ васъ здѣсь могутъ вычислить, какую часть секунды оно употребитъ, чтобы упасть на одинъ футъ. Если бы я взялъ этотъ кусокъ мѣди, помѣстилъ его какъ разъ надъ пространствомъ между полюсами сильнаго электромагнита и отпустилъ его, то вы бы увидѣли, что онъ медленно бы падалъ внизъ передъ вами; онъ бы употребилъ, можетъ быть, четверть минуты на то, чтобы упасть на нѣсколько дюймовъ.

Этотъ опытъ былъ произведенъ въ условіяхъ, при которыхъ дѣйствіе было особенно сильно, лордомъ Линдсэемъ (теперь лордъ Крофордъ) при содѣйствіи г. Кромвэля Ф. Варлая. Оба этихъ выдающихся человека желали изслѣдовать явленія месмеризма, который тогда называли животнымъ магнетизмомъ; и они очень серьезно принялись за работу, желая произвести настоящій физическій опытъ. Они поставили себѣ вопросъ: «если кусокъ мѣди можетъ едва двигаться въ воздухѣ между полюсами электромагнита, то допустимо ли, чтобы человѣческое существо или другая живая тварь, помѣщенная тамъ, не испытывала никакого дѣйствія?» Лордъ Линдсэй распорядился

приготовить громадный электромагнитъ—такой величины, что голова всякаго лица, желающаго подвергнуть себя такому опыту могла свободно помѣститься между полюсами въ области чрезвычайно большой магнитной силы. Что же далъ въ результатъ опытъ? Если бы я сказалъ «*ничего!*», я поступилъ бы не очень справедливо. Результатъ оказался удивительнымъ, и диво состояло въ томъ, что не ощущалось ничего. Голова ваша въ пространствѣ, черезъ которое кусокъ мѣди падаетъ, какъ черезъ тину, не ощущаетъ ничего. Я говорю, что это очень большое чудо; но я не допускаю, я не чувствую того, что изслѣдованіе этого предмета этимъ бы закончено. Я не могу представить, что это свойство вещества въ пространствѣ,—намагничиваніе,—которое вызываетъ такой чудесный эффектъ въ кускѣ металла, могло быть безусловно безъ всякаго—навѣрное, оно не безъ всякаго,—дѣйствія на вещество живого тѣла; и по моему мнѣнію даже еще не доказано, что оно можетъ быть безъ всякаго *ощутимаго* дѣйствія на вещество живого тѣла, помѣщеннаго тамъ, хотя ничего и не было найдено. До такой степени удивительно, чтобы не было совсѣмъ никакого дѣйствія, что я увѣренъ и чувствую, что опытъ стоитъ повторить—и что стоитъ изслѣдовать, имѣетъ ли, или нѣтъ, очень большая магнитная сила какое нибудь ощутимое вліяніе на живое тѣло, растительное или животное. Я говорилъ раньше о седьмомъ чувствѣ. Я, именно, считаю возможнымъ, чтобы могло существовать магнитное чувство. Я думаю, возможно, что чрезвычайно большое магнитное дѣйствіе можетъ произвести ощущение, которое мы не въ состояніи будемъ сравнить ни съ тепломъ, ни съ силой, ни съ какимъ либо другимъ ощущеніемъ.

Другой вопросъ, который часто приходитъ въ голову, есть: «существуетъ ли электрическое чувство?» Имѣетъ ли какое либо человѣческое существо ощущение электричества въ воздухѣ? Конечно, можно бы предложить, вѣроятно, нѣсколько подобныхъ же проектовъ опытовъ по отношенію къ электричеству; но есть извѣстныя причины, объяснять которыя заняло бы у меня слишкомъ много времени,—причины, которыя препятствуютъ мнѣ помѣстить электрическую силу въ одну

категорію съ силой магнитной. Здѣсь было бы поверхностное дѣйствіе, которое на практикѣ сводило бы къ нулю внутреннія дѣйствія, зависящія отъ электрической силы, и это поверхностное дѣйствіе было бы опредѣленнымъ ощущеніемъ, которое мы могли бы явственно отнести къ чувству силы. Всякій, помѣщая свою руку, или свое лицо, или свои волосы, въ сосѣдствѣ электрической машины, воспринимаетъ нѣкоторое ощущение и, изслѣдуя его, находитъ, что дуетъ струя воздуха и что волоса его притягиваются; и если онъ помѣщаетъ свою руку слишкомъ близко, то онъ находитъ, что между его рукой или лицомъ и машиной образуются искры, такъ что прежде, чѣмъ мы придемъ къ какому либо деликатному вопросу о возможномъ дѣйствіи электрической силы, мы получаемъ ясныя механическія воздѣйствія, которыя вызываютъ ощущенія температуры и силы. Но, чтобы эта таинственная и удивительная магнитная сила, зависящая, какъ мы теперь знаемъ, отъ вращеній молекулъ, могла быть безусловно безъ дѣйствія—безъ замѣтнаго дѣйствія—на животную экономію, представляется очень удивительнымъ явленіемъ и есть, во всякомъ случаѣ, предметъ, заслуживающій тщательнаго изслѣдованія. Я надѣюсь, что никто не подумаетъ, что я благопріятствую въ томъ, что я сказалъ, предразсудку месмеризма.

Я намѣренъ, если время позволитъ, прежде, чѣмъ кончить, объяснить нѣсколько полнѣе наши ощущенія, касающіяся двойного чувства осязанія,—чувства температуры и чувства силы. Но сначала я долженъ сказать что нибудь и о другихъ чувствахъ, потому что, если я буду слишкомъ много говорить о чувствахъ силы и тепла, то не останется времени ни на одно изъ остальныхъ. Итакъ, теперь, подумаемъ о томъ, что такое мы воспринимаемъ въ чувствѣ слуха. Акустика есть наука о слухѣ. А что такое слухъ? Слухъ есть воспріятіе чего-то ухомъ. Что же такое мы воспринимаемъ ухомъ? Это есть нѣчто такое, что мы можемъ воспринимать безъ помощи уха; нѣчто такое, что величайшій, когда либо существовавшій, мастеръ звука (во всякомъ случаѣ, въ поэтическомъ и артистическомъ смыслѣ этого слова),—Бетховенъ,—не могъ восприни-

мать ухомъ большую часть своей жизни. Онъ былъ глухимъ большую часть своей жизни и втеченіе этого періода были сочинены нѣкоторыя изъ величайшихъ его музыкальныхъ произведеній,—и это безъ возможности для него когда либо слышать самому ихъ ухомъ,—потому что его слухъ ухомъ былъ потерянъ имъ навсегда. Но онъ обыкновенно стоялъ съ палкой, прижатой къ фортепьяно и касавшейся его зубовъ, и такимъ образомъ могъ слышать звуки, которые онъ вызывалъ изъ инструмента. Отсюда слѣдуетъ, что, кромѣ Вратъ Уха Джона Буніяна, есть еще другія врата или другой доступъ для слуховыхъ ощущеній.

Что же такое представляетъ собой то, что вы обыкновенно воспринимаете ухомъ,—что здоровый человѣкъ, не потерявшій ни одного изъ своихъ природныхъ органовъ чувствъ, воспринимаетъ своимъ ухомъ, но что можетъ быть воспринимаемо иначе, хотя не такъ удовлетворительно или полно? Это очевидно есть чувство измѣняющагося давленія. Когда барометръ подымается, давленіе на ухо увеличивается; когда барометръ падаетъ, это есть указаніе, что давленіе на ухо уменьшается. Ну, а если бы давленіе воздуха внезапно увеличилось и уменьшилось, скажемъ, втеченіе одной минуты, — положимъ, въ четверть минуты барометръ поднялся на одну десятую дюйма и снова упалъ; ощутили бы вы что нибудь? Я сомнѣваюсь въ этомъ; я не думаю, чтобы вы ощутили. Если бы барометръ поднялся на два дюйма, или три дюйма, или четыре дюйма въ пол-минуты, то большинство ощутило бы это. Я говорю это, какъ результатъ наблюденія, потому что лица, опускающіяся въ водолазномъ колоколѣ, имѣютъ совершенно то же самое ощущеніе, какое они испытали бы, если бы отъ нѣкоторой неизвѣстной причины барометръ быстро, въ пол-минуты, поднялся на пять или шесть дюймовъ,—далеко выше самой большой высоты, на которой онъ когда либо стоитъ на открытомъ воздухѣ. Итакъ, у насъ есть чувство барометрическаго давленія, но у насъ нѣтъ непрерывныхъ указаній, которыя позволяли бы намъ ощущать разницы между высокимъ и низкимъ стояніемъ барометра. Люди, живущіе на большихъ

высотахъ,—на нѣсколько тысячъ футовъ надъ уровнемъ моря, гдѣ барометръ стоитъ на нѣсколько дюймовъ ниже, чѣмъ на уровнѣ моря,—ощущаютъ почти то же самое, что они ощущали бы на поверхности моря, — поскольку дѣло идетъ о какомъ либо ощущеніи давленія. Рѣзкій горный воздухъ кажется отличающимся отъ воздуха болѣе низкихъ мѣстъ частью потому, что онъ холоднѣе и суше, но также и потому, что онъ менѣе плотенъ и что вы должны вдыхать его больше, чѣмъ вы введете въ ваши легкіе то же самое количество кислорода,—количество, потребное для того, чтобы были исполнены тѣ функціи, которыя студенты этого Института, занимающіеся физиологіей животныхъ,—а я думаю, что здѣсь ихъ большое количество,—вполнѣ поймутъ. Дѣйствіе воздуха въ легкихъ,—функціи, которыя онъ исполняетъ,—зависитъ, главнымъ образомъ, отъ поглощеннаго кислорода. Если воздухъ имѣетъ только три четверти той плотности, которую онъ имѣетъ здѣсь въ нашей обыкновенной атмосферѣ, то нужно вдохнуть его въ себя въ одинъ съ третью раза больше, чтобы произвести такое же окисляющее дѣйствіе на кровь и такое же общее дѣйствіе въ животной экономіи; и въ этомъ отношеніи, несомнѣнно, горный воздухъ имѣетъ дѣйствіе на живыхъ существъ, совершенно отличное отъ дѣйствія воздуха равнинъ. Это дѣйствіе ясно ощутимо по его отношенію къ здоровью.

Но я удаляюсь въ сторону отъ моего предмета, который составляетъ разсмотрѣніе измѣненій давленія, сравнимыхъ съ тѣми, которыя производятъ звукъ. Водолазный колоколъ позволяетъ намъ ощутить внезапное увеличеніе давленія, но не при посредствѣ обыкновеннаго чувства осязанія. Рука не ощущаетъ разницы между 15 фунтами на квадратный дюймъ, давящими на нее со всѣхъ сторонъ, и 17, или 18, или 20, или даже 30 фунтами на квадратный дюймъ ¹⁾, какъ это ощущается, когда вы опускаетесь въ водолазномъ колоколѣ. Если вы опу-

¹⁾ = 1·1, 1·2, 1·3, 1·4, 2·1 килограммамъ на квадратный сантиметръ.

(Прим. перев.).

ститесь на пять съ половиною фасомовъ ¹⁾ въ водолазномъ колоколѣ, то ваша рука сдавливается со всѣхъ сторонъ силой въ 30 фунтовъ на квадратный дюймъ; но вы все еще не ощущаете никакой разницы въ чувствѣ силы, никакого ощущенія давленія. Вы ощущаете вотъ что: сзади барабанной перепонки находится нѣкоторая полость, наполненная воздухомъ, и большее давленіе на одну сторону барабанной перепонки, чѣмъ на другую, вызываетъ болѣзненное ощущеніе и иногда производитъ разрывъ ея у лица, внезапно опускающагося въ водолазномъ колоколѣ. Средствомъ противъ испытываемаго такимъ образомъ болѣзненнаго ощущенія, — или, я лучше скажу, для предотвращенія его, — является жеваніе куска твердаго сухаря или подражаніе этому дѣйствию. Если вы жуеете твердый сухарь, то при этомъ дѣйствиі открывається нѣкоторый проходъ ²⁾, черезъ который давленіе воздуха, получая доступъ къ внутренней сторонѣ барабанной перепонки, уравнивается внѣшнее давленіе и является такимъ образомъ препятствіемъ этому болѣзненному дѣйствию. Это болѣзненное дѣйствіе на ухо, испытываемое при опусканіи въ водолазномъ колоколѣ, происходитъ просто отъ того, что нѣкоторая часть тканей испытываетъ бѣльшее давленіе съ одной стороны, чѣмъ съ другой; и, когда такой ужасной силѣ подвергается у насъ такой нѣжный предметъ, какъ барабанная перепонка, то мы можемъ испытать большую боль и это можетъ быть опаснымъ, — и, дѣйствительно, это опасно и производитъ разрывъ или поврежденіе барабанной перепонки, если не принять мѣръ для предотвращенія этой разницы въ давленіяхъ; но тѣ простыя мѣры, которыя я указалъ, являются, я думаю, у всѣхъ обыкновенныхъ здоровыхъ людей, вполне успѣшными.

Я боюсь, что мы, однако, нисколько не ближе къ пониманію того, что же такое мы воспринимаемъ, когда мы слышимъ. Поэтому, чтобъ быть краткимъ, скажемъ, что это есть,

¹⁾ Фасомъ [fathom] = 2 ярдамъ = 6 футамъ, $5\frac{1}{2}$ фасомовъ = 10 метрамъ.
(Прим. перев.).

²⁾ Евстахіева труба.

(Прим. перев.).

просто, слѣдующее: это — чрезвычайно быстрыя измѣненія давленія, дѣйствующаго на барабанную перепонку уха, происходящія втеченіе столь короткаго промежутка времени и съ такой умѣренной силой, чтобы не повредить ея, а вызвать очень ясное ощущеніе, которое сообщается при посредствѣ ряда косточекъ слуховому нерву. Я долженъ прямо пропустить это; подробности полны интереса, но онѣ заняли бы у насъ гораздо больше часа, если бы я вошелъ въ ихъ полное разсмотрѣніе. Какъ только мы дошли до нервовъ и костей, мы перешли рамки того предмета, о которомъ я предполагалъ говорить. Мой предметъ принадлежитъ къ физикѣ, — къ такъ называемой, въ Шотландіи, Натуральной Философіи. Физика имѣетъ дѣло съ мертвой матеріей и я зашелъ за ея предѣлы, разъ я говорю о живомъ тѣлѣ; но мы должны говорить о человѣческомъ тѣлѣ, когда разбираемъ чувства, какъ средства воспріятія, — какъ средства, при посредствѣ которыхъ, на языкѣ Джона Буніана, «душа въ ея крѣпости» пріобрѣтаетъ свѣдѣнія о внѣшней матеріи. Физикъ долженъ смотрѣть на органы чувствъ совершенно такъ же, какъ онъ смотритъ на микроскопъ; ему нѣтъ дѣла до фізіологіи. Однако, ему приходится многое дѣлать своими собственными глазами и руками, и онъ долженъ размышлять о нихъ, если онъ понимаетъ, что онъ дѣлаетъ, и желаетъ получить разумный взглядъ на тѣ, какіе бы то ни были, предметы, которые находятся передъ нимъ въ его собственной области.

Но, что же будетъ внѣшнимъ объектомъ этого внутренняго процесса слушанія и восприниманія звука? Внѣшній объектъ есть измѣненіе давленія воздуха. Хорошо, но какъ же намъ опредѣлить звукъ просто? Кажется немного похожимъ на *circulus viciosus* — но, въ дѣйствительности, не представляется таковымъ — сказать, что, если мы называемъ нѣчто звукомъ, то это есть звукъ — если мы воспринимаемъ что нибудь, какъ звукъ, то это *есть* звукъ. Всякое измѣненіе давленія, которое настолько быстро, что позволяетъ намъ воспринять его, какъ звукъ, есть звукъ. Вотъ (хлопнувъ руками) — это есть звукъ. Не можетъ быть вопроса объ этомъ, — никто никогда не спро-

силь: звукъ это или нѣтъ? Это есть звукъ, если вы это слышите. Если вы это не слышите, то это для васъ не есть звукъ. Вотъ все, что я могу сказать, чтобы дать опредѣленіе звука. Чтобы объяснить, что такое звукъ, я могу сказать, что это есть измѣненіе давленія и что оно отличается отъ постепеннаго измѣненія давленія, наблюдаемаго на барометрѣ, только тѣмъ, что оно болѣе быстро, — настолько быстро, что мы воспринимаемъ его, какъ звукъ. Если бы вы могли ощутить ухомъ, что барометръ сегодня упалъ на двѣ десятыхъ дюйма, то это былъ бы звукъ. Но никто не ощущаетъ своимъ ухомъ, что барометръ упалъ, и такимъ образомъ не слышитъ этого паденія, какъ звукъ. Но то же самое измѣненіе давленія, случись оно у насъ внезапно, — напр., паденіе барометра (если бы таковое какимъ либо образомъ могло случиться), — достигающее одной десятой дюйма и происходящее въ тысячную секунду, — произвело бы на насъ совершенно такое же впечатлѣніе, какъ звукъ. Внезапное поднятіе барометра произвело бы звукъ, аналогичный тому, который произошелъ, когда я хлопнулъ руками. Какая разница между шумомъ и музыкальнымъ звукомъ? Музыкальный звукъ есть правильное и періодическое измѣненіе давленія. Это есть поочередное увеличеніе и уменьшеніе давленія воздуха, происходящее достаточно быстро, чтобы быть воспринятымъ, какъ звукъ, и съ полной правильностью, періодъ за періодомъ. «Шумы» и музыкальные звуки сливаются другъ съ другомъ. По крайней мѣрѣ, музыкальные звуки могутъ иногда представлять собою нѣчто, завершающееся шумомъ, или слишкомъ склоняться къ переходу въ шумъ, чтобы вполне нравиться разборчивому музыкальному уху. Всякая шероховатость, нерегулярность, недостатокъ правильной и плавной періодичности имѣетъ слѣдствіемъ полученіе тона или музыки, которая такъ сложна, что невозможно сказать, въ тонъ она или нѣтъ.

Но, теперь, по поводу этого ощущенія звука я бы хотѣлъ высказать кое-что по отношенію къ тѣмъ практическимъ урокамъ, которые можно извлечь изъ тѣхъ большихъ математическихъ разсужденій, которыя были изложены предъ Британской

Ассоціаціи въ рѣчахъ ея предсѣдателя, профессора Кэлэя, и предсѣдателя секціи математики и физики, профессора Генричи. Оба эти профессора настаивали на важности графическихъ изображеній и по отношенію къ этому самому свойству звука ¹⁾ можно привести одно изъ графическихъ изображеній, упомянутыхъ въ рѣчи профессора Кэлэя ²⁾. На языкѣ математики мы въ звукѣ имѣемъ дѣло съ функціей отъ только «одной независимой переменнѣй». Время есть независимая переменная, а давленіе воздуха есть функція. У насъ нѣтъ осложненія, отъ движеній въ различныхъ направленіяхъ. У насъ нѣтъ осложненія, о которомъ намъ придется подумать непосредственно дальше, въ связи съ чувствомъ силы, — осложненія, относящагося къ мѣсту приложенія и направленію силы. У насъ нѣтъ тѣхъ безконечныхъ осложненій, которыя мы имѣемъ въ нѣкоторыхъ изъ другихъ чувствъ, въ особенности, въ обоняніи и во вкусѣ. Мы должны разсматривать лишь одно, и это одно есть давленіе воздуха или измѣненіе давленія воздуха съ теченіемъ времени. Не представляйте себѣ, что математика терпка и терниста и производитъ отталкивающее дѣйствіе на здравый смыслъ. Она есть только идеализація [etherealisation] здраваго смысла. Функція одной независимой переменнѣй, съ которой вамъ приходится здѣсь имѣть дѣло, есть давленіе воздуха на барабанную перепонку. Вотъ теперь, въ тысячѣ конторъ и бюро въ Бирмингэмѣ, въ Лондонѣ, въ Глазго, въ Манчестерѣ, изо дня въ день пользуются, какъ это указалъ профессоръ Кэлэй, кривой для нагляднаго представленія нѣкоторой функціи отъ одной независимой переменнѣй. Самая важная функція отъ одной переменнѣй въ Ливерпулѣ, есть, должно быть, цѣна хлопчатой бумаги. Кривая, показывающая цѣну хлопчатой бумаги, подымающаяся, когда цѣна хлопчатой бумаги высока, и опускающаяся, когда цѣна хлопчатой бумаги низка, указываетъ наглядно всѣ сложныя измѣненія

¹⁾ Т. е. регулярности періодовъ.

(Прим. перев.).

²⁾ Rep. Brit. Ass. 1883, Birmingham, стр. 1—37.

(Прим. перев.).

этой функции. То же самое въ таблицахъ смертности Главнаго Статистическаго Архива [Registrar-General]—мы имѣемъ кривыя, показывающія изо дня въ день число смертей,—грустную исторію эпидеміи, указываемую поднимающейся вѣтвью, — и длинную постепенную отлогость въ опускающейся вѣтви кривой, когда эпидемію преодолѣли и когда приближаются снова къ нормальному состоянію здоровья. Все это представляется наглядно; и одинъ изъ самыхъ великолѣпныхъ результатовъ математики есть этотъ способъ нагляднаго представленія закона измѣненія функции отъ одной независимой переменной, какъ бы этотъ законъ ни былъ сложенъ. Но перейдемъ теперь къ тому, что мнѣ въ самомъ дѣлѣ кажется чудомъ изъ чудесъ; подумайте, что за сложная вещь получается въ результатѣ игры оркестра—сотни инструментовъ—и пѣнія двухъ сотъ голосовъ въ хорѣ, которому аккомпанируетъ этотъ оркестръ. Подумайте о состояніи воздуха, о томъ, какъ онъ иногда растерзывается отъ этихъ сложныхъ вліяній. Подумайте о томъ плавномъ постепенномъ увеличеніи и уменьшеніи давленія, — плавномъ и постепенномъ, хотя и происходящемъ нѣсколько сотъ разъ въ секунду,—въ томъ случаѣ, когда мы слышимъ пьесу великолѣпной гармоніи! Однако, будетъ ли это одна нота самаго нѣжнаго звука флейты, или самая чистая гармонія двухъ голосовъ, поющихъ совершенно въ тонъ,—или будетъ ли это громъ оркестра, съ высокими нотами, иногда даже съ раздирающими взвизгами воздуха, которыя вы можете услышать выдѣляющимися надъ звукомъ хора — подумайте обо всемъ этомъ,—и все-таки это не настолько сложно, чтобы профессоръ Кэлэй съ кускомъ мѣла въ рукѣ не могъ изобразить это, проведя на черной доскѣ одну линію. Одна кривая, проведенная такимъ же образомъ, какъ кривая цѣнъ хлопчатой бумаги, описываетъ все то, что ухо можетъ, вѣроятно, слышать, какъ результатъ самаго сложнаго музыкальнаго исполненія. Что значитъ, что одинъ звукъ болѣе сложенъ, чѣмъ другой? Это значитъ просто, что въ сложномъ звукѣ измѣненія нашей независимой переменной, давленія воздуха, болѣе рѣзки, болѣе внезапны, менѣе плавны и менѣе

ясно періодичны, чѣмъ въ болѣе мягкомъ, болѣе чистомъ и болѣе простомъ звукѣ. Но суммирование другъ съ другомъ этихъ различныхъ дѣйствій есть, дѣйствительно, чудо изъ чудесъ; и подумайте, что всѣ эти различныя дѣйствія всѣхъ этихъ различныхъ инструментовъ можно изобразить графически. Подумайте объ этомъ слѣдующимъ образомъ. Я полагаю, каждый изъ присутствующихъ знаетъ, что такое музыкальная партитура—во всякомъ случаѣ, вы знаете, какъ выглядятъ ноты мотива какогонибудь гимна, и можете представить себѣ то же самое для хора голосовъ и аккомпанирующаго оркестра, — «партитуру» въ цѣлую страницу, съ одной строкой для каждаго инструмента и, можетъ быть, четырьмя различными строками для четырехъ голосовыхъ партій. Подумайте, сколько вы должны нанести на страницу, рукописную или печатную, чтобы показать, что должны дѣлать различные исполнители. Подумайте также, насколько больше должно быть сдѣлано, чѣмъ все то, что можетъ композиторъ нанести на эту страницу. Подумайте о томъ выраженіи, которое можетъ дать каждый исполнитель, и о разницѣ между великимъ скрипачемъ и человекомъ, который просто успѣшно пилитъ свою партію; подумайте также о разницѣ въ пѣніи и о всемъ томъ выраженіи, которое вкладывается въ ноту или въ рядъ нотъ при пѣніи, — выраженіи, которое нельзя описать. На писаной или печатной страницѣ находится небольшой клинъ, указывающій *diminuendo*, и клинъ, обращенный въ другую сторону и указывающій *crescendo*, и это все, что музыкантъ можетъ нанести на бумагѣ, чтобы обозначить разницу въ выраженіи, которое слѣдуетъ дать. И вотъ, теперь, все то, что можетъ быть изображено цѣлой страницей или двумя страницами оркестровой партитуры, какъ подробное означеніе того звука, который нужно произвести, скажемъ, въ десять секундъ времени, наглядно съ полною ясностью представляется одной кривой на бумажной лентѣ въ сотню дюймовъ (около $2\frac{1}{2}$ м.) ¹⁾ длиною. Это, по моему

¹⁾ Проведенная такимъ образомъ кривая сказала бы даже слишкомъ много, потому что она показала бы тому, кто сумѣлъ бы ее прочитать,

мнѣнію, представляет собою поразительное доказательство могущества математики. Не допускайте, чтобы какой либо студентъ этого Института на минуту отвратился отъ преслѣдованія изученія математики вслѣдствіе мысли, что великіе математики попадаютъ въ царство четырехъ измѣреній, куда вы не можете послѣдовать за ними. Примите во вниманіе, что разсказалъ намъ объ этой великолѣпной и блестящей способности математики, идеализировать и иллюстрировать здравый смыслъ профессоръ Кэлэй, въ его удивительной рѣчи, на которую я уже ссылаюсь, и вы не падете духомъ при вашемъ изученіи математики а, наоборотъ, скорѣе укрѣпитесь духомъ, когда подумаете о томъ могуществѣ, которое математикамъ, посвѣщающимъ всю свою жизнь занятіямъ математикой, удалось придать ихъ чудесной наукѣ.

Я сказалъ объ ощущеніи звука, что оно вызывается быстрыми измѣненіями давленія. Мнѣ бы слѣдовало, скорѣе, войти въ подробности и сообщить, какъ быстры должны быть эти перемѣны отъ наибольшаго давленія къ наименьшему и обратно къ наибольшему, и какъ часто должны происходить эти

не только періоды и напряженія всѣхъ простыхъ звуковъ, наложеніе которыхъ другъ на друга составляетъ тотъ очень сложный звукъ, который слышенъ въ каждый моментъ, — но также и фазы этихъ различныхъ звуковъ. Но, повидимому, ухо наше не способно воспринимать эти фазы, а только періоды и напряженія звуковъ; ибо кромѣ непосредственныхъ опытныхъ доказательствъ, данныхъ Гельмгольтцемъ (Helmholtz. Tonempfindungen), достаточно замѣтить, что эти фазы по необходимости различны для различныхъ слушателей, находящихся въ одной и той же залѣ, что онѣ измѣняются въ зависимости отъ того, что одинъ музыкантъ сядетъ немного ближе или немного дальше, и что, наконецъ, въ настоящее время не существуетъ, ни для цѣлаго оркестра, ни даже для одного инструмента съ различными звуками, способа регулировать фазы различныхъ одновременныхъ звуковъ и что тѣмъ не менѣе, впечатлѣніе, производимое опредѣленнымъ аккордомъ простыхъ звуковъ (напр., камертоновъ *ut*, *mi* и *sol*), повидимому, вполне опредѣляется именами нотъ, т. е. одними періодами, такъ какъ оно, несомнѣнно, одинаково, когда аккордъ повторяется нѣсколько разъ, причемъ фазы, конечно, не остаются одинаковыми.

(Прим. перев.).

перемѣны, чтобы дать намъ звукъ музыкальной ноты. Если бы барометръ измѣнялся одинъ разъ въ минуту, то вы бы не ощущали этого, какъ музыкальную ноту. Но, положимъ, что при посредствѣ какого нибудь механическаго процесса въ воздухѣ вы бы могли заставить барометрическое давленіе — давленіе воздуха — измѣняться гораздо быстрѣе. Эти измѣненія давленія, показать которыя наглядно у барометра не хватаетъ проворства, ухо слышитъ, какъ музыкальный звукъ, если измѣненія повторяются двадцать разъ въ секунду. Если они повторяются двадцать, тридцать, сорокъ или пятьдесятъ разъ въ секунду, вы слышите низкую ноту. Если періодъ постепенно дѣлается короче, вы слышите низкую ноту, постепенно поднимающуюся, становящуюся все выше и выше, все болѣе и болѣе острой, и если дѣло доходитъ до 256 періодовъ въ секунду, то мы получаемъ ноту, называемую *C*¹⁾ въ обыкновенномъ музыкальномъ обозначеніи. Мнѣ кажется, я опишу ее вѣрно, если скажу, что это низкій тонъ *C* тенороваго голоса, — самое низкое *C*, какое можетъ издать флейта. Нота двухфутовой²⁾ органной, открытой съ двухъ концовъ, трубы имѣетъ 256 періодовъ въ секунду. Поднимайтесь выше и выше до 512 періодовъ въ секунду и вы получите слѣдующее верхнее *C*, — среднее *C* голоса сопрано. Поднимитесь вверхъ до 1,024, — вы получите октавой выше. Вы получаете всегда октавой выше, когда удваиваете число колебаній въ секунду, и, если вы будете продолжать это, пока не поднимитесь до тысячъ 5, 6 или 10, то нота станетъ настолько пронзительной, что она перестаетъ дѣйствовать на человѣческое ухо, и вы больше ее не слышите. Самая высокая нота, которую можетъ воспринять человѣческое ухо, повидимому, представляетъ нѣчто вродѣ 10,000 періодовъ въ секунду. Я говорю «нѣчто вродѣ», потому что не существуетъ вполне опредѣленнаго предѣла. Нѣкоторыя уши перестаютъ слышать ноту, становящуюся все пронзительнѣе и пронзительнѣе, раньше, чѣмъ перестанутъ ее слышать другія уши;

¹⁾ = *do* или *ut*.

²⁾ = 60 сантиметровъ.

(Прим. перев.).

(Прим. перев.).

и потому, я могу только сказать, очень общимъ образомъ, что нѣчто вродѣ 10,000 періодовъ въ секунду соотвѣтствуетъ почти самой пронзительной нотѣ, которую еще можетъ слышать чело-вѣческое ухо. Итакъ, мы можемъ опредѣлить музыкальныя ноты, какъ измѣненія давленія воздуха, періодически повто-ряющіяся отъ двадцати до 10,000 разъ въ секунду. Ну, а существуютъ ли колебанія въ тридцать, сорокъ, пятьде-сятъ, сто тысячъ, миллионъ періодовъ въ секунду, въ воз-духѣ, въ упругихъ твердыхъ тѣлахъ или въ какой нибудь ма-теріи, дѣйствующей на наши чувства? У насъ нѣтъ никакихъ доказательствъ существованія въ матеріи колебаній, число ко-торыхъ въ секунду много больше, чѣмъ 10,000, или 20,000, или 30,000 въ секунду, — и однако мы не имѣемъ причинъ отрицать возможность того, что такія колебанія существуютъ и что они могутъ имѣть очень важное значеніе въ при-родѣ. Но, когда мы дойдемъ до такой степени частоты, кото-рую я не въ состояніи изобразить цифрами, — до чего-то, что можетъ быть измѣряемо сотнями тысячъ, если не миллионами, колебаній въ секунду, то мы не только перейдемъ предѣлы слуха чело-вѣческихъ ушей, но даже перейдемъ предѣлы колебаній воз-можныхъ для той матеріи, какую мы знаемъ. Колебанія, пе-редаваемые, какъ волны, черезъ сталь, воздухъ или воду, не могутъ быть чаще нѣкотораго опредѣленнаго числа, для кото-раго, въ настоящую минуту, я не могу указать точную цифру, но которое, какъ я сказалъ, можетъ выражаться сотнями ты-сячъ или нѣсколькими миллионами въ секунду ¹⁾).

¹⁾ Причиной этой ограниченности числа колебаній служитъ зерни-стое строеніе матеріи. Если разсматривать все меньшія и меньшія длины волнъ, то соотвѣтствующій имъ періодъ сначала уменьшается, *переходитъ черезъ минимумъ* и затѣмъ начинаетъ неопредѣленно возрастать. Колеба-нія съ періодомъ, меньшимъ, чѣмъ этотъ минимумъ, невозможны въ этой средѣ; кромѣ того, когда длина волны заключаетъ въ себѣ только нѣ-сколько зеренъ, то скорость распространенія уменьшается, дѣлается рав-ной нулю для нѣкоторой длины волны, а для меньшихъ длинъ волнъ распространеніе становится невозможнымъ. Опытное изслѣдованіе дис-персіи упругихъ колебаній съ очень небольшою длиною волны, повиди-

Но займемся теперь вопросомъ о свѣтѣ. Ощущеніе зрѣнія можетъ быть въ томъ отношеніи сравнено съ ощущеніемъ звука, что оно также вызывается колебаніями. Мы знаемъ, что свѣтъ есть дѣйствіе на сѣтчатую оболочку глаза — и чрезъ посредство сѣтчатой оболочки на зрительный нервъ, — дѣйствіе, зависящее отъ колебаній, число которыхъ въ секунду заклю-чается между 400 миллионъ миллионъ и 800 миллионъ мил-лионъ. Итакъ, мы имѣемъ обширный пробѣлъ между 400 въ секунду, звукомъ довольно высокаго тенороваго голоса, и 400 миллионъ миллионъ въ секунду, числомъ колебаній, соотвѣт-ствующимъ темно-красному свѣту, — самому низкому ¹⁾ красному свѣту призматическаго спектра. Возьмите середину спектра — желтый свѣтъ, — тамъ число колебаній въ секунду въ круг-лыхъ числахъ есть 500 миллионъ миллионъ. Въ фіолетовомъ свѣтѣ мы имѣемъ 800 миллионъ миллионъ въ секунду. За фіолетовымъ свѣтомъ мы имѣемъ нѣчто, что глазъ едва ощу-щаетъ, — можетъ быть, совсѣмъ не ощущаетъ, — но, по моему мнѣнію, хотя не живо, но ощущаетъ: у насъ есть ультра-фіолетовые лучи, извѣстные намъ, главнымъ образомъ, изъ-за ихъ фотографическихъ дѣйствій, но также и изъ-за многихъ другихъ поразительныхъ опытовъ, которые за послѣднія трид-цать лѣтъ до удивительнѣйшей степени расширили наши по-знанія о свѣтѣ. Невидимые лучи свѣта мы можемъ сдѣлать видимыми, если дадимъ этимъ лучамъ упасть на извѣстный сортъ стекла, на стекло, окрашенное ураномъ, — это желтовато-зеленое стекло, называемое иногда канареечнымъ стекломъ

тому, не безусловно недоступно, а оно дало бы въ высшей степени интересныя указанія степени однородности изучаемыхъ веществъ; въ частности, для очень чистыхъ кристалловъ, это дало бы понятіе о вели-чинѣ кѣтокъ. Въ газахъ, находящихся подъ очень слабыми давленіями, для которыхъ средняя длина пути достигаетъ или превосходитъ санти-метръ, можно ожидать замѣтнаго измѣненія скорости звука при измѣненіи періода для длинъ волнъ въ нѣсколько сантиметровъ. То же относится къ разведеннымъ растворамъ тѣлъ съ очень большимъ молекулярнымъ вѣсомъ въ жидкости, находящейся близъ своей критической точки. См. „Величина атомовъ“, стр. 128.

¹⁾ См. прим. 1 на стр. 108.

(Прим. перев.).

(Прим. перев.).

или хамелеоновымъ стекломъ [solar glass or chameleon glass]. Урановое стекло имѣетъ свойство дѣлать видимыми невидимые для насъ лучи. Вы можете держать въ своей рукѣ кусокъ урановаго стекла, освѣщаемаго этимъ электрическимъ свѣтомъ или свѣтомъ свѣчи или газа, и вы увидите, что оно свѣтится соотвѣтственно цвѣту того свѣта, который падаетъ на него; но помѣстите его въ спектръ за видимый фіолетовый конецъ, гдѣ безъ него вы не видите ничего, гдѣ кусокъ мѣла, если держать его тамъ, кажется совершенно темнымъ, и урановое стекло засвѣтится таинственнымъ измѣненнымъ цвѣтомъ великолѣпнаго оттѣнка, обнаруживая присутствіе невидимыхъ лучей, обращая ихъ въ лучи низшаго періода и такимъ образомъ дѣлая ихъ видимыми для глаза. Это свойство урановаго стекла было открыто профессоромъ Стоксомъ и ему было дано названіе флуоресценціи отъ флуоршпата [или плавиковога шпата — fluorapat], у котораго Стоксъ нашелъ такое же самое свойство. Съ тѣхъ поръ было открыто, что флуоресценція и фосфоресценція есть нѣчто непрерывное, что онѣ представляютъ собой крайности одного и того же явленія. Я полагаю, что большинство ихъ здѣсь присутствующихъ знаетъ свѣтящуюся краску, которую дѣлаютъ изъ сѣрнистыхъ соединений кальція и другихъ матерьяловъ, — и которая, будучи подвержена дѣйствию свѣта втеченіе нѣкотораго времени, продолжаетъ свѣтиться въ темнотѣ втеченіе многихъ часовъ. Способность испускать свѣтъ послѣ удаленія источника, представляющая отличительное свойство этихъ фосфоресцирующихъ предметовъ, проявляется также, какъ доказалъ Эдмундъ Бэеккерель, и у урановаго стекла и такимъ образомъ Стоксовское открытіе флуоресценціи становится непрерывно связаннымъ съ давно извѣстнымъ явленіемъ фосфоресценціи, на которое впервые, кажется, было обращено вниманіе ученыхъ Робертомъ Вайлемъ около двухсотъ лѣтъ тому назадъ.

Есть еще другіе лучи, которые мы не воспринимаемъ ни однимъ изъ этихъ способовъ, но которые мы воспринимаемъ при посредствѣ нашего чувства тепла: тепловые лучи, какъ ихъ обыкновенно называютъ. Но, на самомъ дѣлѣ, всѣ лучи,

которые мы называемъ свѣтомъ, имѣютъ тепловое дѣйствіе. Лучистое тепло и свѣтъ не представляютъ собою двухъ различныхъ явленій: лучистое тепло тождественно со свѣтомъ. Возьмите въ темную комнату черный горячій котелокъ и смотрите на него. Вы не видите ничего. Подержите ваше лицо или вашу руку около него — и вы замѣчаете его чрезъ то, что Буніанъ назвалъ бы Вратами Ощущенія; только теперь мы одинаково примѣняемъ слово «ощущеніе», какъ къ осязанію, такъ и ко всѣмъ другимъ чувствамъ. Вы замѣчаете его раньше, чѣмъ вы его коснетесь. Вы замѣчаете его задней стороною вашей руки или ладонью вашей руки; вы замѣчаете его вашимъ лицомъ, да, и вашимъ глазомъ, но вы не видите его. Вы замѣчаете его даже вашимъ глазомъ, а все же вы не видите его. Ну, теперь, нужно ли мнѣ оправдывать мое утвержденіе, что это не свѣтъ? Вы говорите, что это не свѣтъ, и это не есть свѣтъ для васъ, если вы его не видите. Было много логическихъ споровъ объ словахъ здѣсь; похоже, что въ нашемъ опредѣленіи мы находимся въ *circulus viciosus*. Мы можемъ начать съ опредѣленія свѣта — «Это есть свѣтъ, если вы видите это, какъ свѣтъ; и это не есть свѣтъ, если вы этого не видите». Чтобы избѣжать околичностей, мы взглянемъ на вещи слѣдующимъ образомъ. Лучистое тепло есть свѣтъ, если вы его видите, и оно не есть свѣтъ, если вы его не видите. Это не значитъ, что есть два различныхъ явленія, а это значитъ, что у лучистаго тепла имѣются качественныя отличія. Есть такіе сорта лучистаго тепла, которые мы можемъ видѣть, и, если мы видимъ ихъ, мы называемъ ихъ свѣтомъ; и есть такіе сорта лучистаго тепла, которые мы не можемъ видѣть, и, если мы не можемъ видѣть ихъ, то мы не называемъ ихъ свѣтомъ, но все еще называемъ ихъ лучистымъ тепломъ; и это, въ концѣ концовъ, кажется мнѣ самой лучшей логикой въ примѣненіи къ этому предмету.

Скажу мимоходомъ, что я не вижу логики между тѣми науками, которыя изучаются въ Бирмингемскомъ и Мидлэндскомъ Институтѣ. Логика есть то же для рѣчи и грамматики, что математика для здраваго смысла; логика есть идеа-

лизированная грамматика. Я надѣюсь, что преуспѣвающій въ грамматикѣ и въ латинскомъ и греческомъ языкахъ студентъ, который нуждается въ логикѣ, можетъ быть, столько же—а можетъ быть, и больше,—какъ и студенты, изучающіе положительныя науки и новые языки, подвинется впередъ и въ логикѣ и будетъ смотрѣть на нее, какъ на науку правильного употребленія словъ, которая должна вести его къ тому, чтобъ онъ въ точности зналъ, что онъ хочетъ сказать ими, когда онъ ихъ употребляетъ. Больше кораблей потерпѣло крушеніе вслѣдствіе дурной логики, чѣмъ вслѣдствіе дурного знанія науки о мореплаваніи. Когда капитанъ записываетъ въ своемъ журналѣ плаванія ¹⁾: «мѣсто корабля такое-то», — то онъ понимаетъ подъ этимъ, что это есть самое вѣроятное положеніе,—положеніе, которое онъ, по предыдущимъ наблюденіямъ, считаетъ самымъ вѣроятнымъ. Послѣ этого, если предположить, что совсѣмъ нельзя было видѣть ни солнца, ни звѣздъ, ни земли, то внимательное наблюденіе скорости и направленія показываетъ при посредствѣ простого счисленія (называемаго на техническомъ языкѣ *счисленіемъ по лагу* [dead-reckoning]), гдѣ находится на слѣдующій день корабль. Но моряки слишкомъ часто забываютъ, что то, что они записали въ журналѣ плаванія, не было истиннымъ мѣстомъ корабля, но было лишь тѣмъ положеніемъ, которое, по ихъ тогдашнимъ свѣдѣніямъ, представлялось наиболѣе вѣроятнымъ, и продолжаютъ идти дальше такъ, какъ будто это было истиннымъ положеніемъ. Они забываютъ значеніе самыхъ словъ, въ которыхъ они сдѣлали запись въ журналѣ плаванія, и благодаря подобной плохой логикѣ больше кораблей набѣжало на скалы, чѣмъ вслѣдствіе какой либо иной оплошности или незнанія мореплаванія. Это именно дурная логика ведетъ къ тому, что довѣряются, плавая по морю, счисленію по лагу; и именно такая дурная логика является при-

¹⁾ Журналъ плаванія, — иначе лагъ-букъ, — по-англійски log, поэтому Томсонъ прибавляетъ, — „я не играю здѣсь словами: лагъ-букъ (log) не имѣетъ никакого отношенія къ логикѣ (logic)». (Прим. перев.).

чиной тѣхъ ужасно частыхъ крушеній въ прочихъ отношеніяхъ хорошо управляемыхъ пароходовъ, которые въ облачную, но совершенно спокойную погоду налетаютъ на скалы въ концѣ длиннаго путешествія. Дать вамъ возможность понимать въ точности значеніе вашего результата, когда вы дѣлаете замѣтку о чемъ нибудь, относящемся къ вашимъ собственнымъ изслѣдованіямъ или опытамъ, и понимать въ точности значеніе того, что вы записываете, — это относится къ области логики. Практическая логика состоитъ въ томъ, чтобы расположить вашу запись такимъ образомъ, чтобы когда вы взглянете на нее впослѣдствіи, она могла вамъ сказать, какое это имѣетъ значеніе,—ни больше, ни меньше; и если вы упражняетесь въ этой практической логикѣ, то вы найдете выгоды, которыя станутъ слишкомъ очевидны, если вы только подумаете о какомъ нибудь научномъ или практическомъ предметѣ, съ которымъ вы хорошо знакомы.

Поэтому можно опасаться неправильнаго употребленія словъ, а вслѣдствіе этого и неправильнаго разсужденія на основаніи ихъ, когда мы говоримъ о свѣтѣ и лучистой теплотѣ; но, если мы дадимъ ясное опредѣленіе свѣта, какъ того, что мы сознательно воспринимаемъ, какъ свѣтъ,—не пытаюсь опредѣлять само сознаніе, потому что мы настолько же не можемъ опредѣлить сознаніе, насколько мы не можемъ опредѣлить свободу воли,—то мы будемъ въ безопасности. Здѣсь нѣтъ вопроса о томъ, чтобы вы, дѣйствительно, нѣчто видѣли: если вы видите нѣчто, то это — свѣтъ. Ну хорошо, а когда же лучистое тепло есть свѣтъ? Лучистое тепло есть свѣтъ, когда соответствующее ему число колебаній въ секунду заключается между 400 милліоновъ милліоновъ и 800 милліоновъ милліоновъ. Когда число колебаній въ секунду меньше 400 милліоновъ милліоновъ, то это не свѣтъ; это—невидимое «инфра-красное» лучистое тепло. Когда его число колебаній въ секунду больше 800 милліоновъ милліоновъ, оно не есть свѣтъ, разъ мы не можемъ его видѣть; это невидимые ультра-фіолетовыя лучи, — по настоящему, лучистое тепло, но обыкновенно оно не называется лучистымъ тепломъ, потому что его тепловое

дѣйствіе извѣстно болѣе теоретически, чѣмъ на основаніи чувственныхъ воспріятій или на основаніи термометрическихъ или термоскопическихъ указаній. Наблюденія, которыя, на самомъ дѣлѣ, были произведены Лэнглемъ и Абнэемъ надъ лучистымъ тепломъ, опускаютъ насъ на октавы три ниже фіолетоваго и мы можемъ надѣяться, что позднѣйшія наблюденія заставятъ насъ опуститься еще значительно ниже. Въ настоящее время мы знаемъ всего около четырехъ октавъ ¹⁾,—т. е. отъ одной до двухъ, отъ двухъ до четырехъ, отъ четырехъ до восьми, отъ восьми до шестнадцати сотъ милліоновъ милліоновъ въ секунду,—лучистаго тепла. Одна октава лучистаго тепла воспринимается глазомъ, какъ свѣтъ, — октава отъ 400 милліонъ милліоновъ до 800 милліонъ милліоновъ. Я заимствуя слово «октава» изъ музыки, не въ какомъ нибудь мистическомъ смыслѣ и не указывая этимъ какое нибудь соотношеніе между гармоніей цвѣтовъ и гармоніей звуковъ. Не существуетъ никакого соотношенія между гармоніей звука и гармоніей цвѣтовъ. Я просто употребляю слово «октава», какъ краткое выраженіе для какого нибудь ряда чиселъ колебаній, лежащихъ между предѣлами, отношеніе которыхъ равно отношенію одного къ двумъ. Если вы удваиваете число колебаній, соотвѣтствующее музыкальной нотѣ, то вы повышаете ее на октаву: въ этомъ смыслѣ я и употребляю въ настоящую минуту это слово по отношенію къ свѣту и ни въ какомъ другомъ смыслѣ. Подумайте, теперь, какая ужасная пропасть лежитъ между 100 милліоновъ милліоновъ въ секунду, которые представляютъ собой почти самую низкую, до сихъ поръ открытую, ноту невидимаго лучистаго тепла, и 10,000 въ секунду, наибольшимъ числомъ колебаній въ секунду, ощущае-

¹⁾ Теперь извѣстно уже болѣе семи октавъ, — отъ длины волны въ 280×10^{-5} см. (Langley, *Phil. Mag.* 26. 505—520, 1888) до длины волны въ 1.82×10^{-5} см. (Schumann, *Photogr. Rundschau*, 4, 71—80, 1890),—отъ числа колебаній въ 11 милліоновъ милліоновъ въ секунду до 15,500 милліоновъ милліоновъ въ секунду,—одна октава въ видимомъ свѣтѣ, болѣе пяти въ ультрафіолетовомъ и немного менѣе полутора въ инфра-красномъ; см. далѣе, прим. 2 на стр. 223 и прим. 1 на стр. 224.

(Прим. перев.).

мыхъ, какъ звукъ. Это—неизвѣстная область науки: изслѣдованіе колебаній между этими двумя предѣлами,—можетъ быть, одна изъ наиболѣе общающихся областей науки для будущаго изслѣдователя ¹⁾).

Въ заключеніе, я хочу развить передъ вами мысль, что всѣ ощущенія имѣютъ отношеніе къ силѣ. Ощущеніе звука, какъ мы видѣли, есть просто ощущеніе весьма быстрыхъ измѣненій давленія воздуха (которое есть сила) на барабанную перепонку уха. Я только назвалъ по имени чувства вкуса и обонянія. Я сказалъ бы, что они суть химическія чувства. Скушайте обыкновенной соли и скушайте сахару,—вы сейчасъ скажете разницу, и воспріятіе этой разницы есть воспріятіе химическаго свойства. Въ этомъ воспріятіи есть тонкое молекулярное вліяніе, зависящее отъ осязанія предмета языкомъ или небомъ и производящее ощущеніе, очень отличное отъ обыкновенно понимаемаго чувства осязанія, которое, какъ мы сейчасъ видѣли, говоритъ намъ только о шероховатости и о

¹⁾ Разрядъ Лейденской банки черезъ катушку изъ очень тонкой и очень длинной проволоки вызываетъ электромагнитныя колебанія, періоды которыхъ, по опредѣленіямъ Гельмгольца (1869) и многихъ другихъ наблюдателей послѣ него, могутъ заключаться для обыкновенныхъ приборовъ между $\frac{1}{1,000}$ и $\frac{1}{10,000}$ секунды. Недавно Герцу (1888) удалось получить и изучить распространеніе колебаній того же рода, но періоды которыхъ представляютъ собою всего около $\frac{1}{100,000,000}$ секунды. Эти колебанія распространяются въ пустотѣ, что отличаетъ ихъ отъ колебаній звуковыхъ, которыя распространяются только въ обыкновенной матеріи; они распространяются со скоростью, до такой степени близкой къ скорости свѣта, что кажется вполне разумнымъ считать ихъ одинаковыми по своей природѣ съ колебаніями лучистаго тепла, — что согласно съ идеей, выраженной Максвеллемъ (1867),—идеей, о которой упоминаетъ сэръ В. Томсонъ въ другомъ своемъ чтеніи (стр. 80).

Предѣлы, въ которыхъ изслѣдованы до сихъ поръ эти колебанія, не очень широки,—отъ длинъ волнъ въ $35\frac{1}{2}$ м. (Blondlot, *Jour. de Phys.*, (2), 10, 549, 1891) до длинъ волнъ въ 17 см. (Lodge, *Nature*, 41, 462—63, 1890), т. е. отъ числа колебаній въ $8\frac{1}{2}$ милліоновъ въ секунду до числа колебаній въ 1,800 милліоновъ въ секунду. (Прим. перев.).

температурѣ. Самое тонкое изъ нашихъ чувствъ есть, можетъ быть, зрѣніе; затѣмъ идутъ обоняніе и вкусъ. Профессоръ Стоксъ недавно говорилъ мнѣ, что онъ скорѣе готовъ смотрѣть на вкусъ, обоняніе и свѣтъ, какъ на непрерывно связанная чувства, потому что всѣ они — молекулярныя, — они имѣютъ дѣло со свойствами матеріи, не въ грубомъ видѣ, но въ ихъ молекулярныхъ взаимодействіяхъ, — онъ скорѣе бы соединилъ вмѣстѣ эти три чувства въ одну группу, чѣмъ бы сочеталъ одно какое нибудь изъ нихъ съ какимъ нибудь изъ остальныхъ чувствъ. Намъ, однако же, нѣтъ необходимости сводить всѣ шесть чувствъ къ одному, но я хотѣлъ бы только указать, что всѣ они имѣютъ отношеніе къ силѣ. Химическое дѣйствіе есть сила, отрывающая молекулы другъ отъ друга, кидающая или толкающая ихъ другъ къ другу; и потому можно смотрѣть на наше химическое чувство или чувства, какъ на имѣющія, — по крайней мѣрѣ, въ этомъ отношеніи, — дѣло съ силой. Что чувства обонянія и вкуса имѣютъ соотношеніе между собой, кажется, очевидно; и, если бы физиологи простили мнѣ, я бы высказалъ мысль, что эти чувства можно бы, безъ большой ошибки, разсматривать, какъ крайности одного чувства. Во всякомъ случаѣ можно сказать объ нихъ слѣдующее: они могутъ быть сравниваемы, — чего нельзя сказать о какихъ либо другихъ двухъ чувствахъ. Вы не можете сказать, что форма куба или шероховатость куска сахара или куска песчаника, сравнима съ температурой горячей воды или похожа на звукъ трубы; или что звукъ трубы похожъ на пурпуровый цвѣтъ, или похожъ на ракету, или похожъ на голубой сигнальный огонь. Нѣтъ никакой сравнимости между какими либо изъ этихъ ощущеній. Но, если кто нибудь скажетъ: «этотъ кусокъ корицы имѣетъ вкусъ, похожій на ея запахъ», то я думаю, что онъ выразитъ нѣчто, испытываемое всѣми. Запахъ и вкусъ перца, мускатнаго орѣха, гвоздики, корицы, ванили, яблокъ, клубники и другихъ пищевыхъ продуктовъ, въ частности, пряностей и фруктовъ, имѣютъ очень ясно выраженныя свойства, по отношенію къ которымъ вкусъ и запахъ являются, повидимому,

существеннымъ образомъ сравнимыми. Мнѣ кажется, — хотя анатомы дѣлаютъ различіе между ними, потому что относящіяся къ нимъ органы ощущеній различны, и потому что они не открыли непрерывности между этими органами, — что мы не будемъ съ философской точки зрѣнія неправы, если скажемъ, что обоняніе и вкусъ суть два крайніе предѣла одного и того-же чувства, — одного рода воспринимательной способности, — чувства химическихъ свойствъ, матеріально намъ представляющихся.

Но ощущеніе свѣта и ощущеніе тепла очень различны, хотя мы не можемъ опредѣлить разницы. Вы ощущаете тепло горячаго тѣла — какимъ образомъ? Черезъ его лучистое тепло, падающее на ваше лицо — это одинъ путь. Но есть еще другой путь, не черезъ лучистое тепло, — путь, о которомъ я буду говорить дальше. Вы ощущаете горячее тѣло зрѣніемъ, но все еще благодаря лучистому теплу; если оно освѣщено свѣтомъ или достаточно горячо, чтобы быть самосвѣтящимся, раскаленнымъ докрасна или добѣла, вы его видите: вы можете сразу видѣть горячее тѣло и ощущать его черезъ его тепло, — инымъ путемъ, чѣмъ зрѣніемъ. Возьмите щипцами кусокъ накаленного докрасна угля, или накаленную докрасна кочергу, и изучайте ее; снесите ее въ темную комнату и смотрите на нее. Втеченіе нѣкотораго времени вы ее видите; по прошествіи нѣкотораго времени вы перестаете видѣть ее, но вы все еще ощущаете лучистое тепло отъ нея. Ну вотъ, вашимъ глазомъ и лицомъ и руками ощущалось все время лучистое тепло; но это лучистое тепло чувствуется только черезъ ощущеніе температуры, когда горячее тѣло перестаетъ быть раскаленнымъ докрасна. Слѣдовательно, что касается до нашихъ чувствъ, то есть безусловное различіе въ ощущеніяхъ лучистой теплоты въ ея видимой и невидимой разновидности, являющихся непрерывными по внѣшней природѣ предмета. Я не могу требовать отъ анатомовъ, чтобы они допустили, что тепло дѣйствуетъ на наши чувства одинаковымъ образомъ въ обоихъ случаяхъ. Въ настоящее время они, во всякомъ случаѣ, не могутъ сказать, что существуетъ безусловная непрерывность между слѣдующей оболочкой глаза по отношенію къ воспрія-

тію ею лучистаго тепла, какъ свѣта, и кожей руки по отношенію къ воспріятію ею лучистаго тепла, какъ тепла. Мы, можетъ быть, дойдемъ до того, что будемъ знать больше; можетъ оказаться, что существуетъ здѣсь непрерывность. Нѣкоторыя изъ высокихъ спекулятивныхъ размышленій Дарвина могутъ стать для насъ реальностями; и мы можемъ дойти до того, что признаемъ, что можно на всей поверхности тѣла культивировать сѣтчатую оболочку. Мы еще не достигли этого ¹⁾, но великая идея Дарвина является вызывающею въ насъ мысль, что можетъ существовать безусловная непрерывность между воспріятіемъ лучистаго тепла сѣтчатой оболочкой глаза и воспріятіемъ его тканями и нервами, принимающими участіе въ простомъ ощущеніи тепла. До того времени мы, однако, должны довольствоваться тѣмъ, что различаемъ чувства свѣта и тепла. И, въ самомъ дѣлѣ, нужно замѣтить, наше чувство тепла вызывается не только лучистымъ тепломъ,—

¹⁾ У нѣкоторыхъ низшихъ животныхъ, лишенныхъ отдѣльнаго органа, предназначеннаго для зрѣнія, эпидерма, на болѣе или менѣе обширной части ея поверхности, чувствительна къ свѣтовому возбужденію; строеніе чувствительныхъ частей представляетъ дѣйствительную аналогію съ строеніемъ сѣтчатой оболочки позвоночныхъ животныхъ. Одинъ морской моллюскъ, фоллада, представляетъ интересный примѣръ этого: эпидерма всей части оболочки, выходящей за раковину, есть постоянная сѣтчатая оболочка, позволяющая животному не только отличать свѣтъ отъ темноты, но и схватывать въ свѣтѣ, падающимъ на него, различія въ напряженіи и даже въ цвѣтѣ; ощущеніе выражается болѣе или менѣе быстрымъ втягиваніемъ чувствительной части, представляющей родъ пальца, выступающаго за раковину, и называемаго *сифономъ*; ультра-фіолетовые и инфракрасные лучи не оказываютъ вліянія на эпидерму сифона. См. по поводу этого Дюбуа, „Новая теорія механизма свѣтовыхъ ощущеній“ (Nouvelle theorie du mecanisme des sensations lumineuses) Revue générale des Sciences pures et appliquées, т. I, стр. 198. Трудно, однако, рѣшить, играетъ ли здѣсь роль зрительное ощущеніе, или тепловое; ибо какое либо тѣло чувствительно только къ своей собственной температурѣ и, чтобы оно было чувствительно къ лучамъ, заключеннымъ между опредѣленными предѣлами, вслѣдствіе производимаго ими *тепла*, достаточно, чтобы ткани производили *избирательное тепловое* поглощеніе этихъ самыхъ лучей и были бы совершенно теплопрозрачны для другихъ. (Прим. перев.)

между тѣмъ, какъ единственнымъ и существеннымъ образомъ лучистое тепло даетъ ощущеніе свѣта сѣтчатой оболочкѣ. Держите вашу руку подъ накаленной докрасна кочергой въ темной комнатѣ: вы ощущаете, что она накалена, единственно вслѣдствіе ея лучистой теплоты и вы видите ее тоже вслѣдствіе ея лучистой теплоты. Помѣстите теперь руку надъ нею,— вы ощущаете больше тепла. Теперь, въ дѣйствительности, вы ощущаете ея теплоту тремя путями—соприкосновеніемъ съ нагрѣтымъ воздухомъ, который поднялся отъ кочерги, лучистымъ тепломъ, ощущаемымъ вашимъ чувствомъ тепла, и лучистымъ тепломъ, видимымъ, какъ свѣтъ (такъ какъ желѣзо все еще накалено докрасна). Но ощущеніе тепла одинаково вездѣ и есть извѣстное дѣйствіе, испытываемое тканью независимо отъ того, будетъ ли оно вызываться лучистымъ тепломъ или соприкосновеніемъ съ нагрѣтыми частицами воздуха.

Наконецъ, остается—а я боюсь, что я уже слишкомъ долго испытывалъ ваше терпѣніе—чувство силы. На меня сильно нападали за провозглашеніе этого шестого чувства. Мнѣ не приходится ни вступать въ пререканія, ни пытаться объяснять вамъ, на какой почвѣ на меня нападали; на самомъ дѣлѣ, я не могъ бы сдѣлать это, потому что, читая эти нападки, я самъ не могъ понять ихъ. Единственной, можетъ быть, доступной для возраженій почвой было то обстоятельство, что одинъ писатель напечаталъ эту теорію въ Нью-Йоркѣ въ 1880 году. Я цитировалъ д-ра Томаса Рейда, не указывая года; годъ этотъ, по всей вѣроятности, есть 1780 или около того!! Но физиологи съ большимъ рвеніемъ противились допущенію, что чувство шероховатости есть то же самое, что то мускульное чувство, которое преподавали метафизики, послѣдовавшіе за докторомъ Томасомъ Рейдомъ въ Глазговскомъ университетѣ. Это въ Глазговскомъ университетѣ я узналъ о мускульномъ чувствѣ и я не слышалъ, чтобы о немъ очень ясно излагалось гдѣ нибудь въ другомъ мѣстѣ. Что же такое это мускульное чувство? Я нажимаю рукой на кафедру, находящуюся передо мною, или я иду впередъ въ темнотѣ, протягивая свою руку и пользуясь этимъ средствомъ, чтобы ощупью узнавать дорогу, какъ постоянно

дѣлаетъ слѣпой, распознающей, гдѣ онъ находится, и находящей себѣ дорогу при помощи чувства осязанія. Я иду до тѣхъ поръ, пока я не ощушу препятствія при посредствѣ чувства силы въ ладони руки. Какимъ образомъ и гдѣ я воспринимаю это ощущение? Анатомы скажутъ вамъ, что оно чувствуется въ мускулахъ руки. Слѣдовательно, здѣсь есть сила, ощущаемая мною въ мускулахъ руки, и соотвѣтствующая воспринимательная способность довольно подходящимъ образомъ названа мускульнымъ чувствомъ. Но возьмите теперь кончикъ вашего пальца и потрите кусокъ песчаника или кусокъ сахара или гладкій столъ. Возьмите кусокъ сахара между вашимъ большимъ и однимъ изъ остальныхъ пальцевъ и возьмите кусокъ гладкаго стекла между вашимъ большимъ и однимъ изъ остальныхъ пальцевъ. Вы ощущаете разницу. Въ чемъ же разница? Въ чувствѣ шероховатости, отличаемой отъ гладкости. Физиологи и анатомы употребляютъ для обозначенія его слово «осязательное» ¹⁾ чувство. Я признаюсь, что это не много говоритъ моему уму. «Осязательное» есть просто «осязанія или принадлежащее къ осязанію», и, говоря, что мы воспринимаемъ шероховатость и гладкость осязательнымъ чувствомъ, мы остаемся на томъ мѣстѣ, гдѣ мы были. На насъ не проливаетъ никакого свѣта то, что намъ скажутъ, что есть осязательное чувство, какъ подраздѣленіе нашего чувства осязанія. Но я говорю, что то, о чемъ идетъ рѣчь, есть чувство силы. Мы не можемъ это устранить: это есть чувство силы,—направленій силъ и мѣста приложенія силъ. Если мѣста приложенія силъ суть ладони двухъ рукъ, то мы соотвѣтственно этому воспринимаемъ,—и сознаемъ, что воспринимаемъ,—въ мускулахъ рукъ дѣйствіе большихъ давленій на ладони рукъ. Но, если мѣста приложенія—сотня небольшихъ площадокъ на одномъ пальцѣ, мы всетаки воспринимаемъ дѣйствіе, какъ силу. Мы дѣлаемъ различіе между равномерно распределенной силой, вродѣ силы отъ куска гладкаго стекла, и силами, распределенными на десяткѣ

¹⁾ или «чисто осязательное чувство».

(Прим. перев.).

или сотнѣ небольшихъ площадокъ. И это есть чувство гладкости и шероховатости. Чувство шероховатости, поэтому, есть чувство силъ и мѣста приложенія силъ точно такъ же, какъ чувство силъ въ вапихъ двухъ рукахъ, когда ихъ растягиваютъ, есть чувство силъ, мѣста приложенія которыхъ находятся на разстояніи шести футовъ другъ отъ друга. Будутъ ли мѣста приложенія на разстояніи шести футовъ, или будутъ они на разстояніи со-той дюйма ¹⁾, все таки именно съ чувствомъ силы, и мѣста приложенія силъ, и направленій силъ, мы имѣемъ дѣло въ чувствѣ осязанія, какъ отличающемся отъ чувства тепла. Пусть анатомы и физиологи имѣютъ полное право дѣлать различіе между родами возбужденія тканей въ пальцѣ и въ тончайшихъ нервахъ кожи пальца и слоевъ подъ нею, которыми мы ощущаемъ шероховатость и гладкость, въ одномъ случаѣ,—и въ мускулахъ, которыми вы ощущаете далеко отстояція мѣста приложенія, въ другомъ случаѣ. Однако, будутъ ли силы такъ близки, что анатомы не могутъ различить мускуловъ,—не могутъ указать мускуловъ, сопротивляющихся силамъ и ихъ уравнивающихъ,—ибо, вспомните, когда вы берете кусокъ стекла въ ваши пальцы, каждая часть давленія на каждую сто-тысячную дюйма, придавливаемую стекломъ къ пальцу, есть уравниваемая сила,—или будутъ ли онѣ далеко другъ отъ друга и, очевидно, уравниваемы тогда мускулами двухъ рукъ, ощущенія—одинаковаго рода. Анатомы не указываютъ намъ мускуловъ, уравнивающихъ отдѣльныя силы, испытываемыя небольшими площадками самого пальца, когда мы осязаемъ кусокъ гладкаго стекла, или отдѣльныя силы, на десяткахъ или сотняхъ небольшихъ площадокъ, которыя мы испытываемъ, когда осязаемъ кусокъ шероховатаго сахара или шероховатаго песчаника; и можетъ быть, что съ этой множественностью имѣютъ дѣло мускулы, которые не меньше, чѣмъ мускулы пальца, взятаго, какъ цѣлое; и можетъ быть, съ другой стороны, что эти нервы и

¹⁾ 6 футовъ=1.8 метра; $\frac{1}{100}$ дюйма= $\frac{1}{4}$ миллиметра.

(Прим. перев.).

ткани непрерывны по своимъ качествамъ съ мускулами. Я захожу за предѣлы моего предмета каждый разъ, какъ я говорю о мускулахъ и нервахъ; но, съ внѣшней стороны, чувство осязанія, отличное отъ чувства тепла, представляется одинаковымъ во всѣхъ случаяхъ—это есть чувство силъ и мѣсть приложенія силъ и направленій силъ. Я надѣюсь, что я теперь оправдалъ существованіе этого шестого чувства,—и что я не напрасно испытывалъ ваше терпѣніе тѣмъ, что не сдѣлалъ этого въ меньшемъ числѣ словъ.

Волновая теорія свѣта.

[Лекція, прочитанная 29-го сентября 1884 г. въ Академіи Музыки, въ Филадельфіи, подъ покровительствомъ Франклиновскаго Института (Franklin Institute)].

Предметъ, о которомъ я буду говорить вамъ въ этотъ вечеръ, къ счастью для меня, не новъ въ Филадельфіи. Прекрасныя лекціи по оптикѣ, читанныя нѣсколько лѣтъ тому назадъ Муртономъ, президентомъ Стевенсовскаго Института [Stevens' Institute], и рядъ такъ удивительно иллюстрированныхъ опытами лекцій по тому же предмету профессора Тиндалля, которыя многіе изъ здѣсь присутствующихъ слышали, вполне приготовили васъ ко всему тому, что я могу сказать вамъ сегодня по отношенію къ волновой теоріи свѣта.

У меня очень скромная задача,—изложить вамъ только нѣкоторыя математическія и механическія детали этой великой теоріи. Я не могу имѣть удовольствія иллюстрировать вамъ ихъ чѣмъ либо, сравнимымъ съ тѣми блестящими и поучительными опытами, которые многіе изъ васъ уже видѣли. Меня удовлетворяетъ то, что я знаю, что многіе изъ здѣсь присутствующихъ настолько вполне подготовлены къ пониманію всего того, что я могу сказать, что видѣвшіе эти опыты не почувствуютъ отсутствія ихъ въ настоящее время. Въ то же время я желаю сдѣлать ихъ понятными для тѣхъ, кто не имѣлъ преимущества прослушать систематическій курсъ лекцій. Я долженъ прежде всего, безъ дальнѣйшихъ предисловій, такъ какъ время невелико, а предметъ длиненъ, сказать просто, что звукъ и свѣтъ

зависятъ оба отъ колебаній, распространяющихся на подобіе волнъ; и я постараюсь прежде всего опредѣлить способъ распространенія и родъ движенія, составляющіе эти два предмета нашихъ ощущеній, ощущенія звука и ощущенія свѣта.

И свѣтъ, и звукъ зависятъ отъ колебаній, но колебанія свѣтотворныя сильно отличаются отъ колебаній звуковыхъ. То небольшое, что я могу вамъ наиболее легко объяснить изъ механическаго и математическаго изслѣдованія этихъ двухъ родовъ колебаній, это—что есть большая разница въ частотѣ свѣтовыхъ колебаній по сравненію съ частотой звуковыхъ колебаній. Слово «частота» [frequency], по отношенію къ колебаніямъ, представляетъ собою удобный терминъ, примѣненный лордомъ Рэлемъ въ его книгѣ о звукѣ, какъ выраженіе для опредѣленнаго числа полныхъ колебаній колеблющагося тѣла въ единицу времени. Разсмотримъ, поэтому, по отношенію къ звуку, частоту колебаній нотъ, которыя, какъ вы всѣ знаете, обозначаются въ музыкѣ буквами и слогами для пѣнія: do, re, mi и т. д. Ноты музыкальной школы соотвѣтствуютъ различнымъ частотамъ колебаній. Извѣстная нота и нота, октавой выше ея, соотвѣтствуютъ извѣстному числу колебаній въ секунду и удвоенному этому числу.

Мнѣ слѣдуетъ прежде всего объяснить вамъ ноту, называемую «С»¹⁾; я говорю о среднемъ «С»; мнѣ кажется, что именно С тенороваго голоса ближе всего приближается къ тонамъ, употребляемымъ во время разговора. Эта нота соотвѣтствуетъ двумстамъ пятидесяти шести полнымъ колебаніямъ въ секунду—двумстамъ пятидесяти шести разамъ туда и назадъ въ секунду времени.

Представьте себѣ одно колебаніе въ секунду времени. Секундный маятникъ часовъ совершаетъ одно колебаніе въ двѣ секунды или полъ-колебанія, въ одномъ направленіи, въ секунду. Возьмите десяти-дюймовый²⁾ маятникъ комнатныхъ часовъ, колеблющійся вдвое скорѣе маятника обыкновенныхъ

¹⁾ = do.

²⁾ Двадцати пяти сантиметровый.

(Прим. перев.).

(Прим. перев.).

часовъ съ недѣльнымъ заводомъ,—онъ даетъ колебанія односекундныя, полный періодъ, туда и назадъ, односекундный. Теперь представьте себѣ три колебанія въ секунду. Я могу двигать мою руку три раза въ секунду легко, а употребивъ громадное усиліе, я могу двинуть ее пять разъ туда и назадъ въ секунду. Съ силою, въ четыре раза большею,—если бы я могъ приложить таковую,—я могъ бы двинуть руку дважды пять разъ въ секунду.

Но вотъ, представимъ себѣ чрезвычайно мускулистую руку, которая могла бы колебаться десять разъ въ секунду, т. е. десять разъ направо и десять разъ направо. Представьте себѣ такихъ колебаній дважды десять въ секунду, т. е. двадцать въ секунду,—они потребовали бы въ четыре раза больше силы; три раза десять или тридцать въ секунду потребовали бы въ девять разъ больше силы. Если бы человѣкъ былъ въ девять разъ сильнѣе, чѣмъ, можетъ быть, тотъ, у кого самая мускулистая рука, онъ могъ бы колебать свою руку туда и назадъ тридцать разъ въ секунду и безъ всякаго другаго музыкальнаго инструмента могъ бы издавать движеніемъ своей руки музыкальную ноту, которая соотвѣтствовала бы одной изъ педалей нотъ органа.

Если вы желаете узнать длину педалейной трубы, вы можете вычислить ее слѣдующимъ образомъ. Есть нѣсколько чиселъ, которыя вы должны запомнить, и одно изъ нихъ есть слѣдующее. Вы въ этой странѣ подвергаетесь британской изолированности въ вѣсахъ и мѣрахъ; вы употребляете футъ, дюймъ, ярдъ. Я принужденъ употреблять эту систему, но я извиняюсь предъ вами за то, что дѣлаю это, потому что она чрезвычайно неудобна, и я надѣюсь, что всѣ американцы сдѣлаютъ все, что въ ихъ власти, чтобы ввести французскую метрическую систему. Я надѣюсь, что можно исправить зло, сдѣланное однимъ англійскимъ министромъ, имя котораго мнѣ не слѣдуетъ упоминать, потому что я не желаю ни въ кого кидать упрёки. Онъ отмѣнилъ полезное правило, которому нѣкоторое время слѣдовали, и которое, я надѣюсь, скоро будетъ опять восстановлено,—правило, чтобы французскую метрическую систему

преподавали во всѣхъ нашихъ народныхъ школахъ [national schools]. Я не знаю, какъ обстоитъ дѣло въ Америкѣ. Здѣшняя школьная система мнѣ кажется очень замѣчательной, и я надѣюсь, что въ американскихъ школахъ такъ же не упустятъ изъ виду преподаванія метрической системы, какъ и употребленія глобусовъ. Я говорю это серьезно. Я не думаю, чтобы кто либо зналъ, насколько серьезно я говорю объ этомъ. Я смотрю на нашу английскую систему, какъ на злое головоломное произведеніе рабства, подъ игомъ котораго мы страдаемъ. Причина, почему мы продолжаемъ употреблять эту систему, есть мнимое затрудненіе сдѣлать измѣненіе—и ничего больше; но я не думаю, чтобы въ Америкѣ какое нибудь затрудненіе такого рода могло стать на пути къ принятію до такой степени блистательно полезной реформы.

Я знаю скорость звука въ футахъ въ секунду. Если я припоминаю вѣрно, она равна 1,089 футовъ въ секунду въ сухомъ воздухѣ при температурѣ замерзанія и 1,115 футовъ въ секунду въ воздухѣ при температурѣ, которую мы называемъ средней, 59 или 60 градусовъ ¹⁾, (я не знаю, достигается ли когда нибудь такая температура въ Филадельфії или нѣтъ; я не испытывалъ ея, но нѣкоторые лица говорили мнѣ, что въ Филадельфії иногда бываетъ 59 или 60 градусовъ, и я имъ вѣрю)—въ круглыхъ числахъ назовемъ эту скорость тысячею футовъ въ секунду. Иногда мы называемъ ее тысячею музыкальныхъ футовъ въ секунду ²⁾, — это спасаетъ отъ хлопотъ при вычисленіи длины органныхъ трубъ; время колебанія органной трубы ³⁾ есть время, которое требуется, чтобы

¹⁾ Фаренгэйтъ; 15 или $15\frac{5}{9}$ градусовъ Цельзія. (Прим. перев.).

²⁾ Англійскій футъ = 0.3048 метра; слѣд., вышеуказанныя скорости звука равны соответственно 331.9 метра и 339.8 метра въ секунду, а потому «музыкальный футъ» можно принять равнымъ 0.34 метра, такъ какъ всѣ дальнѣйшія числа только приблизительны (вслѣдствіе необходимости поправки, относящейся къ амбушюрѣ). Во избѣжаніе слишкомъ частыхъ выносокъ, значенія длинъ трубъ въ метрахъ помѣщены въ текстѣ, въ круглыхъ скобкахъ.

(Прим. перев.).

³⁾ Открытой.

(Прим. перев.).

колебаніе могло пробѣжать отъ одного конца ея до другого и обратно. Въ органной трубѣ въ 500 футовъ (170 м.) длиною, число колебаній было бы равно одному въ секунду; въ органной трубѣ въ 10 футовъ (3.4 м.) длиною, число колебаній было бы 50 въ секунду; въ органной трубѣ въ 20 футовъ (6.8 м.) длиною, оно было бы 25 въ секунду. Такимъ образомъ, частоты 25 въ секунду и 50 въ секунду соотвѣтствуютъ числамъ колебаній въ органныхъ трубахъ въ 20 футовъ и 10 футовъ (6.8 и 3.4 метра).

Періодъ колебанія органной трубы, открытой съ обоихъ концовъ, есть, приблизительно, то время, которое беретъ звукъ, чтобы пройти отъ одного конца до другого и обратно. Вы помните, что скорость въ сухомъ воздухѣ въ трубѣ, длиною въ 10 футовъ, немного больше 50 періодовъ въ секунду ¹⁾; если мы поднимемся вверхъ до 256 періодовъ въ секунду, то колебанія соотвѣтствуютъ колебаніямъ трубы въ два фута (0.68 м.) длиною. Возьмемъ 512 періодовъ въ секунду; это соотвѣтствуетъ трубѣ, около фута (0.34 м.) длиною. Въ флейтѣ, открытой съ обоихъ концовъ, отверстія расположены такъ, что для одной изъ главныхъ «открытыхъ нотъ» длина звуковой волны — около одного фута. Болѣе высокія музыкальныя ноты соотвѣтствуютъ все большей и большей частотѣ колебаній, а именно 1,000, 2,000, 4,000 колебаній въ секунду; 4,000 колебаній въ секунду соотвѣтствуетъ флейтѣ пикколо чрезвычайно небольшой длины; она была бы длиною только въ полтора дюйма (0.04 м.). Представьте себѣ ноту собачьяго свистка [dog-call] или другого какого нибудь свистка, открытаго съ обоихъ концовъ, или небольшого ключа, имѣющаго трубку въ три четверти дюйма (0.02 м.) длиною и закрытую съ одного конца,—вы будете тогда имѣть 4,000 колебаній въ секунду.

Длина волны звука есть разстояніе, на которое передается колебаніе въ періодъ одного колебанія. Я иллюстрирую вамъ, что такое эти звуковыя колебанія, при помощи этого сгуще-

¹⁾ Здѣсь Томсонъ или подъ «скоростью» разумѣетъ время распространія колебанія отъ одного конца трубы до другого и обратно, или поставилъ «періодовъ» вмѣсто «длинъ волнъ» (Прим. перев.).

нія, пробѣгающаго вдоль нашего рисунка на экранѣ. Звучащимъ тѣломъ непрерывно производятся поочередныя сгущенія и разрѣженія воздуха. Когда я съ силою провожу рукой въ одномъ направленіи, воздухъ передъ нею становится сгущеннымъ, а воздухъ съ другой стороны становится разрѣженнымъ. Когда я двигаю руку въ другомъ направленіи, получается обратное,—получается распространеніе сгущенія отъ того мѣста, гдѣ моя рука движется въ одномъ направленіи и затѣмъ мѣняетъ его на обратное. За каждымъ сгущеніемъ идетъ слѣдомъ разрѣженіе. Разрѣженіе слѣдуетъ за сгущеніемъ съ промежутками въ половину того, что мы называемъ «длиной волны». Сгущеніе слѣдуетъ за сгущеніемъ на полномъ разстояніи длины волны.

Мы имѣемъ здѣсь эти свѣтлыя частицы на этой линейкѣ¹⁾, представляющія соприкасающіяся вплотную частицы болѣе плотнаго воздуха; нѣсколько выше надъ этимъ,—частицы воздуха, менѣе плотнаго. Теперь я медленно поворачиваю ручку прибора въ фонарѣ и вы видите, какъ свѣтлый секторъ, указывающій сгущеніе, медленно подвигается вверхъ на экранѣ; теперь у васъ получилось еще одно сгущеніе, составляющее, вмѣстѣ съ первымъ, одну длину волны.

Этотъ рисунокъ или картина изображаетъ длину волны въ четыре фута (1.36 м.). Онъ изображаетъ звуковую волну, въ четыре фута длиною. Четвертая часть тысячи есть 250. То, что вы видите теперь на линейкѣ, представляетъ собой низшую ноту С тенороваго голоса. Воздухъ кругомъ рта пѣвца поочередно сгущается и разрѣжается, какъ вы видите здѣсь. Но эта послѣдовательность сгущеній и разрѣженій летитъ впередъ со скоростью около одной тысячи футовъ (340 м.) въ секунду; точный періодъ движенія есть 256 колебаній въ секунду для настоящаго случая, находящагося передъ вами.

¹⁾ Рѣчь идетъ о движущейся діаграммѣ волнообразнаго звукового движенія, которая получается отъ передвижанія рисунка волны, сдѣланнаго на пластинкѣ, передъ фонаремъ для проектированія.

(Прим. автора).

Прослѣдите за одной частицей воздуха, составляющей часть звуковой волны, представляемой этими движущимися пятнышками свѣта на экранѣ; теперь она двигается направо, причемъ слѣдующая за нею другая частица движется съ большею быстротою; теперь первая частица достигаетъ наибольшей своей скорости при движеніи вправо и перегоняетъ слѣдующую за нею, которая раньше достигла максимальной скорости. Такимъ образомъ мы видимъ, что максимумъ сгущенія образуется въ каждой небольшой части воздуха, когда эта часть движется съ максимальной скоростью *впередъ*, или въ томъ направленіи, въ какомъ распространяется волна. Максимумъ разрѣженія вы видите теперь, когда эта первая часть скорѣе всего движется *налѣво*. Когда, какъ вы теперь видите, эта часть на мгновеніе приходитъ въ покой, она имѣетъ свою среднюю плотность, но затѣмъ она становится снова болѣе плотной, потому что соедня съ нею часть воздуха съ лѣвой стороны раньше прекратила движеніе *налѣво* и начала двигаться направо. Вы видите такимъ образомъ, какъ эти сгущенія и разрѣженія непрерывно переходятъ вправо, между тѣмъ какъ каждая частица воздуха движется поочередно направо и *налѣво*, на очень короткія разстоянія по обѣ стороны отъ ея средняго положенія.

Я покажу вамъ различіе между этими колебаніями и колебаніями свѣтовыми. Вотъ закрѣпленное расположеніе частицъ, когда онѣ смѣщены, но не движутся. Вы можете вообразить эти частицы частицами вещества, движеніе котораго составляетъ свѣтъ. Это вещество мы называемъ свѣтоноснымъ эфиромъ. Это есть единственное вещество, къ которому мы можемъ вполне примѣнять законы механики. Мы увѣрены въ реальности и вещественности свѣтоноснаго эфира. Этотъ приборъ есть просто приспособленіе, дающее движеніе чертежу, нарисованному съ цѣлью иллюстрировать волнообразное движеніе свѣта. Я вамъ покажу то же самое на неподвижномъ рисункѣ, но это приспособленіе показываетъ родъ движенія.

Прослѣдите теперь движеніе каждой частицы. Это предста-

вляеть частицу свѣтоноснаго эфира, движущуюся съ наибольшей скоростью, когда она находится въ среднемъ положеніи.

Вы видите эти два рода колебаній ¹⁾, звука и свѣта, движущихся теперь вмѣстѣ; вы видите передвиженіе волны сгущенія и разрѣженія, и передвиженіе волны поперечнаго перемѣщенія. Замѣтьте направленіе распространенія. Здѣсь оно будетъ, когда вы смотрите на него, съ вашей лѣвой стороны къ вашей правой. Взгляните на движеніе, когда оно становится быстрѣе. Теперь у насъ направленіе противоположное. Распространеніе волны происходитъ справа налѣво,—а теперь, снова, распространеніе волны происходитъ слѣва направо; каждая частица движется перпендикулярно къ линіи распространенія.

Я далъ вамъ иллюстрацію колебаній звуковыхъ волнъ, но я долженъ сказать вамъ, что движенія, иллюстрирующія сгущеніе и разрѣженіе и изображенныя на этихъ подвижныхъ чертежахъ, по необходимости очень сильно преувеличены, чтобы сдѣлать движеніе замѣтнымъ, потому что наибольшее сгущеніе въ дѣйствительномъ звуковомъ движеніи не больше одного, двухъ процентовъ, или части процента. За исключеніемъ того, что размѣръ сгущенія былъ преувеличенъ въ рисунокѣ для звука, вы имѣете въ этомъ чертежѣ правильное изображеніе того, что дѣйствительно имѣетъ мѣсто, когда звучитъ нота низкое С.

Съ другой стороны, что было у насъ въ подвижномъ рисунокѣ, изображающемъ свѣтовые волны? У насъ было большее преувеличеніе наклоненія линіи частицъ. Вы должны сначала вообразить рядъ частицъ на прямой линіи и затѣмъ вы должны вообразить ихъ смѣщенными въ кривую волны; причемъ форма кривой соотвѣтствуетъ смѣщенію. Послѣ того, какъ вы видѣли, что такое распространеніе волнъ, взгляните на этотъ рисунокъ, а затѣмъ взгляните на тотъ. Это въ свѣтѣ соотвѣтствуетъ различнымъ звукамъ, о которыхъ я говорилъ сначала. Длина волны свѣта есть разстояніе отъ гребня до

¹⁾ Лекторъ показываетъ на экранѣ, одновременно, два подвижныхъ рисунка,—одинъ, изображающій волнообразное движеніе свѣта, другой—звуковое колебаніе.
(Прим. автора).

гребня волны или отъ углубленія до углубленія. Я говорю о гребняхъ и углубленіяхъ, потому что у насъ на рисунокѣ, какъ онъ помѣщенъ, есть верхи и низы.



Рис. 46. Волны краснаго свѣта.



Рис. 47. Волны фіолетоваго свѣта.

Итакъ, вотъ—длина волны ¹⁾. На этомъ нижнемъ рисунокѣ (рис. 47) вы имѣете длину волны фіолетоваго свѣта. Она равна половинѣ длины волны краснаго цвѣта; періодъ колебанія этой волны составляетъ только половину періода верхней волны. Теперь тамъ, въ громадномъ масштабѣ, преувеличенномъ не только по отношенію къ покатости, но также очень сильно преувеличенномъ по отношенію къ длинѣ волны, мы имѣемъ изображеніе волнъ фіолетоваго свѣта. Рисунокъ, обозначенный «красный» (рис. 46), соотвѣтствуетъ красному свѣту, а этотъ нижній рисунокъ соотвѣтствуетъ фіолетовому свѣту. Верхняя кривая, дѣйствительно, соотвѣтствуетъ лучамъ, приходящимся немного ниже краснаго свѣта въ спектрѣ, а нижняя кривая соотвѣтствуетъ лучамъ, слѣдующимъ за фіолетовыми. Различіе длинъ волны у самыхъ крайнихъ лучей находится въ отношеніи четырехъ съ половиной для краснаго къ восьми у фіолетоваго, вмѣсто четырехъ къ восьми; красныя волны относятся къ фіолетовымъ, приблизительно, какъ одинъ къ двумъ.

Чтобы сдѣлать сравненіе между числомъ колебаній зву-

¹⁾ Лекторъ показываетъ большой рисунокъ, изображающій волны краснаго и фіолетоваго свѣта (воспроизведено на рис. 46 и 47).

(Прим. автора).

ковыхъ волнъ и числомъ колебаній, соотвѣтствующихъ свѣтовымъ волнамъ, я могу сказать, что 30 колебаній въ секунду представляетъ собою, приблизительно, самое небольшое число, которое можетъ вызвать музыкальный звукъ; 50 колебаній въ секунду даютъ одну изъ низкихъ педальныхъ нотъ органа, 100 или 200 въ секунду даютъ наиболѣе низкія ноты бассоваго голоса, а болѣе высокія ноты отвѣчаютъ числамъ колебаній 250 въ секунду, 300 въ секунду, 1,000 колебаній, 4,000 и до 8,000 въ секунду даютъ почти наиболѣе рѣзкія ноты, слышимыя человѣческимъ ухомъ.

Вмѣсто чиселъ, которыя мы имѣемъ, скажемъ, въ наиболѣе обыкновенно употребляемой части музыкальной шкалы, т. е. отъ 200 или 300 до 600 или 700 въ секунду, мы имѣемъ милліоны милліоновъ колебаній въ секунду въ свѣтовыхъ волнахъ: это значитъ, вмѣсто 400 въ секунду мы имѣемъ 400 милліоновъ милліоновъ въ секунду, — число, представляющее собой число колебаній, соотвѣтствующихъ красному свѣту.

Появленіе краснаго свѣта, проходящаго черезъ пространство отъ самой отдаленной звѣзды, есть слѣдствіе распространенія его волнами или колебаніями, при которыхъ каждая отдѣльная частица передающей среды колеблется туда и назадъ 400 милліоновъ милліоновъ разъ въ секунду.

Нѣкоторые люди говорятъ, что они не могутъ понять милліона милліоновъ. Эти люди не могутъ понять, что дважды два будетъ четыре. Вотъ какъ я отвѣчаю людямъ, которые толкуютъ мнѣ о непонятности такихъ большихъ чиселъ. Я говорю, что *конечность* — непонятна, *бесконечность* же вселенной — *понятна*. Приложите хоть нѣсколько логики къ этому разсужденію. Развѣ отрицаніе бесконечности непонятно? Что бы вы подумали о вселенной, въ которой вы могли бы пройти одну, десять или тысячу миль, или даже до Калифорніи, и затѣмъ нашли бы, что она пришла къ концу? Можете вы предположить конецъ матеріи или конецъ пространству? Самая мысль эта непонятна. Если бы даже для этого вамъ нужно было идти милліоны и милліоны миль, — всетаки мысль прійти къ концу непонятна. Вы можете такъ же легко понять тысячу разъ въ се-

кунду, какъ вы можете понять одинъ разъ въ секунду. Вы можете перейти отъ одного къ десяти, къ десяти разъ десяти, затѣмъ къ тысячѣ, не насилуя вашего пониманія, и можете затѣмъ продолжать такъ до тысячи милліоновъ и милліона милліоновъ. Вы всё можете понять это.

Вотъ, 400 милліоновъ милліоновъ колебаній въ секунду и представляетъ собою нѣкоторый факторъ при освѣщеніи краснымъ свѣтомъ. Фиолетовый свѣтъ, — мнѣ нѣтъ надобности говорить вамъ это послѣ того, что мы видѣли и что было иллюстрировано этой кривой (рис. 47), — соотвѣтствуетъ, приблизительно, 800 милліоновъ милліоновъ колебаній въ секунду. Существуютъ тоже сорта свѣта, которые вызываются колебаніями гораздо большей частоты и гораздо меньшей частоты, чѣмъ эта, и существованіе которыхъ мы можемъ прослѣдить. Вы можете вообразить себѣ колебанія, имѣющія частоту, раза въ два большую, чѣмъ у фиолетоваго свѣта, и другія колебанія, частота которыхъ составляетъ около одной пятнадцатой частоты краснаго цвѣта, и все еще вы не перейдете предѣловъ протяженія того непрерывнаго явленія, только часть котораго составляетъ *видимый* свѣтъ.

Когда мы идемъ внизъ за видимый красный свѣтъ, что мы находимъ? Мы находимъ нѣчто, чего мы не видимъ глазомъ, нѣчто, чего обыкновенный фотографъ не проявляетъ на своихъ чувствительныхъ, съ фотографической точки зрѣнія, пластинкахъ. Это есть свѣтъ, но мы не видимъ его. Это есть нѣчто, находящееся въ до такой степени тѣсной и непрерывной связи съ *видимымъ* свѣтомъ, что мы можемъ опредѣлить его названіемъ *невидимаго* свѣта. Его обыкновенно называютъ лучистымъ тепломъ, — невидимымъ лучистымъ тепломъ. Можетъ быть, на этомъ тернистомъ пути логики, когда намъ въ лицо летятъ трудныя слова, наименѣе затруднительный способъ говорить объ этомъ есть называть это лучистымъ тепломъ. Тепловое дѣйствіе, которое вы испытываете, когда вы проходите около большого горячаго пламени угля или около горячаго параваго котла; или когда проходите около, — но не выше, — ряда трубъ съ горячей водой, употребляемыхъ для отопленія

дома; то, что мы ощущаемъ на нашихъ лицахъ и рукахъ, когда мы проходимъ около кипящаго горшка и держимъ руку на одномъ уровнѣ съ нимъ,—все это есть лучистая теплота; теплота рукъ и лица, вызываемая горячимъ пламенемъ или горячимъ котелкомъ, когда вы держите ихъ *подъ* котелкомъ, есть тоже лучистая теплота.

Вы можете легко сдѣлать этотъ опытъ съ глинянымъ чайникомъ; его поверхность излучаетъ тепло лучше, чѣмъ полированное серебро. Держите ваши руки *подъ* чайникомъ и вы ощущаете нѣкоторую теплоту; надъ нимъ вы получаете больше тепла; и тѣмъ, и другимъ путемъ вы ощущаете тепло. Если держать руки надъ чайникомъ, вы сейчасъ замѣтите, что есть небольшой потокъ поднимающагося горячаго воздуха; если вы помѣстите вашу руку *подъ* чайникомъ, вы найдете, что холодный воздухъ поднимается; и верхняя сторона вашей руки нагрѣвается излученіемъ тепла, между тѣмъ какъ нижняя сторона обвѣвается и въ самомъ дѣлѣ охлаждается благодаря присутствію надъ нею нагрѣтаго котелка.

Это ощущеніе чрезъ чувство тепла есть ощущеніе чего-то дѣйствительно непрерывнаго со свѣтомъ. Мы имѣемъ свѣдѣнія о томъ, что лучи лучистаго тепла могутъ быть прослѣжены до длины волны, раза въ четыре (въ круглыхъ числахъ) большей, или до періода, въ четыре раза меньшаго, чѣмъ у видимаго или краснаго свѣта. Примемъ, что красный свѣтъ имѣетъ 400 милліоновъ милліоновъ колебаній въ секунду,—тогда самому низкому лучистому теплу, какое было изслѣдовано до сихъ поръ, будетъ соответствовать частота колебанія около 100 милліоновъ милліоновъ въ секунду.

Я надѣялся имѣть возможность дать вамъ болѣе низкую цифру. Профессоръ Лэнглэй произвелъ на вершинѣ Маунтъ Витнэй [Mount Whitney], на высотѣ 15,000 футовъ (=4,500 метровъ) надъ уровнемъ моря, блестящіе опыты со своимъ «болетромъ» и на самомъ дѣлѣ измѣрилъ длины волны лучистаго тепла до чрезвычайно низкихъ чиселъ. Я прочту вамъ одно изъ этихъ чиселъ; я еще не заучилъ его

наизусть, потому что я ожидаю отъ него бѣльшаго ¹⁾). Полтора года назадъ я узналъ, что самое низкое лучистое тепло, наблюденное диффракціоннымъ способомъ профессора Лэнглэя, соответствуетъ длинѣ волны въ 28 стотысячныхъ сантиметра,—28, по сравненію съ краснымъ свѣтомъ, которому соответствуетъ 7·3, приблизительно, въ четыре раза больше. Такимъ образомъ, профессоръ Лэнглэй производилъ опыты надъ длинами волнъ, въ четыре раза превосходившихъ по величинѣ волны краснаго свѣта, или надъ четвертью числа колебаній краснаго свѣта въ секунду, и призналъ лучи, соответствующіе этому, за лучистое тепло.

Всякій знаетъ «свѣтъ фотолрафа» и слышалъ о *невидимомъ* свѣтѣ, производящемъ видимыя дѣйствія на приготовленную химическимъ путемъ пластинку въ камерѣ. Говоря въ круглыхъ числахъ, я могу сказать, что, поднявшись вверхъ до частоты, приблизительно вдвое большей, чѣмъ та, которую я упомянулъ для фіолетоваго свѣта, вы дойдете до крайняго предѣла свѣта самаго большаго числа колебаній въ секунду; я хочу сказать, что вы достигнете наибольшей частоты, какая до

¹⁾ Со времени моей лекціи я слышалъ отъ профессора Лэнглэя, что онъ измѣрялъ преломляемость призмой изъ каменной соли тепловыхъ лучей отъ „куба Лесли“ (металлическій сосудъ, наполненный горячей водой и излучающій тепло съ зачерненной стороны) и искалъ длину ихъ волны. Наибольшая длина волны, которую онъ такимъ образомъ нашелъ, есть одна тысячная сантиметра, что въ семнадцать разъ больше длины волны нагроваго свѣта,—причемъ соответствующій періодъ есть около тридцати милліоновъ милліоновъ въ секунду ²⁾).—*Ноябрь*, 1884. В. Т.

(Прим. автора).

²⁾ Впослѣдствіи Лэнглэю удалось при помощи спектроболетра, въ который входили только наименѣе преломляемые лучи спектра, прослѣдить невидимый спектръ солнца и луны до длины волны въ 0·0028 см. = 280×10^{-5} см.; соответствующая частота есть 11 милліоновъ милліоновъ въ секунду. [Langley, The invisible solar and lunar spectrum, *Phil. Mag.* 26, 505—520, 1888]. Интересно при этомъ, что у луны, какъ тѣла очень низкой температуры, максимумъ тепловой энергіи оказался очень далеко въ спектрѣ,—между длинами волнъ въ 0·001 и 0·002.

(Прим. перев.).

сихъ поръ наблюдалась ¹⁾. Фотографическій или актиническій свѣтъ,—на сколько простираются наши познанія въ настоящее время,—доводитъ насъ до длины волны, немногo меньшей половины длины волны фіолетоваго свѣта.

Вы увидите такимъ образомъ, что, между тѣмъ какъ наше знакомство съ волнообразнымъ движеніемъ ниже краснаго свѣта простирается внизъ до одной четверти самой медленной быстроты, дѣйствующей на нашъ глазъ, наше знаніе колебаній на другомъ концѣ шкалы охватываетъ только тѣ, которыя имѣютъ удвоенную частоту фіолетоваго свѣта. Въ круглыхъ числахъ мы имѣемъ 4 октавы свѣта, соотвѣтствующія 4 октавамъ звука въ музыкѣ. Въ музыкѣ октава имѣетъ протяженіе отъ нѣкоторой ноты до ноты съ двойной частотой. Въ свѣтѣ мы имѣемъ одну октаву видимаго свѣта, одну октаву выше видимаго промежутка и двѣ октавы ниже видимаго промежутка. У насъ будетъ 100 въ секунду, 200 въ секунду, 400 въ секунду (милліоновъ милліоновъ, разумѣется) для частоты невидимаго лучистаго тепла; 800 въ секунду—для частоты видимаго свѣта и 1,600 въ секунду—для частоты невидимаго или актинического свѣта.

Единственное, общее всему этому, представляетъ собою тепловое дѣйствіе. Оно чрезвычайно мало въ лунномъ свѣтѣ, такъ мало, что до недавняго времени никто не зналъ, имѣютъ ли лучи луны какое нибудь тепловое дѣйствіе. Гершель думалъ, что оно замѣтно въ нашей атмосферѣ, ибо онъ наблюдалъ, что это дѣйствіе заставляеть таять очень легкія облака и что оно, повидимому, оказывается больше при полномъ лунномъ свѣтѣ, чѣмъ тогда, когда у насъ не полнолуніе;—но онъ самъ, однако, указывалъ

¹⁾ Шуманъ, пользуясь искрой отъ Румкорфовой спирали въ 25 см. длиною и употребляя, какъ матерьялъ для линзъ и призмы, флуоритъ [Fluorit], прослѣдилъ и сфотографировалъ спектры очень многихъ металловъ до длины волны въ 1820 А. Е. (Ångström Einheiten)=0.000182 см. =1.820×10⁻⁵ см., — т. е. до частоты въ 1,650 милліоновъ милліоновъ въ секунду, или въ 2.2 раза больше, чѣмъ у фіолетоваго свѣта. [Schuman, Zur Photographie der brechbarsten Strahlen, *Photogr. Rundschau*, 4, 71—80, 1890].

(Прим. перев.).

на сомнительность этого признака ¹⁾; но теперь, вмѣсто того, чтобы это было сомнительнымъ вопросомъ, профессоръ Лэнглей сообщаетъ, какъ фактъ, что свѣтъ отъ луны замѣтно смѣщаетъ вдоль шкалы указатель его прибора, показывая этимъ сравнительно чудесное тепловое дѣйствіе.

Я долженъ сказать вамъ, что, если кто либо изъ васъ желаетъ производить опыты надъ тепломъ луннаго свѣта, то онъ долженъ измѣрять тепло при посредствѣ прибора, который подвергался бы вліянію только лучей луны. Это — необходимѣйшая предосторожность; если бы, на примѣръ, вы перенесли вашъ болометръ или другой приборъ, посредствомъ котораго обнаруживается теплота, изъ сравнительно теплой комнаты въ ночной воздухъ, вы бы получили указаніе на паденіе температуры, зависящее отъ этой переменны. Вы должны быть увѣрены, что вашъ приборъ находится въ тепловомъ равновѣсіи съ окружающимъ воздухомъ,—тогда возьмите ваше зажигательное стекло и направьте его сначала на луну, а затѣмъ на пространство въ небѣ около луны; такимъ образомъ у васъ получится разностное измѣреніе, посредствомъ котораго вы сравните излученіе луны съ излученіемъ неба. Вы увидите тогда, что луна ясно оказываетъ тепловое дѣйствіе.

Для того, чтобы пойти далѣе въ изученіи видимаго нами свѣта, т. е. волнообразныхъ колебаній, простирающихся отъ красной до фіолетовой части спектра (который я въ настоящую минуту собираюсь показать вамъ), я прежде всего указалъ бы



Рис. 48. Солнечный спектръ.

вамъ на этомъ чертежѣ (рис. 48), что въ части отъ буквы А до

¹⁾ Можно сомнѣваться въ томъ, что легкія облачка испаряются, когда они проходятъ между глазомъ наблюдателя и луною; скорѣе можно думать, что, если они дѣлаются невидимыми, то это происходитъ потому, что глазъ, ослѣпленный сіяніемъ луны, перестаетъ быть чувствительнымъ къ небольшой разницѣ освѣщенія между облакомъ и фономъ неба.

(Прим. перев.).

буквы D наблюдается только оптическое и тепловое дѣйствія, но здѣсь не вызывается обыкновенное химическое и фотографическое дѣйствіе. Фотографы могутъ оставлять свои, химическимъ путемъ приготовленныя, обыкновенныя чувствительныя пластинки выставленными на желтый и красный свѣтъ, и эти пластинки не испытываютъ никакого замѣтнаго дѣйствія; но, когда вы подвигаетесь къ голубому концу спектра, фотографическое дѣйствіе начинаетъ сказываться, оно становится все сильнѣе и сильнѣе по мѣрѣ того, какъ вы болѣе приближаетесь къ фіолетовому концу. Когда вы зайдете за этотъ фіолетовый конецъ, то тамъ имѣется невидимый свѣтъ, который и извѣстенъ главнымъ образомъ своими химическими дѣйствіями. Отъ желтаго до фіолетоваго цвѣта въ спектрѣ—мы имѣемъ дѣйствіе на нашъ глазъ, тепловое дѣйствіе и химическое дѣйствіе, всѣ три; выше фіолетоваго только химическое и тепловое дѣйствія, причемъ послѣднее такъ незначительно, что оно едва замѣтно.

Призматическій спектръ представляетъ собой Ньютоновское открытіе сложности бѣлаго свѣта. Бѣлый свѣтъ состоитъ изъ всякихъ цвѣтовъ отъ краснаго до фіолетоваго. Вотъ теперь мы видимъ Ньютоновскій призматическій спектръ, производимый призмой. Я уясню вамъ немного природу цвѣтовъ, помѣщая на пути свѣта нѣчто, подобное окрашенному стеклу,—окрашенную желатину. Я вложу пластинку красной желатины, которая тщательно приготовлена изъ химическихъ матеріаловъ, и посмотрю, что она сдѣлаетъ. Изъ всего свѣта, падающаго на нее, отъ фіолетоваго до краснаго, она пропускаетъ только красный и оранжевый, давая смѣшанный красноватый цвѣтъ. Вотъ пластинка зеленой желатины: зеленая желатина поглощаетъ весь красный, давая только зеленый. Вотъ пластинка, поглощающая нѣсколько отъ каждой части спектра, отнимающая большую часть фіолетоваго и придающая свѣту желтый или оранжевый оттѣнокъ. Вотъ другая, поглощающая зеленый и весь фіолетовый и оставляющая красный, оранжевый и очень мало свѣтло-зеленаго.

Когда спектръ производится очень тщательно, гораздо тщательнѣе, чѣмъ умѣлъ Ньютонъ получать его, мы имѣемъ

однородный спектръ ¹⁾. Нужно замѣтить, что Ньютонъ не зналъ того, что мы называемъ однороднымъ спектромъ; онъ не получалъ его и не указываетъ въ своихъ сочиненіяхъ условія для его полученія. Пользуясь чрезвычайно тонкой свѣтящейся линіей, напр.; отъ свѣта солнца, мы можемъ получить такой спектръ; онъ похожъ на то, что изображено на верхнемъ рисункѣ—красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, индиго и фіолетовый цвѣта, по номенклатурѣ Ньютона. Ньютонъ никогда не употреблялъ узкаго пучка свѣта и потому не могъ имѣть однороднаго спектра.

Вотъ рисунокъ, нарисованный на стеклѣ и показывающій цвѣта въ томъ видѣ, въ какомъ мы ихъ знаемъ. Еслибъ я попытался объяснить вамъ сегодня основанія спектральнаго анализа, то это заняло бы у насъ два или три часа. Мы должны отрѣшиться отъ этого намѣренія. Я только прочту вамъ длины волнъ, которыя соответствуютъ различнымъ положеніямъ въ спектрѣ солнца извѣстныхъ темныхъ линій, обыкновенно называемыхъ «фраунгоферовыми линіями». Я приму за единицу одну стотысячную сантиметра. Сантиметръ есть 0·4 дюйма; онъ нѣсколько меньше полъ-дюйма. Я беру тысячную сантиметра и принимаю сотую долю ея за единицу. Въ красномъ концѣ спектра свѣтъ по сосѣдству съ этой черной линіей *A* (рис. 48) имѣетъ длиной волны 7·6; для *B* она—6·87; для *D*—5·89; для *A* число колебаній въ секунду есть 3·9 раза 100 билліоновъ, для *D*—5·1 раза 100 билліоновъ.

Теперь посмотримъ, какая же сила принимаетъ участіе въ этихъ колебаніяхъ, по сравненію съ силами, вызывающими звукъ, для котораго число колебаній въ секунду равно 400? Положимъ на минуту, что то же самое вещество должно было бы двигаться туда и назадъ на томъ же протяженіи, но 400 билліоновъ разъ въ секунду. Сила, необходимая для этого, пропорціональна квадрату числа, выражающаго частоту. Удвоенная частота потребовала бы въ четыре раза большую силу для колебанія того же самаго тѣла. Положимъ, я снова колеблю свою руку, какъ я дѣлалъ это прежде.

¹⁾ Въ такомъ спектрѣ не происходитъ наложенія отдѣльныхъ цвѣтовъ другъ на друга.

(Прим. ред.).

Если я ее двигаю разъ въ секунду, требуется умѣренная сила; чтобы колебать ее десять разъ въ секунду, требуется во 100 разъ бѣльшая сила; для 400 колебаній въ секунду—въ 160,000 разъ бѣльшая сила. Если я двигаю свою руку разъ въ секунду на протяженіи четверти дюйма, требуется очень небольшая сила; мнѣ бы потребовалось очень значительная сила, чтобы двигать ее десять разъ въ секунду на такомъ же незначительномъ протяженіи, но представьте себѣ силу, потребную для приведенія въ движеніе камертона 400 разъ въ секунду, и сравните ее съ силою, потребною для приведенія его въ движеніе 400 билліоновъ разъ въ секунду. Если приводимая въ движеніе масса та же самая и размѣры движенія тѣ же самые, то сила была бы въ билліонъ билліоновъ разъ больше силы, потребной для приведенія въ движеніе ножекъ камертона; замѣчу, однако, что это число такъ же легко понять, какъ какое либо число, вродѣ 2, 3 или 4. Подумайте теперь, что это число означаетъ и какія заключенія мы можемъ вывести изъ него. Какая сила имѣется въ пространствѣ между моимъ глазомъ и свѣтомъ? Какія силы имѣются въ пространствѣ между нашими глазами и самыми отдаленными видимыми звѣздами? Тамъ есть матерія и есть движеніе, но какой же величины можетъ тамъ быть сила?

Я двигаюсь черезъ «свѣтоносный эфиръ», какъ будто бы онъ былъ ничто. Но существуй колебанія съ такимъ числомъ въ секунду въ средѣ стали или латуни, дѣйствія этихъ колебаній измѣрялись бы милліонами и милліонами и милліонами тоннъ на квадратный дюймъ матеріи. Въ нашемъ воздухѣ такихъ силъ нѣтъ. Комета производитъ возмущеніе въ воздухѣ и, можетъ быть, свѣтоносный эфиръ разрывается при движеніи кометы черезъ него. Когда мы объясняемъ природу электричества, мы объясняемъ его движеніемъ свѣтоноснаго эфира. Но мы не можемъ сказать, что эфиръ есть электричество. Что же можетъ представлять собой этотъ свѣтоносный эфиръ? Онъ есть нѣчто такое, черезъ что планеты двигаются съ величайшей легкостью. Онъ проникаетъ нашъ воздухъ; онъ находится почти въ одинаковыхъ условіяхъ,—по скольку позво-

ляютъ намъ судить объ этомъ тѣ средства, какія мы имѣемъ для распознаванія этого,—въ нашемъ воздухѣ и въ междупланетномъ пространствѣ. Воздухъ измѣняетъ его, но незначительно; вы можете довести воздухъ воздушными наносами до сто-тысячной доли его обыкновенной плотности и вы вызовете мало измѣненій въ передачѣ черезъ него свѣта. Свѣтоносный эфиръ представляетъ собою упругое твердое тѣло, ближайшую аналогію которому я могу дать вамъ въ этомъ студнѣ, который вы видите ¹⁾, и ближайшая аналогія свѣтовымъ волнамъ есть то движеніе, которое вы можете представить себѣ въ этомъ упругомъ студнѣ съ плавающимъ по срединѣ его деревяннымъ шарикомъ. Посмотрите сюда, когда я своей рукой колеблю этотъ небольшой красный шарикъ вверхъ и внизъ или когда я быстро вращаю его вокругъ вертикальнаго діаметра попеременно въ противоположныхъ направленіяхъ;—это есть самое близкое изображеніе колебаній свѣтоноснаго эфира, какое я только могу дать.

Другой иллюстраціей можетъ служить варъ, который употребляютъ шотландскіе сапожники, или бургундская смола, но я лучше знаю варъ шотландскихъ сапожниковъ. Онъ тяжелѣе воды и безусловно отвѣчаетъ моей цѣли. Я беру большую плитку вара, помѣщаю ее въ стеклянный сосудъ, наполненный водою, помѣщаю нѣкоторое число пробокъ съ нижней стороны и нѣсколько пуль съ верхней стороны. Варъ хрупокъ, подобно тринидадской смолѣ или бургундской смолѣ, которую я имѣю въ рукахъ;—вы видите, какая она твердая,—но, будучи предоставленъ самому себѣ, онъ течетъ подобно жидкости. Сапожный варъ ломается съ хрупкимъ изломомъ, но онъ вязокъ и постепенно поддается.

О свѣтоносномъ эфирѣ мы знаемъ, что онъ обладаетъ крѣпостью твердаго тѣла и постепенно поддается. Хрупокъ ли и трескается ли онъ, или нѣтъ, мы еще не можемъ сказать, но я думаю, что открытія въ электричествѣ и движенія кометъ

¹⁾ Лекторъ показалъ при этомъ большой тазъ прозрачнаго студня съ небольшимъ краснымъ деревяннымъ шарикомъ, помѣщеннымъ въ немъ у поверхности близъ центра. (Прим. автора).

съ чудесными отпрысками свѣта отъ нихъ стремятся обнаружить существованіе трещинъ въ свѣтоносномъ эфирѣ, указываютъ на соотвѣтствіе электрическихъ молній и сѣвернаго сіянья трещинамъ въ свѣтоносномъ эфирѣ. Не принимайте этого за утвержденіе, это едва ли больше, чѣмъ туманное научное сновидѣніе,—но вы можете смотрѣть на существованіе свѣтоноснаго эфира, какъ на научную дѣйствительность; это значитъ, что мы имѣемъ всепроницающую среду, упругое твердое тѣло, съ большой степенью крѣпости,—съ крѣпостью, столь чудовищной по сравненію съ его плотностью, что колебанія свѣта въ немъ имѣютъ упомянутыя мною частоты съ упомянутыми мною длинами волны. Основной вопросъ, обладаетъ ли, или нѣтъ, свѣтоносный эфиръ тяготѣніемъ, не получилъ еще отвѣта. У насъ нѣтъ свѣдѣній о томъ, что свѣтоносный эфиръ притягивается такими массами, какъ земля или солнце,—или, что существуетъ взаимное притяженіе между различными частями самого эфира. Иногда его называютъ невѣсомымъ, потому что думаютъ или считаютъ вѣроятнымъ, что онъ не имѣетъ вѣса.

Вотъ два турмалина; если вы посмотрите черезъ нихъ на свѣтъ, то вы увидите на всемъ протяженіи бѣлый свѣтъ, т. е. они представляются прозрачными. Если я поверну одинъ изъ этихъ турмалиновъ, то свѣтъ погаснетъ, и будетъ безусловно темно, какъ будто бы турмалины были непрозрачны. Это есть иллюстрація того, что называется поляризацией свѣта. Я не могу вамъ говорить о свойствахъ свѣта, не говоря о поляризации свѣта. Я хочу показать вамъ въ высшей степени красивое дѣйствіе поляризации свѣта, прежде чѣмъ иллюстрировать ее нѣсколько дальше при посредствѣ большой механической модели, которую вы видите въ этомъ тазѣ со студнемъ. То, что вы видѣли раньше, были двѣ пластинки кристаллическаго турмалина (привезенныя, мнѣ кажется, изъ Бразиліи), имѣющія свойство пропускать свѣтъ, когда обѣ пластинки помѣщены въ одномъ особенномъ положеніи относительно направленія ихъ кристаллическихъ осей, и погашать свѣтъ при прохожденіи его черезъ нихъ, если одна изъ пластинокъ приводится въ другое положеніе. Теперь я вставляю въ фонарь приборъ, на-

зываемый «николевой призмой», которая также даетъ лучи поляризованнаго свѣта. Николева призма есть кусокъ исландскаго шпата, разрѣзанный очень остроумнымъ образомъ на два куска, снова сложенныхъ вмѣстѣ и склеенныхъ канадскимъ бальзамомъ въ одинъ. Николева призма пользуется свойствомъ двойного лучепреломленія, которымъ обладаетъ шпатель, и благодаря этому свойству производитъ то явленіе, которое я теперь вамъ показываю. Я поворачиваю одну призму въ извѣстномъ направленіи и у васъ получается свѣтъ—максимумъ свѣта. Я поворачиваю ее на прямой уголъ и у васъ получается темнота. Я снова поворачиваю ее на одну четверть оборота,—и получается максимумъ свѣта; еще на одну четверть, максимумъ темноты; еще на одну четверть,—и яркій свѣтъ. Рѣдко встрѣчается такой большой экземпляръ николевой призмы, какъ эта.

Есть другой способъ получать поляризованный свѣтъ. Я становлюсь передъ этимъ источникомъ свѣта и смотрю на его отраженіе въ этой стеклянной пластинкѣ, находящейся на столѣ, черезъ одну изъ николевыхъ призмъ, которую я поворачиваю, вотъ такъ. Теперь, если я наклоню эту стеклянную пластинку на нѣкоторый опредѣленный уголъ,—нѣсколько больше пятидесяти пяти градусовъ,—то я найду такое положеніе пластинки, при которомъ, если я смотрю на пластинку и затѣмъ поворачиваю призму въ рукѣ, призма абсолютно гаситъ свѣтъ въ одномъ своемъ положеніи и даетъ ему максимальную яркость въ другомъ положеніи. Я употребляю слово «абсолютно» нѣсколько опрометчиво. Получается только приведеніе свѣта къ очень незначительному количеству, а не абсолютное уничтоженіе, какое мы имѣемъ въ случаѣ двухъ николевыхъ призмъ, употребляемыхъ вмѣстѣ. Что касается до механическаго объясненія этого явленія, то тѣ изъ васъ, кто никогда не слышалъ объ этомъ раньше, не поняли бы, что я бы сказалъ; это можетъ быть объяснено только цѣлымъ курсомъ лекцій по физической оптикѣ. Дѣло заключается въ томъ, что колебанія свѣта должны происходить въ опредѣленномъ направленіи по отношенію къ линіи, по которой распространяется свѣтъ.

Посмотрите на этотъ чертежъ,—свѣтъ идетъ слѣва направо;

мы имѣемъ колебанія, перпендикулярныя къ линіи передачи. Эта линія, идущая вверхъ и внизъ, и представляетъ собою линію колебанія. Вообразите здѣсь источникъ свѣта фіолетоваго цвѣта, а здѣсь передъ нимъ—линію распространенія. Звуковыя колебанія происходятъ по линіи распространенія туда и назадъ, а эти—перпендикулярно къ этой линіи. Вотъ колебаніе, перпендикулярное къ чертежу, другого вида, но все еще слѣдующее закону поперечныхъ колебаній; вотъ еще одно круговое колебаніе. Вообразите длинную веревку,—когда вы вертите одинъ конецъ ея, то вы видите винтообразное движеніе, бѣгущее вдоль веревки, и вы можете производить такое круговое движеніе въ одномъ направленіи или въ противоположномъ.

Плоско-поляризованный свѣтъ есть свѣтъ, всѣ колебанія котораго происходятъ въ одной плоскости, перпендикулярной къ той плоскости, проходящей черезъ лучъ, которая называется на техническомъ языкѣ «плоскостью поляризаціи». Поляризованный по кругу свѣтъ состоитъ изъ волнообразныхъ колебаній свѣтоноснаго эфира, происходящихъ по кругамъ. Эллиптически поляризованный свѣтъ есть нѣчто, промежуточное между плоско-поляризованнымъ и поляризованнымъ по кругу,—его колебанія происходятъ не по прямой линіи и не по круговой линіи; траекторія колебанія въ этомъ свѣтѣ есть эллипсъ. Поляризованный свѣтъ есть свѣтъ, въ которомъ поддерживается движеніе одинаковаго характера и въ одномъ направленіи. Если это движеніе происходитъ по прямой линіи, то это—плоско-поляризованный свѣтъ; если оно происходитъ по направленію нѣкотораго круга, то это—свѣтъ, поляризованный по кругу; если по направленію нѣкотораго эллипса, то это—эллиптически поляризованный свѣтъ.

Лучъ поляризованнаго свѣта при входѣ въ кристаллъ исландскаго шпата раздѣляется вслѣдствіе особаго свойства шпата—двойного лучепреломленія—на два поляризованныхъ луча, причемъ въ этихъ лучахъ колебанія эфира взаимно перпендикулярны. Свѣтъ всегда поляризуется, когда онъ отъ пластинки непосеребреннаго стекла, или отъ воды, отражается подъ нѣкоторымъ извѣстнымъ определеннымъ угломъ; въ пятьдесятъ шесть

градусовъ для стекла, въ пятьдесятъ два градуса для воды, причемъ уголъ считается въ каждомъ случаѣ отъ перпендикуляра къ поверхности. Этотъ уголъ для воды есть уголъ, тангенсъ котораго есть 1.4. Я хочу, чтобы вы посмотрѣли на поляризацію свѣта своими собственными глазами. Свѣтъ, отраженный отъ стекла подъ угломъ въ пятьдесятъ шесть градусовъ и отъ воды—въ пятьдесятъ два градуса, уходитъ, колеблясь перпендикулярно къ плоскости паденія и плоскости отраженія.

Мы можемъ наблюдать поляризацію безъ помощи приборовъ. Существуетъ явленіе, весьма извѣстное въ физической оптикѣ подъ названіемъ «пучковъ Гайдингера». Тотъ, кто открылъ это явленіе, хорошо извѣстенъ въ Филадельфій, какъ минералогъ, и явленіе, о которомъ я говорю, называется его именемъ. Взгляните на небо по направленію, составляющему девяносто градусовъ съ линіей, идущей отъ васъ къ солнцу,—вы увидите желтый и синій крестъ, причемъ желтый свѣтъ будетъ направляться къ солнцу и отъ солнца, въ видѣ двухъ лисьихъ хвостовъ и между этими хвостами будетъ синій свѣтъ; кромѣ этого вы замѣтите еще два красныхъ пучка въ пространствѣ подъ прямыми углами къ синему. Если вы не видите всего этого, то это только потому, что ваши глаза недостаточно чувствительны, но небольшая споровка дастъ имъ необходимую чувствительность. Если вы не можете увидѣть это явленіе такъ, попробуйте другой способъ. Посмотрите въ ведро воды съ чернымъ дномъ или возьмите чистое стеклянное блюдо съ водою, поставьте его на черное сукно и посмотрите внизъ на поверхность воды въ день, когда небо покрыто бѣлыми облаками (если только такое небо можно когда либо видѣть въ Филадельфій). Посмотрите на бѣлое небо, отраженное въ бассейнѣ воды подъ угломъ градусовъ въ пятьдесятъ. Посмотрите на него, наклонивъ голову на одну сторону, и затѣмъ посмотрите снова, наклонивъ голову на другую сторону и направляя все время свой взоръ на воду, и вы увидите пучки Гайдингера. Не дѣлайте этого очень быстро, иначе вы вызовете у себя головокруженіе. Объяснить это можно возстановленіемъ чувствительности сѣтчатой оболочки. Пучокъ Гайдингера всегда существуетъ, но вы не видите его, потому

что вашъ глазъ недостаточно чувствителенъ. Но послѣ того, какъ вы разъ увидите его, вы будете всегда его видѣть; произвольно онъ не кидается вамъ въ глаза, когда вамъ не нужно его видѣть. Вы можете также свободно видѣть это явленіе въ кускѣ стекла съ темнымъ сукномъ подъ нимъ или въ бассейнѣ воды.

Я намѣренъ въ заключеніе сообщить вамъ, какимъ образомъ мы узнаемъ длины волнъ свѣта и какимъ образомъ мы узнаемъ число колебаній въ секунду,—и мы на самомъ дѣлѣ произведемъ измѣреніе длины волны желтаго свѣта. Теперь же я покажу вамъ диффракціонный спектръ.

Вы видите на экранѣ ¹⁾ съ каждой стороны центральной бѣлой полосы свѣта рядъ свѣтовыхъ полосъ различныхъ пестрыхъ цвѣтовъ,—первая полоса съ той и съ другой стороны представляетъ собою синій или индиговый цвѣтъ, она находится на разстояніи дюймовъ четырехъ ²⁾ отъ центральной бѣлой полосы, красный цвѣтъ—дюйма на четыре дальше, яркій зеленый—между синимъ и краснымъ. Это явленіе производится рѣшеткой, въ которой приходится 400 линій на одномъ сантиметрѣ; она вырѣзана на кускѣ стекла, который я теперь держу въ своей рукѣ. Слѣдующая рѣшетка, которую мы попробуемъ, имѣетъ 3,000 линій на парижскомъ дюймѣ ³⁾. Вы видите центральное пространство и съ каждой стороны большое число спектровъ, синихъ съ одного конца и красныхъ съ другого. Тотъ фактъ, что, въ первомъ спектрѣ, красный цвѣтъ раза въ два дальше отъ центра, чѣмъ синій, доказываетъ, что длина волны у краснаго свѣта вдвое больше, чѣмъ у синяго цвѣта.

Теперь я покажу вамъ процессъ измѣренія длины волны натроваго свѣта, т. е. свѣта, который въ спектрѣ обозначается буквой *D* (рис. 48) и который даетъ спиртовая лампа, когда въ ея пламени есть соль. Когда паръ натрія нагрѣвается до нѣ-

¹⁾ Лекторъ показалъ при этомъ окрашенныя полосы, откинута на экранъ отъ диффракціонной рѣшетки.

(Прим. автора).

²⁾ 10 сантиметровъ.

(Прим. перев.).

³⁾ 1,110 на сантиметръ.

(Прим. перев.).

сколькихъ тысячъ градусовъ, онъ становится самосвѣтящимся и даетъ такой свѣтъ, какой мы получаемъ, бросая соли въ спиртовую лампу въ игрѣ Snap-dragon ¹⁾.

Я держу въ рукѣ великолѣпную рѣшетку, сдѣланную на стеклѣ, посеребренномъ по способу Либиха,—рѣшетку, въ которой на одномъ дюймѣ приходится 6,480 линій ²⁾; она принадлежитъ моему другу, профессору Баркеру, и онъ любезно принесъ ее сюда для насъ на этотъ вечеръ. Вы увидите яркіе цвѣта, когда я поверну къ вамъ свѣтъ, отраженный отъ рѣшетки, и буду обводить пучокъ лучей вокругъ комнаты. Вы теперь видѣли непосредственно вашими собственными глазами эти яркіе цвѣта, отраженные отъ рѣшетки, и вы также видѣли ихъ откинутыми на экранъ отъ рѣшетки, помѣщенной въ фонарѣ. Но, если употребить рѣшетку въ 17,000 линій на одномъ дюймѣ ³⁾,—число это гораздо больше предыдущаго,—то вы увидите, насколько дальше отъ центрального свѣтлаго пространства находится первый спектръ, насколько больше эта рѣшетка измѣняетъ направленіе, или производитъ диффракцію, пучка свѣта. Вотъ центръ рѣшетки и вотъ первый спектръ. Вы замѣчаете, что фіолетовый свѣтъ отклоненъ менѣе всѣхъ, а красный свѣтъ преломленъ болѣе всѣхъ. Такое отклоненіе свѣта впервые доказало намъ окончательно дѣйствительность волнообразной теоріи свѣта.

Вы спросите, отчего свѣтъ не огибаетъ угла, какъ это дѣлаетъ звукъ. На самомъ дѣлѣ, свѣтъ огибаетъ уголъ въ этихъ диффракціонныхъ спектрахъ; и ясно, что онъ огибаетъ уголъ, разъ онъ проходитъ черезъ эти полоски и поворачивается на уголъ въ тридцать градусовъ. Явленіе огибанія свѣтомъ угловъ,

¹⁾ «Snap-dragon» или «flap-dragon»—такъ называется одна изъ англійскихъ рождественскихъ игръ, состоящая въ томъ, что въ водку или коньякъ кладутъ изюмъ, затѣмъ водку зажигаютъ и играющіе стараются достать пальцами изюмъ; выигравшимъ считается тотъ, кто достанетъ больше другихъ.

(Прим. перев.).

²⁾ 2,550 линій на одномъ сантиметрѣ.

(Прим. перев.).

³⁾ 6,700 линій на одномъ сантиметрѣ.

(Прим. перев.).

обнаруживаемое при помощи приборовъ, приспособленныхъ къ тому, чтобы можно было видѣть результаты этого уклоненія свѣта и измѣрять углы, на которые онъ поворачивается, называется диффракціей свѣта.

Я могу показать вамъ приборъ, при помощи котораго можно измѣрять длины волнъ свѣта. Позвольте мнѣ, не доказывая формулы, сообщить вамъ ее. Спиртовая лампа, свѣтильня которой посыпана солью, даетъ свѣтъ, очень близкій къ однородности, т. е. свѣтъ одной длины волны или весь одинаковаго періода. У меня здѣсь небольшая рѣшетка, которую я держу въ рукѣ. Я смотрю сквозь эту рѣшетку и вижу эту свѣчку, находящуюся предо мной. Непосредственно сзади свѣчки вы видите вычерненную деревянную линейку съ двумя бѣлыми отмѣтками на ней, находящимися на разстояніи десяти дюймовъ другъ отъ друга. Линія, на которой онѣ отмѣчены, помѣщена перпендикулярно къ тому направленію, по которому я буду удаляться. Когда я гляжу на эту лампу съ соленымъ спиртомъ, я вижу рядъ спектровъ желтаго свѣта. Такъ какъ я нѣсколько близорукъ, то я устраиваюсь такъ, чтобы мой глазъ при помощи этихъ очковъ и своихъ собственныхъ линзъ видѣлъ то, что дальнорукій человѣкъ разобралъ бы безъ очковъ. На этомъ экранѣ вы видѣли рядъ спектровъ. Я смотрю теперь прямо на свѣчу и что же я вижу? Я вижу рядъ спектровъ, состоящій изъ пяти или шести ярко окрашенныхъ спектровъ съ каждой стороны свѣчки. Но, когда я смотрю на лампу съ соленымъ спиртомъ, то я теперь вижу десять спектровъ съ одной стороны и десять съ другой,—спектровъ, изъ которыхъ каждый представляетъ одноцвѣтную полосу свѣта.

Я измѣрю длину волны свѣта такимъ образомъ. Я отхожу на значительное разстояніе и смотрю на спиртовую лампу и отмѣтки. Я вижу рядъ спектровъ. Первая бѣлая линія приходится какъ разъ сзади пламени. Мнѣ нужно, чтобы первый спектръ направо отъ этой бѣлой линіи совпалъ точно съ другой бѣлой линіей, которая отстоитъ на десять дюймовъ отъ первой. По мѣрѣ того, какъ я ухожу дальше отъ спектра, я вижу, что онъ приближается къ ней; теперь онъ очень близко отъ

нея; теперь онъ на ней. Теперь надо измѣрить разстояніе отъ него до моего глаза и превратить футы въ дюймы; разстояніе отъ спектра пламени до моего глаза равно тридцати четыремъ футамъ девяти дюймамъ. Г. председатель, сколько это будетъ дюймовъ? 417 дюймовъ, въ круглыхъ числахъ 420 дюймовъ. Тогда мы имѣемъ пропорцію: какъ 420 относится къ 10, такъ разстояніе отъ черты до черты рѣшетки относится къ длинѣ волны натроваго свѣта. Это значитъ, какъ сорокъ два къ одному. Разстояніе отъ полосы до полосы есть четырехсотая сантиметра; поэтому, сорокъ вторая часть четырехсотой сантиметра, или $\frac{1}{16,800}$ сантиметра, есть длина волны согласно нашему простому, легкому и скорому опыту. Истинная длина волны натроваго свѣта, соотвѣтственно самымъ точнымъ измѣреніямъ,—около $\frac{1}{17,000}$ сантиметра, что отличается отъ нашего результата немного болѣе, чѣмъ на одинъ процентъ!

Единственный приборъ, какъ вы видите, это—маленькая рѣшетка,—кусочекъ стекла, у котораго на пространствѣ въ четыре десятыхъ дюйма шириною нанесено 400 тонкихъ линій. Каждый изъ васъ, кто потрудится купить такую рѣшетку, можетъ измѣрить самъ длину волны пламени свѣчи. Я надѣюсь, это нѣкоторыхъ изъ васъ побудитъ самихъ произвести такой опытъ.

Когда я помѣщаю соль на пламя спиртовой лампы, что я вижу черезъ эту рѣшетку? Я вижу просто рѣзко очерченный желтый свѣтъ, представляющій собой спектръ превращеннаго въ паръ натрія, между тѣмъ какъ отъ пламени свѣчи я вижу изящно окрашенный спектръ, гораздо красивѣе того, который я показывалъ вамъ на экранѣ. На самомъ дѣлѣ, я вижу рядъ спектровъ по обѣ стороны, съ синимъ цвѣтомъ, обращеннымъ къ пламени свѣчи, и краснымъ, обращеннымъ отъ нея. Я не могу въ спектрѣ отъ пламени свѣчи выбрать какуюнибудь одну опредѣленную мѣтку, отъ которой можно было бы измѣрять, какъ я могу это сдѣлать съ пламенемъ спиртовой лампы, въ которомъ находится, соль—пламенемъ, которое, какъ я сказалъ, даетъ простой желтый свѣтъ. Самый крайній голубой свѣтъ въ

пламени свѣчи теперь какъ разъ приходится на этой линіи. Измѣрьте теперь разстояніе до моего глаза,—оно равно сорока четыремъ футамъ четыремъ дюймамъ, или 532 дюймамъ. Длина этой волны есть, слѣдовательно, 532-я часть четырехсотой сантиметра, что равно $\frac{1}{21,280}$ сантиметра,—скажемъ $\frac{1}{21,000}$ сантиметра. Затѣмъ произведите такое же измѣреніе для краснаго цвѣта и вы найдете что нибудь вродѣ $\frac{1}{11,000}$ для самаго крайняго краснаго свѣта.

Послѣдній вопросъ, какимъ образомъ мы узнаемъ число колебаній въ секунду?

Ну, понятно, при посредствѣ скорости свѣта. А откуда мы знаемъ послѣднюю? Мы узнаемъ ее нѣсколькими различными способами, которые я не могу объяснить, потому что время не позволяетъ этого; я могу теперь только сказать вамъ кратко, что число колебаній въ секунду для какого нибудь опредѣленнаго луча равняется скорости свѣта, дѣленной на длину волны для этого луча. Скорость свѣта равна около 187,000 англійскихъ казенныхъ миль въ секунду, но гораздо лучше взять за единицу километръ,—который равенъ около шести десятыхъ мили,—тогда мы найдемъ, что эта скорость равна очень точно 300,000 километровъ или 30,000,000,000 сантиметровъ въ секунду. Примите теперь длину волны натроваго свѣта, какъ мы сейчасъ ее измѣрили при посредствѣ лампы съ соленымъ спиртомъ, равной $\frac{1}{17,000}$ сантиметра, и мы найдемъ, что число колебаній въ секунду для натроваго пламени равно 510 билліонамъ. Вотъ у васъ, слѣдовательно, и вычисленіе числа колебаній на основаніи простаго наблюденія, которое вы всѣ сами можете сдѣлать.

Въ заключеніе я долженъ сказать вамъ о цвѣтѣ голубого неба, который иллюстрируется этой небольшою сферой, закрѣпленной въ упругомъ твердомъ тѣлѣ. Мнѣ надо объяснить вамъ въ двѣ минуты, какимъ образомъ происходятъ колебанія. Возьмите самый простой плоско-поляризованный свѣтъ. Вотъ небольшая сфера, которая порождаетъ его въ упругомъ твер-

домъ тѣлѣ. Вообразите, что это твердое тѣло простирается на мили въ горизонтальномъ направленіи и на мили вверхъ и внизъ, и вообразите, что эта сфера колеблется вверхъ и внизъ. Совершенно ясно, что она вызоветъ поперечныя колебанія, которыя будутъ происходить подобнымъ образомъ во всѣхъ горизонтальныхъ направленіяхъ. Плоскость поляризаціи опредѣляется, какъ плоскость, перпендикулярная къ линіи колебанія. Такимъ образомъ, свѣтъ, порождаемый молекулой, колеблющейся вверхъ и внизъ, какъ этотъ находящійся передъ вами красный шаръ въ студнѣ, будетъ поляризованъ въ горизонтальной плоскости, потому что колебанія вертикальны.

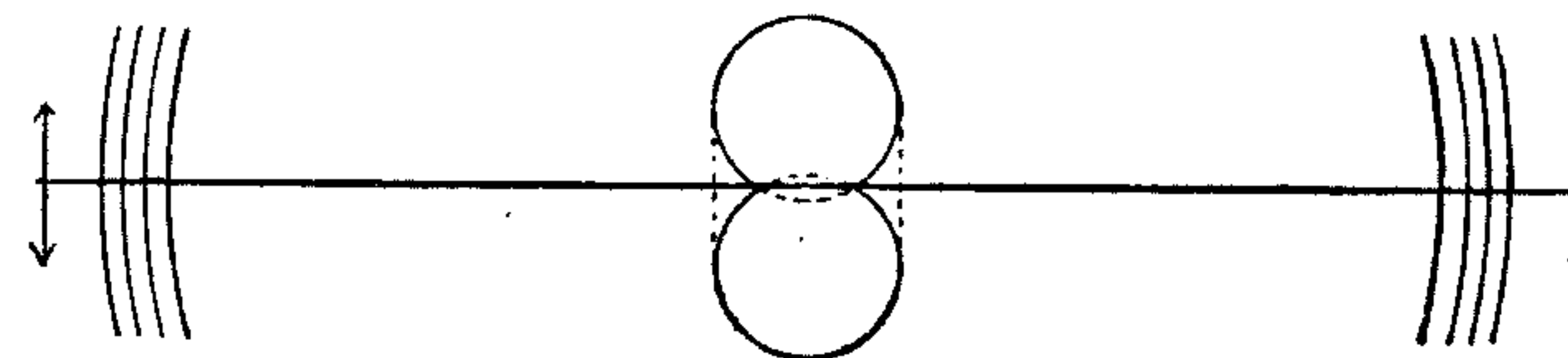


Рис. 49. Колеблющаяся сфера, закрѣпленная въ упругомъ твердомъ тѣлѣ.

Вотъ другой родъ колебанія. Я поверну около вертикальной оси эту сферу въ студнѣ такъ, какъ я теперь это дѣлаю,—это породитъ колебанія, распространяющіяся также одинаковымъ образомъ во всѣхъ горизонтальныхъ направленіяхъ. Когда я поворачиваю этотъ шарикъ, онъ тянетъ за собою окружающій его студень; поверните его быстро обратно, и студень также быстро придетъ въ обратное движеніе. Вслѣдствіе инерціи студня колебанія распространяются во всѣхъ направленіяхъ и линіи колебанія горизонтальны по всему студню. Повсюду, на мили въ сторону, это твердое тѣло приведено въ колебаніе. Вы не видите колебаній, но вы должны признавать, что они тамъ происходятъ. Когда студень дѣлаетъ обратный скачекъ, онъ совершаетъ колебаніе и у насъ получаются волны горизонтальныхъ колебаній, разбѣгающіяся во всѣхъ направленіяхъ отъ возбуждающей ихъ молекулы.

Теперь я заставляю красный шаръ колебаться туда и назадъ въ горизонтальномъ направленіи,—это заставитъ порож-

даться колебанія, которыя будутъ параллельны линіи распространенія во всѣхъ мѣстахъ плоскости, перпендикулярной къ траекторіи возбуждающей молекулы. Чѣмъ вызывается голубой цвѣтъ неба? Выше указанныя колебанія будутъ какъ разъ тѣ движенія, которыя производятъ голубой свѣтъ неба, зависящій отъ присутствія небольшихъ сферъ въ свѣтоносномъ эфирѣ, но нѣсколько измѣняемый воздухомъ. Представьте себѣ мысленно солнце близъ горизонта, представьте себѣ свѣтъ солнца, струящійся черезъ атмосферу и дающій у васъ надъ головами этотъ лазуревую-голубой и фіолетовый цвѣтъ. Представьте себѣ сначала какую нибудь одну частицу и представьте, что она движется такимъ образомъ, чтобы вызывать горизонтальныя и вертикальныя колебанія и круговыя и эллиптическія колебанія.

Вы видите голубое небо въ парахъ, выпускаемыхъ подъ высокимъ давленіемъ въ воздухъ; вы видите его въ опытѣ Тиндаллевскаго голубого неба, въ которомъ нѣжное сгущеніе пара точно воспроизводитъ лазуревую-голубой цвѣтъ неба.

Но, движеніе свѣтоноснаго эфира по отношенію къ нашей маленькой сферѣ вызываетъ то же самое дѣйствіе, какое вызвало бы противоположное движеніе, сообщенное этой сферѣ совершенно независимой силой. Такъ, вы можете представлять себѣ, что голубой цвѣтъ, исходящій отъ неба, порождается колебаніями туда и назадъ матеріи, находящейся въ воздухѣ и колеблющейся вполне подобно тому, какъ этотъ небольшой шарикъ колеблется, будучи закрѣпленъ въ студнѣ.

Результатъ въ общемъ видѣ получается слѣдующій: свѣтъ, идущій отъ голубого неба, поляризованъ въ плоскости, проходящей черезъ солнце; но голубой свѣтъ неба осложняется многими обстоятельствами и одно изъ нихъ есть то, что воздухъ освѣщается не только солнцемъ, но и землей. Если бы мы могли устроить, чтобы земля была покрыта чернымъ сукномъ, то тогда мы могли бы изучать поляризованный свѣтъ въ столь простыхъ условіяхъ, какихъ мы теперь не можемъ достигъ. Въ природѣ происходятъ отраженія отъ морей, скалъ, горъ и водъ безконечно сложнымъ образомъ.

Пусть изслѣдователи наблюдаютъ голубое небо не только зимою, когда земля покрыта снѣгомъ, но и лѣтомъ, когда она покрыта темной зеленой листвою. Это поможетъ разобраться въ тѣхъ сложныхъ явленіяхъ, о которыхъ идетъ рѣчь. Но лазуревую-голубой цвѣтъ неба есть свѣтъ, который порождается реакціей на колеблющійся эфиръ небольшихъ капелекъ воды, — можетъ быть въ пятидесяти-тысячную или въ сто-тысячную сантиметра діаметромъ, — или, можетъ быть, маленькихъ кусочковъ или кристалликовъ обыкновенной соли, или частицъ пыли, или зародышей видовъ растительнаго или животнаго царства, носящихся въ воздухѣ. Что же такое, теперь, свѣтоносный эфиръ? Это есть матерія, чудовищно менѣе плотная, чѣмъ воздухъ — въ милліоны и милліоны и милліоны разъ менѣе плотная, чѣмъ воздухъ. Мы можемъ составить себѣ нѣкотораго рода понятіе о предѣлахъ его свойствъ. Мы вѣримъ, что онъ есть нѣкоторое реальное вещество, обладающее большою крѣпостью сравнительно съ плотностью; его можно заставить колебаться 400 билліоновъ разъ въ секунду, и при этомъ онъ имѣетъ такую плотность, что не производитъ ни малѣйшаго сопротивленія ни одному тѣлу, проходящему сквозь него.

Вернемся къ нашему примѣру сапожнаго вара; если пробка, впродолженіе года, протолкнетъ себѣ путь вверхъ черезъ пластинку этого вара, когда послѣдняя помѣщена подъ водою, и если свинцовая пуля проникнетъ внизъ ко дну, то каковъ законъ сопротивленія? Онъ, очевидно, зависитъ отъ времени. Пробка медленно впродолженіе года пробиваетъ свой путь вверхъ черезъ слой этого вещества толщиною въ два дюйма¹⁾; предоставьте ей сдѣлать это втеченіе одной или двухъ тысячъ лѣтъ и сопротивленіе окажется значительно меньше; такимъ образомъ движеніе пробки или пули черезъ варъ, со скоростью одного дюйма въ 2000 лѣтъ, можетъ быть сравнено съ движеніемъ земли, движущейся со скоростью шесть разъ девяносто три милліона миль въ годъ или девятнадцать миль въ секунду³⁾ черезъ свѣто-

¹⁾ = десять сантиметровъ.

(Прим. перев.).

²⁾ = шесть разъ 149 милліоновъ километровъ въ годъ = 30 кило-

носный эфиръ; но, когда мы на самомъ дѣлѣ будемъ въ состояніи имѣть передъ собой вещество, упругое, какъ студень, и поддающееся, какъ варъ, мы получимъ твердое основаніе для вѣры въ умозрительную гипотезу существованія упругаго свѣтоноснаго эфира, — гипотезу, которая и составляетъ основаніе волновой теоріи свѣта.

О возрастѣ солнечнаго тепла.

[Перепечатано съ разрѣшенія изъ „Macmillan's Magazine“ за мартъ 1862 г.].

Второй великій законъ термодинамики влечетъ за собой извѣстный принципъ *необратимыхъ процессовъ въ природѣ*. Это показываетъ, что, хотя механическая энергія *неуничтожима*, однако существуетъ вообще склонность къ ея разсѣянью и это порождаетъ постепенное увеличеніе и диффузію тепла, прекращеніе движенія и истощеніе потенциальной энергіи по всей матеріальной вселенной¹⁾. Результатомъ всего этого неизбежно было бы состояніе всеобщаго покоя и смерти, если бы вселенная была конечна и была предоставлена повиноваться существующимъ законамъ. Но невозможно постичь предѣлъ протяженію матеріи во вселенной, и потому наука побуждаетъ насъ скорѣе допускать безконечное развитіе черезъ безконечное пространство дѣйствія, ведущаго къ превращенію потенциальной энергіи въ осязаемое движеніе, а оттуда въ тепло, чѣмъ смотрѣть на природу, какъ на одинъ конечный механизмъ, бѣгущій, какъ ча-

¹⁾ См. „О всеобщей склонности въ природѣ къ разсѣянью механической энергіи“ [On a Universal Tendency in Nature to the Dissipation of Mechanical Energy]. Протоколы Единбургскаго Королевскаго Общества, 19 апрѣля 1852; или Philosophical Magazine, октябрь, 1852; также, Mathematical and Physical Papers, томъ I, статья LIX²⁾.

(Прим. автора).

²⁾ Proc. Roy. Soc. Ed., 3, № 42, 139 — 142; Phil. Mag., (4), 4, 304—306, Math. and Phys. Pap., 1, 511—514.

(Прим. перев.).

метровъ въ секунду; замѣтимъ, что Томсонъ беретъ для простоты шесть разъ радіусъ земной орбиты, а не $6.283 = 2\pi$ разъ.

(Прим. перев.).

сы, и останавливающейся навсегда. Точно также невозможно постичь ни начало, ни продолжение жизни безъ участія творческой силы и потому нельзя считать ни одно изъ заключеній механики относительно будущаго состоянія земли вызывающимъ удручающій взглядъ на участь той расы разумныхъ существъ, которая теперь ее обитаетъ.

Цѣль настоящей статьи есть приложеніе этихъ общихъ принциповъ къ открытію вѣроятныхъ предѣловъ періодовъ времени, въ прошедшемъ и будущемъ, втеченіе которыхъ солнце можно разсматривать, какъ источникъ тепла и свѣта. Предметъ этотъ будетъ обсуждаться въ трехъ главахъ:

I. Вѣковое охлажденіе солнца

II. Настоящая температура солнца.

III. Происхожденіе и общая сумма солнечнаго тепла.

ЧАСТЬ I.

О вѣковомъ охлажденіи солнца.

Опредѣлить и едва ли даже оцѣнить самымъ грубымъ образомъ, насколько солнце охлаждается на самомъ дѣлѣ изъ года въ годъ, если только оно сколько нибудь охлаждается,—мы не имѣемъ никакихъ средствъ. Прежде всего, мы не знаемъ, теряетъ ли еще солнце вообще тепло. Ибо вполне достоверно, что *нѣкоторое тепло* порождается въ его атмосферѣ притокомъ метеорной матеріи; и возможно, что *количества* тепла, порождаемаго такимъ образомъ изъ года въ годъ, вполне достаточно, чтобы восполнять потерю черезъ излученіе. Возможно, однако, также, что солнце представляетъ собой теперь раскаленную добѣла жидкую массу, излучающую изъ себя тепло, которое или первоначально было сообщено творческой силой его веществу, или, что кажется гораздо болѣе вѣроятнымъ, было порождено паденіемъ въ него метеоровъ въ прошедшія времена безъ замѣтнаго восполненія содержанія тепла теперь продолженіемъ метеорнаго дѣйствія.

Было показано ¹⁾, что, если предыдущее вѣрно, то ме-

¹⁾ «О механическихъ энергіяхъ солнечной системы» [On the Mechanical Energies of the Solar System]. Труды Эдинбургскаго Королевскаго Общества за апрѣль 1854 г. и Philosophical Magazine, декабрь 1854. (Mathematical and Physical Papers, т. II, статья LXVI) ²⁾.

(Прим. автора).

²⁾ Trans. Roy. Soc. Ed., 21, I, 63—81; Phil. Mag., (4), 8, 409—430; Math. Phys. Pap., 2, 1—27. (Прим. перев.).

теоры, которыми порождалось солнечное тепло в продолженіе послѣднихъ 2,000 или 3,000 лѣтъ, должны были бы все это время находиться значительно ближе отъ солнца, чѣмъ земля, и поэтому должны были приближаться къ центральному тѣлу по очень постепенно сходящимся спиралямъ; ибо, если бы количество матеріи, достаточное для порожденія предполагаемаго тепловаго дѣйствія, упало на центральное тѣло изъ пространства за земной орбитой, то длина года стала бы очень замѣтно короче, вслѣдствіе того увеличенія массы солнца, которое имѣло бы при этомъ мѣсто. Количество матеріи, ежегодно падающей на солнце, должно было бы, при этомъ предположеніи, достигать $\frac{1}{47}$ массы земли или $\frac{1}{15,000,000}$ массы солнца, и потому необходимо было бы предположить, что масса «зодіакальнаго свѣта» достигаетъ, по крайней мѣрѣ, $\frac{1}{5,000}$ массы солнца, — чтобы такимъ же самымъ образомъ объяснить источникъ солнечнаго тепла еще на три тысячи лѣтъ впередъ. Когда такія заключенія появились въ первый разъ въ печати, было указано, что нужно искать «возмущеній въ движеніяхъ видимыхъ планетъ», такъ какъ они могутъ дать намъ средства для опредѣленія возможнаго количества матеріи въ зодіакальномъ свѣтѣ; и было высказано предположеніе, что его едва ли можетъ хватить на то, чтобы дать запасъ тепла на 30,000 лѣтъ при настоящей скорости лучеиспусканія. Эти предсказанія до нѣкоторой степени оправдались розысканіями Ле-Веррье надъ движеніемъ планеты Меркурія, давшими въ недавнее время очевидное указаніе замѣтнаго вліянія на движеніе этой планеты, — вліянія, которое можно приписать матеріи, обращающейся вокругъ солнца, въ видѣ большого числа небольшихъ планетъ, внутри орбиты Меркурія. Но указываемое этими изслѣваніями количество матеріи очень незначительно и потому, если метеорный потокъ, имѣющій мѣсто въ настоящее время, достаточенъ, чтобы породить какую нибудь замѣтную часть излучаемаго тепла, то нужно предположить, что онъ происходитъ отъ матеріи, обращающейся вокругъ солнца, на очень близкихъ разстояніяхъ отъ его поверхности. Плотность

этого метеорнаго облака нужно при этомъ предположить столь большою, что кометы едва ли могли бы выбѣгать изъ этого облака, между тѣмъ онѣ, на самомъ дѣлѣ, выбѣгаютъ, не обнаруживая послѣ прохожденія по поверхности солнца на разстояніи $\frac{1}{8}$ его радіуса отъ нея никакихъ замѣтныхъ вліяній сопротивленія. Если принять все это во вниманіе, то кажется остается мало вѣроятности въ гипотезѣ, по которой солнечное излученіе въ настоящее время пополняется, въ сколь нибудь замѣтной степени, тепломъ, порождаемымъ падающими на солнце метеорами; и, такъ какъ было показано, что кромѣ того ни одна химическая теорія не выдерживаетъ критики ¹⁾, то нужно прийти, какъ къ наиболѣе вѣроятному, къ заключенію, что солнце въ настоящее время представляетъ собой просто раскаленную добѣла жидкую охлаждающуюся массу ²⁾.

¹⁾ «Механическія энергіи солнечной системы». См. прим. 1 на стр. 245. (Прим. автора).

²⁾ «Если солнце представляетъ собой горящую массу, то оно должно быть болѣе похоже на горящій порошокъ, чѣмъ на огонь, горящій въ воздухѣ; и вполне постижимо, что твердая масса, содержащая въ самой себѣ всѣ элементы, требуемые для самосожженія, если только продукты горенія постоянно газообразны (въ этомъ отношеніи порошокъ не годился бы), могла бы сгорать по всей своей поверхности и, дѣйствительно, лучеиспускать тепло такъ же обильно, какъ солнце. Такимъ образомъ, огромный шаръ пороха, первоначально холодный, а затѣмъ зажженный по всей своей поверхности, могъ бы дойти до постоянной скорости сгорания, при чемъ какая либо внутренняя часть нагрѣвалась бы, благодаря теплопроводности, до температуры, достаточной для воспламененія, только тогда, когда къ ней достаточно приблизилась бы постепенно сокращающаяся поверхность. Вѣроятно, теплота сгорания не могла бы быть больше 4,000 тепловыхъ единицъ на фунтъ вещества)... Такая потеря матеріи... отнимала бы отъ массы солнца слой въ 0.5 фута толщиною въ минуту или миль въ 55 въ годъ... Если бы солнце горѣло съ такою же скоростью въ прошлыя времена, то оно должно было бы быть вдвое большаго діаметра, въ четыре раза большей нагрѣвательной силы и въ восемь разъ большаго объема всего 8,000 лѣтъ назадъ. Мы можемъ вполне спокойно заключить отсюда, что солнце не добываетъ своего тепла изъ химическихъ взаимодействій между частицами матеріи, принадлежащими искони къ его собственной массѣ, и потому, если мы даже удерживаемъ идею объ огнѣ, должны обратиться за топливомъ къ метеорной гипотезѣ... Наибольшее

На сколько солнце охлаждается изъ года въ годъ, становится поэтому вопросомъ очень серьезной важности, но это представляетъ собою одинъ изъ вопросовъ, на которые мы въ настоящее время совершенно не въ состояніи отвѣтить. Правда, у насъ есть данныя, на которыхъ мы могли бы, скрѣпя сердце, основать вѣроятную оцѣнку и изъ которыхъ мы могли бы съ увѣренностью, на первый взглядъ, кажущейся достаточно основательной, вывести предѣлы, не очень широкіе, между которыми должна лежать истинная скорость охлажденія солнца. Въ самомъ дѣлѣ мы знаемъ, изъ независимыхъ, но согласныхъ между собой изслѣдованій Гершеля и Пулье, что солнце излучаетъ каждый годъ съ цѣлой своей поверхности около 6×10^{30} (шесть милліоновъ милліоновъ милліоновъ милліоновъ) разъ больше тепла, чѣмъ нужно, чтобы поднять температуру 1 фунта воды на 1° Цельсія ¹⁾. Мы имѣемъ также серьезныя причины признавать, что вещество солнца подобно веществу земли. Ужь много лѣтъ, какъ излагаются въ Глазговскомъ университетѣ Стоксовскіе принципы солнечной и звѣздной химіи, причемъ, въ видѣ перваго результата, сообщается, что натрій, навѣрное, существуетъ въ атмосферѣ солнца и въ атмосферахъ многихъ звѣздъ, но что въ другихъ его нельзя открыть. Недавнее примѣненіе этихъ принциповъ въ блестящихъ изы-

изъ этихъ чиселъ [теплотъ сгоранія различныхъ веществъ другъ въ другъ]... выражаетъ только $\frac{1}{3000}$ часть наименьшаго количества механической энергіи, которую можетъ имѣть метеоръ, входя въ область воспламененія въ солнечной атмосферѣ ...Отсюда слѣдуетъ, что можно совсѣмъ откинуть мысль о сожженіи метеоровъ, какъ объ источникѣ солнечнаго тепла» («Механическія энергіи солнечной системы», *Math. and Phys. Pap.*, 2, 10—12). (Прим. перев.).

¹⁾ Или, 2.7×10^{30} разъ количество, потребное для поднятія температуры 1 килограмма воды на 1° Ц. т. е. 2.7×10^{30} большихъ калорій. Замѣтимъ, что Томсонъ беретъ для солнечной постоянной число Пулье (1838)—1.763 граммъ-калорій; если же взять среднее изъ чиселъ, полученныхъ Лэнглемъ (*Langley, Researches on Solar Heat, Washington, 1884*)—3.068, или число Ангстрёма (*Wied. Ann.*, 39, 310)—4.00, то получается 4.7×10^{30} и 6.1×10^{30} большихъ калорій.

(Прим. перев.).

сканіяхъ Бунзена и Кирхгофа (которые независимо открыли Стоксовскую теорію) доказало съ одинаковою достовѣрностью, что въ солнцѣ есть желѣзо, марганецъ и нѣкоторые изъ извѣстныхъ намъ другихъ металловъ. Теплоемкость каждаго изъ этихъ веществъ меньше теплоемкости воды, которая, дѣйствительно, превосходитъ теплоемкость всякаго другого извѣстнаго земного тѣла, твердаго или жидкаго. Поэтому можетъ показаться съ перваго взгляда вѣроятнымъ, что средняя теплоемкость ¹⁾ всего вещества солнца меньше,—и очень достовѣрнымъ, что она не можетъ быть много больше,—чѣмъ теплоемкость воды. Если бы она была равна теплоемкости воды, то намъ нужно было бы только раздѣлить предыдущее число (6×10^{30}), выведенное изъ наблюденій Гершеля и Пулье, на число фунтовъ (4.3×10^{30}) въ массѣ солнца ²⁾, чтобы найти для солнца годовую скорость охлажденія въ настоящее время равную $1^\circ.4$ Цельсія ³⁾. Поэтому можетъ казаться вѣроятнымъ, что солнце охлаждается больше, и почти достовѣрнымъ, что оно не охлаждается меньше, чѣмъ на одинъ и четыре десятыхъ градуса Цельсія ежегодно. Но, если бы эта оцѣнка была хорошо обоснована, то одинако-

¹⁾ «Теплоемкость» однороднаго тѣла есть количество тепла, которое должна пріобрѣсть или уступить единица его массы, чтобы температура его поднялась или упала на 1° . Средняя теплоемкость неоднородной массы или массы неоднороднаго вещества, различныя части котораго находятся подъ различными давленіями, есть количество тепла, которое все тѣло беретъ или отдаетъ, при повышеніи или пониженіи температуры на 1° , раздѣленное на число единицъ въ его массѣ. Выраженіе „средняя теплоемкость солнца“, находящееся въ текстѣ, означаетъ общую сумму тепла, на самомъ дѣлѣ излучающагося прочь отъ солнца, раздѣленную на его массу,—тепла, излучающагося за какое либо время, втеченіе котораго средняя температура его массы опускается на 1° , какія бы физическія или химическія измѣненія не испытывала любая часть его вещества.

(Прим. автора).

²⁾ Масса солнца= 1.95×10^{30} килограммовъ.

(Прим. перев.).

³⁾ Если принять число Лэнглэя, то получается не $1^\circ.4$, а $2^\circ.4$, а если число Ангстрёма, то $3^\circ.2$.

(Прим. перев.).

во справедливо было бы принять, что расширяемость солнца ¹⁾ отъ тепла не отличается сильно отъ расширяемости какого нибудь средняго земного тѣла. Если бы, на примѣръ, она была такой же, какъ расширяемость твердаго стекла, которая равняется приблизительно $\frac{1}{40,000}$ по объему, или $\frac{1}{120,000}$ по діаметру, на 1° Цел. (а для большинства земныхъ жидкостей, въ особенности при высокихъ температурахъ, расширяемость много больше) и если бы теплоемкость солнца была одинаковой съ теплоемкостью жидкой воды, то въ 860 лѣтъ произошло бы сокращеніе діаметра солнца на 1 процентъ ²⁾, что едва ли могло бы избѣжать того, чтобы быть обнаруженнымъ астрономическими наблюденіями. Однако есть гораздо болѣе убѣдительныя причины, чѣмъ эта, признавать, что такой размѣръ сокращенія вовсе не могъ имѣть мѣста, и заподозрить поэтому, что физическія условія массы солнца дѣлаютъ состояніе веществъ, изъ которыхъ оно составлено, очень — по отношенію къ расширяемости и теплоемкости — отличающимся отъ состоянія этихъ веществъ въ тѣхъ случаяхъ, когда надъ ними производятся опыты въ нашихъ земныхъ лабораторіяхъ. Взаимное притяженіе между различными частями сокращающейся массы солнца должно совершать нѣкоторое количество работы, которое нельзя вычислить съ достовѣрностью, такъ какъ неизвѣстенъ законъ внутренней плотности солнца. Количество работы, совершаемой при сокращеніи діаметра на одну десятую процента, если бы плотность оставалась одина-

¹⁾ «Расширяемость въ объемѣ» или «кубическая расширяемость» тѣла есть выраженіе, употребляемое въ техническомъ языкѣ для обозначенія отношенія увеличенія или уменьшенія объема тѣла, сопровождающаго повышеніе или пониженіе температуры его на 1°, ко всему объему его при нѣкоторой условленной температурѣ. Выраженіе «расширяемость солнца», употребленное въ текстѣ, можно принять за выраженіе, обозначающее отношеніе дѣйствительнаго сокращенія, происходящаго за время пониженія его средней температуры на 1° Цел., къ его настоящему объему. (Прим. автора).

²⁾ Принимая число Лэнгдэя, получимъ 490 лѣтъ, а Ангстрёма, — 380. (Прим. перев.).

ковой во всей внутренности солнца, было бы, какъ показалъ Гельмгольцъ, въ 20,000 разъ больше механическаго эквивалента того количества тепла, которое, по опредѣленію Пулье, излучается изъ солнца въ годъ. Но въ дѣйствительности плотность солнца должна очень сильно увеличиваться по направленію къ его центру, и, вѣроятно, величина этого увеличенія измѣняется по мѣрѣ того, какъ температура становится ниже и вся масса сокращается. Поэтому, мы не можемъ сказать, будетъ ли работа, которую на самомъ дѣлѣ совершаетъ взаимное тяготѣніе за время сокращенія діаметра на одну десятую процента, меньше или больше работы, эквивалентной теплу, излученному втеченіе двадцати тысячъ лѣтъ, но мы можемъ считать чрезвычайно вѣроятнымъ, что она не въ много разъ больше или меньше этого количества. Однако, въ высшей степени невѣроятно, что механическая энергія можетъ въ какомъ либо случаѣ увеличиваться въ тѣлѣ, сжимающемся вслѣдствіе охлажденія. Достовѣрно, что она, въ дѣйствительности, очень замѣтно уменьшается во всѣхъ случаяхъ, до сихъ поръ изслѣдованныхъ опытнымъ образомъ. Поэтому нужно предположить, что солнце всегда излучаетъ изъ себя въ видѣ тепла нѣсколько больше того количества тепла, которое эквивалентно работѣ, совершаемой надъ его сокращающейся массой взаимнымъ притяженіемъ ея частей. Отсюда слѣдуетъ, что, сокращаясь на одну десятую процента въ своемъ діаметрѣ или на три десятыхъ процента въ своемъ объемѣ, солнце должно испустить количество тепла, или большее, или не многимъ меньшее того тепла, которое соотвѣтствуетъ излученію въ двадцать тысячъ лѣтъ; такимъ образомъ, даже безъ историческихъ доказательствъ постоянства его діаметра, кажется вполне надежнымъ заключеніе, что въ дѣйствительности вовсе не могло имѣть мѣста такое сокращеніе, какъ то, которое выше вычислено (одинъ процентъ въ 860 лѣтъ). Наоборотъ, кажется вѣроятнымъ, что, при настоящей скорости излученія, сокращеніе на одну десятую процента въ діаметрѣ солнца не могло имѣть мѣста въ промежутокъ времени, много меньшій 20,000 лѣтъ, и едва ли возможно, чтобы такое сокращеніе могло произой-

ти меньше, чѣмъ въ 8,600 лѣтъ ¹⁾. Если, далѣе, средняя теплоемкость массы солнца, въ его настоящемъ состояніи, не болѣе, чѣмъ въ десять разъ, больше теплоемкости воды, то расширяемость по объему должна быть меньше $\frac{1}{4000}$ на 100° Цел. (т. е. меньше $\frac{1}{10}$ расширяемости твердаго стекла), что невѣроятно. Но, хотя на основаніи этихъ разсужденій мы склонны считать вѣроятнымъ, что теплоемкость солнца значительно больше, чѣмъ 10 разъ взятая теплоемкость воды (и что поэтому его масса охлаждается значительно меньше, чѣмъ на 100° Цел. въ 700 лѣтъ, — заключеніе, котораго мы, на самомъ дѣлѣ, едва ли могли бы миновать просто на геологическихъ основаніяхъ), однако физическіе принципы, на которыхъ мы теперь основываемся, не въ состояніи дать намъ какую либо причину предполагать, что теплоемкость солнца болѣе, чѣмъ въ 10,000 разъ, больше теплоемкости воды, потому что мы не можемъ сказать, что вѣроятно, чтобы его расширяемость по объему была больше $\frac{1}{400}$ на 1° Цел.. А есть, — на иномъ основаніи, — очень убѣдительныя причины признавать, что теплоемкость эта, на самомъ дѣлѣ, много меньше, чѣмъ 10,000. Ибо почти достовѣрно, что средняя температура солнца даже теперь достигаетъ 14,000° Цел.; а наибольшее количество тепла, приобрѣтеніе котораго солнцемъ вслѣдствіе естественныхъ причинъ мы можемъ объяснить съ какою либо вѣроятностью (какъ мы это увидимъ въ третьей части этой статьи), не могло никогда поднять его массу до этой температуры, если бы только его теплоемкость не была меньше взятой 10,000 разъ теплоемкости воды.

Поэтому мы можемъ считать вполне вѣроятнымъ, что теплоемкость солнца болѣе, чѣмъ въ десять разъ, и меньше, чѣмъ въ 10,000 разъ больше теплоемкости жидкой воды. Отсюда слѣдовало бы съ достовѣрностью, что его температура

¹⁾ Замѣтимъ, что при принятіи числа Лэнглена или Ангстрёма всѣ эти разсужденія получаютъ еще болѣшую силу и убѣдительность.

(Прим. перев.).

опускается на 100° Цел. въ нѣкоторый промежутокъ времени, заключающійся между 700 лѣтъ и 700,000 лѣтъ.

Какъ же тогда нужно намъ смотрѣть на такія геологическія оцѣнки, какъ 300,000,000 лѣтъ для «обнаженія Вельда»? ¹⁾ Какое же предположеніе вѣроятнѣе: то ли, что отличіе физическихъ условій матеріи солнца отъ условій матеріи въ нашихъ лабораторіяхъ въ 1,000 разъ больше того отличія, предположить которое заставляеть насъ механика; или то, что бурное море, имѣющее, можетъ быть, такіе же крайне буйные приливы, какіе бывають въ каналѣ ²⁾, захватываетъ утесистый мѣловой берегъ въ 1,000 разъ быстрее, чѣмъ происходитъ это по расчету Дарвина, — по одному дюйму въ столѣтіе?

¹⁾ Именемъ Вельда [Weald] обозначаются въ геологіи мѣловыя формации, называющіяся такъ по имени мѣстности Вельденъ [Wealden], въ Суссексѣ [Sussex]. Здѣсь, понятно, идетъ рѣчь только о тѣхъ формаціяхъ, которыя встрѣчаются въ этомъ именно графствѣ.

(Прим. перев.).

²⁾ With possibly channel tides, — по всей вѣроятности Томсонъ говоритъ здѣсь о Ла-Маншѣ.

(Прим. перев.).

ЧАСТЬ II.

О настоящей температурѣ солнца.

У поверхности солнца его температура не можетъ,—и мы имѣемъ много причинъ признавать это,—быть несравненно выше температуръ, искусственно достигаемыхъ въ нашихъ земныхъ лабораторіяхъ.

Среди другихъ причинъ можно упомянуть, что солнце излучаетъ изъ себя тепло съ cadaго квадратнаго фута своей поверхности въ размѣрѣ только около 7,000 лошадиныхъ силъ ¹⁾.

¹⁾ Одна лошадиная сила въ механикѣ есть техническое выраженіе (основанное на опредѣленіяхъ Уатта), употребляемое для обозначенія такой скорости работы, при которой вырабатывается энергія со скоростью 33,000 фунто-футовъ въ минуту. Этой работы, согласно опредѣленію Джудемъ механическаго эквивалента тепла, было бы, если бы она полностью затрачивалась на нагрѣваніе, достаточно, чтобы повышать температуру $23\frac{3}{4}$ фунтовъ воды на 1° Цел. въ минуту ²⁾.

(Прим. автора).

²⁾ Русская лошадиная сила (15 пудофуртовъ или 600 фунто-фуртовъ въ секунду) нѣсколько меньше той „horse-power“ Уатта, о которой здѣсь говорится, потому что англійскій фунтъ=1.1076 русскаго фунта, а слѣдовательно, и horse-power=550 англійскихъ фунто-фуртовъ въ секунду=609.18 русскихъ фунто-фуртовъ въ секунду=1.0153 русской лошадиной силы=76 килограммо-метровъ въ секунду. Затраченная на нагрѣваніе, она повышаетъ въ одну минуту температуру 10.8 килограммовъ на воды 1° Ц.

Замѣтимъ, что, если принять болѣе высокія данныя Лэнгленя и Ангстрёма для солнечной постоянной, то для солнечнаго лучейспусканія получается не 75,400 лошадиныхъ силъ на квадратный метръ (=7,000 силъ на квадратный футъ), а 104,000 и 171,000 силъ.

(Прим. перев.).

Уголь, сгорая со скоростью, нѣсколько меньшею одного фунта въ двѣ секунды, породилъ бы такое же количество тепла; а найдено (Ренкинъ, Лучшіе двигатели [Prime Movers], стр. 285, изд. 1852 г.), что въ печахъ паровозовъ уголь сгораетъ со скоростью отъ одного фунта въ тридцать секундъ до одного фунта въ девяносто секундъ на каждый квадратный футъ рѣшетки ¹⁾. Отсюда, тепло излучается солнцемъ со скоростью не болѣе, чѣмъ отъ пятнадцати до сорока пяти разъ, болѣе, чѣмъ та, съ которою порождается тепло на рѣшеткахъ печи локомотива,—если произвести расчетъ на одинаковую площадь ²⁾.

Внутренняя температура солнца, вѣроятно, много выше, чѣмъ температура у его поверхности, потому что непосредственная теплопроводность не можетъ играть замѣтной роли въ переносѣ тепла между внутренней и внѣшней частью его массы и должно существовать приблизительное конвективное равновѣсіе тепла во всей массѣ, если вся масса жидкая. Это значитъ, что температуры, на различныхъ разстояніяхъ отъ центра, должны быть приблизительно равны тѣмъ, которыя приобрѣла бы вслѣдствіе расширенія безъ потери или прибыли тепла любая часть вещества, при перенесеніи отъ центра къ поверхности.

¹⁾ При расчетѣ на квадратный метръ поверхности солнца и рѣшетокъ получается менѣе 4.9 килограммовъ угля въ 2, 30 и 90 секундъ.

(Прим. перев.).

²⁾ Если принять не число Пулье, а число Лэнгленя или Ангстрёма, то получается скорость, не въ 15—45, а въ 26—78 и въ 34—102 раза болѣе.

(Прим. перев.).

ЧАСТЬ III.

О происхожденіи и общей суммѣ солнечнаго тепла.

Если принимать, по причинамъ, выше указаннымъ, что солнце есть накаленное добѣла жидкое тѣло, теряющее теперь тепло, то естественно приходитъ въ голову вопросъ «Откуда произошло это тепло?» Достоверно, что оно не могло существовать въ солнцѣ втеченіе безконечно-большаго прошедшаго времени, такъ какъ оно все время, пока солнце существовало такимъ образомъ, должно было испытывать разсѣяніе, а конечность солнца исключаетъ возможность предположенія существованія безконечно-большаго первоначальнаго запаса тепла въ этомъ тѣлѣ.

Поэтому, или солнце верховнымъ повелѣніемъ должно было быть создано, какъ активный источникъ тепла, въ нѣкоторое время не неизмѣримой древности; или же тепло, которое оно уже излучило изъ себя и которымъ оно до сихъ поръ обладаетъ, должно было быть приобрѣтено вслѣдствіе нѣкоторыхъ естественныхъ процессовъ, подчиняющихся неизмѣнно установленнымъ законамъ. Не объявляя перваго предположенія такимъ, которому нельзя было бы, по существу его, вѣрить, мы можемъ спокойно сказать, что оно въ высшей степени невѣроятно, если мы сможемъ показать, что другое предположеніе не противорѣчитъ извѣстнымъ физическимъ законамъ. А мы дѣйствительно можемъ показать это, обративъ только вниманіе на нѣкоторыя явленія, которыя продолжаются на нашихъ глазахъ въ настоящее время и которыя, если они были достаточно изобиль-

ны въ прошедшія времена, должны были дать солнцу количество тепла, вполне достаточное для того, чтобы можно было объяснить все то, что мы знаемъ о прошедшемъ излученіи солнца и настоящей его температурѣ.

Въ данную минуту не представляется необходимости входить подробно въ детали, касающіяся метеорной теоріи, которая, кажется, впервые была предложена въ опредѣленной формѣ Майеромъ и потомъ, независимо, Ватерстономъ,—или въ детали, касающіяся видоизмѣненной гипотезы метеорныхъ вихрей, которая, какъ показалъ авторъ настоящей статьи, необходима для того, чтобы длина года, какъ она извѣстна за послѣдніе 2,000 лѣтъ, могла не измѣниться замѣтно вслѣдствіе тѣхъ приростовъ, которые масса солнца должна была получать втеченіе этого періода, еслибы тепло, излучаемое отъ него, всегда пополнялось тепломъ, порождаемымъ метеорнымъ потокомъ.

Вслѣдствіе причинъ, упомянутыхъ въ первой части настоящей статьи, мы можемъ теперь признать, что всѣ теоріи полного или почти полного современнаго метеорнаго пополненія тепла должны быть откинута; но мы тѣмъ не менѣе можемъ придерживаться того мнѣнія, что

«Не только доказано, что... метеорное дѣйствіе... существуетъ, какъ причина солнечнаго тепла, но это—единственная изъ всѣхъ постижимыхъ причинъ, въ существованіи которыхъ мы убѣждаемся изъ независимыхъ доказательствъ¹⁾».

Тотъ видъ метеорной теоріи, который кажется теперь наиболѣе вѣроятнымъ и который былъ впервые разобранъ на основаніи истинныхъ принциповъ термодинамики Гельмгольтцемъ²⁾, состоитъ въ предположеніи, что солнце и его тепло произошли отъ соединенія менѣе значительныхъ тѣлъ, упавшихъ другъ на друга вслѣдствіе взаимнаго тяготѣнія и породившихъ, какъ они и должны были сдѣлать это согласно съ великимъ зако-

¹⁾ „Механическія энергіи солнечной системы“. Смотри примѣчаніе 1 на стр. 245. (Прим. автора).

²⁾ Популярная лекція, прочтенная 1-го февраля 1854 г. въ Кенигсбергѣ по случаю чествованія памяти Канта³⁾. (Прим. автора).

³⁾ Münch. gel. Anz., 41, 2, стр. 59—61. (Прим. перев.).

номъ, доказаннымъ Джулемъ, точный тепловой эквивалентъ движенія, потеряннаго при соудареніи ¹⁾).

Въ томъ, что какой нибудь видъ метеорной теоріи представляетъ собой, навѣрное, истинное и полное объясненіе солнечнаго тепла, врядъ ли можно сомнѣваться, если принять во вниманіе слѣдующія причины:

(1). Нельзя допустить никакого другого естественнаго объясненія, за исключеніемъ объясненія химическимъ дѣйствіемъ.

(2). Химическая теорія вполнѣ неудовлетворительна, потому что, если бы наиболѣе энергичное химическое дѣйствіе, какое мы знаемъ, произошло между веществами, размѣры которыхъ доходили бы до массы цѣлаго солнца, то оно породило бы количество тепла, достаточное для излученія его втеченіе только около 3,000 лѣтъ ²⁾).

(3). Не представляетъ никакого затрудненія объяснить метеорной теоріей полученіе тепла, достаточнаго на 20,000,000 лѣтъ.

Чтобы объяснить вполнѣ тѣ принципы, на которыхъ основана эта послѣдняя оцѣнка, пришлось бы слишкомъ растянуть настоящую статью и потребовалось бы ввести нѣкоторыя математическія вычисленія. Достаточно сказать, что тѣла, каждое изъ которыхъ много меньше солнца, падая другъ на друга изъ состоянія относительнаго покоя со взаимныхъ разстояній, которыя всѣ велики по сравненію съ ихъ діаметрами, и образуя шаръ однородной плотности, равный по массѣ и по діаметру солнцу, породили бы такое количество тепла, что, если точно вычислить его на основаніи принциповъ Джуля и опытныхъ данныхъ, то оно оказывается какъ разъ въ 20,000,000 разъ больше годоваго размѣра солнечнаго излученія по опредѣленію Пулье. Плотность солнца должна, по всѣмъ вѣроятіямъ, очень сильно увеличиваться по направленію къ его центру и потому нужно предполагать, что значительно большее количество тепла, чѣмъ это, было бы порождено, если бы вся его масса образовалась

¹⁾ См. слѣдующую статью „О солнечномъ теплѣ“, гдѣ этотъ вопросъ разбирается подробнѣе. (Прим. перев.).

²⁾ „Механическія энергіи солнечной системы“. Смотри примѣчаніе 1 на стр. 245. (Прим. автора).

изъ соединенія сравнительно небольшихъ тѣлъ. Съ другой стороны, мы не знаемъ, сколько тепла могло быть разсѣяно на сопротивленіе и болѣе мелкія столкновенія до окончательнаго соединенія; но есть причины предполагать, что даже самое быстрое соединеніе, какое мы можемъ представить себѣ имѣвшимъ, вѣроятно, мѣсто, могло оставить этому законченному шару только приблизительно половину всего того тепла, которое произошло на счетъ потерянной потенціальной энергіи взаимнаго тяготѣнія. Мы можемъ, поэтому, принять за наименьшую оцѣнку начальнаго тепла солнца взятый 10,000,000 разъ годовою расходъ тепла при настоящей скорости потери его, а вслѣдствіе большей плотности солнца въ его центральныхъ частяхъ мы можемъ за возможную оцѣнку принять отъ 50,000,000 до 100,000,000 разъ большее количество, чѣмъ то, которое ежегодно имъ излучается ¹⁾).

Въ этой статьѣ, выше приведенныя разсужденія, относительно возможной теплоемкости, скорости охлажденія и температуры солнца, дѣлаютъ вѣроятнымъ, что милліонъ лѣтъ тому назадъ оно было очень замѣтно теплѣе, чѣмъ теперь; и, слѣдовательно, если оно существуетъ, какъ свѣтило, десять или двадцать милліоновъ лѣтъ, то оно должно было излучить изъ себя количество тепла, значительно большее, чѣмъ увеличенный въ это число разъ настоящій годовою размѣръ потери тепла.

Поэтому, въ концѣ концовъ, кажется наиболѣе вѣроятнымъ, что солнце не освѣщаетъ земли 100,000,000 лѣтъ, и почти достовѣрнымъ, что оно не освѣщаетъ ея 500,000,000 лѣтъ. Что же касается до будущаго, то мы, съ одинаковой достовѣрностью, можемъ сказать, что обитатели земли не будутъ въ состояніи еще много милліоновъ лѣтъ продолжать наслаждаться свѣтомъ и тепломъ, существенно необходимыми для ихъ жизни, если только въ великихъ кладезяхъ мірозданія не запасены еще неизвѣстные намъ источники ихъ.

¹⁾ Принимая числа Лэнгеля или Ангстрёма, мы получимъ не 10, 50 и 100 милліоновъ, а 6, 30 и 60 или 4, 20 и 40 милліоновъ.

(Прим. перев.).

О солнечномъ теплѣ.

(Пятничное вечернее чтеніе въ Великобританскомъ Королевскомъ Институтѣ 21 января 1887 г.: смотри также Good Words за мартъ и апрѣль 1887 года).

Изъ исторіи народовъ мы знаемъ, что втеченіе нѣсколькихъ тысячъ лѣтъ солнце давало тепло и свѣтъ землѣ такъ же, какъ и въ настоящее время,—причемъ, можетъ быть, происходили нѣкоторыя значительныя колебанія и, можетъ быть, нѣкоторое, не очень малое, прогрессивное измѣненіе. Лѣтописи земледѣлія и естественная исторія растений и животныхъ въ предѣлахъ историческаго времени изобилуютъ очевидными указаніями на то, что за послѣдніе три тысячи лѣтъ не произошло никакихъ чрезвычайно большихъ измѣненій въ напряженіи солнечнаго тепла и свѣта; но однако во всякомъ случаѣ могли быть измѣненія, доходящія до 5 или 10 процентовъ, какъ мы можемъ судить, если примемъ во вниманіе, что напряженіе солнечнаго излученія землѣ на $6\frac{1}{2}$ процентовъ больше въ январѣ, чѣмъ въ іюль, — а ни у экватора, ни въ сѣверномъ или южномъ полушаріяхъ эта разница не была обнаружена какимъ либо опытомъ или простымъ наблюденіемъ. Но, что касается до самаго возраста солнца, независимо отъ вопроса о равномерности излученія, то у насъ есть доказательства промежутка времени, значительно большаго, чѣмъ три тысячи лѣтъ,—въ геологической исторіи, съ ея неопровержимо очевидными указаніями непрерывности жизни на землѣ въ прошедшія времена втеченіе десятковъ тысячъ и вѣроятно втеченіе миллионныхъ лѣтъ.

Вотъ, слѣдовательно, намъ превосходный предметъ для размышленія и изслѣдованія въ Натуральной Философіи или Физикѣ—наукѣ о мертвой матеріи. Солнце, простой кусокъ вещества тѣхъ умѣренныхъ размѣровъ, которые, мы всѣ знаемъ, оно имѣетъ, ограниченное со всѣхъ сторонъ холоднымъ эфиромъ¹⁾, совершало работу со скоростью четырехсотъ семидесяти шести тысячъ триллионовъ лошадиныхъ силъ²⁾ втеченіе трехъ тысячъ лѣтъ и, можетъ быть, съ большей и, навѣрное, съ не многимъ меньшей скоростью втеченіе нѣсколькихъ миллионныхъ лѣтъ. Какимъ образомъ это объяснить? Натуральная философія не можетъ избѣгать этого вопроса и ни одинъ физикъ, который не попытался попробовать отвѣтить на него, не можетъ имѣть никакого иного оправданія, какъ только то, что все его рабочее время занято изслѣдованіями надъ какимъ либо другимъ предметомъ или предметами его области,—изслѣдованіями, при посредствѣ которыхъ онъ можетъ надѣяться нѣсколько болѣе подвинуть впередъ науку.

Можетъ быть принято, какъ установленный результатъ на-

¹⁾ Солнце согрѣваетъ и освѣщаетъ землю чрезъ посредство волнообразнаго движенія, возбуждающагося вслѣдствіе его бѣло-калильной температуры и передающагося черезъ вещество, обыкновенно называемое свѣтоноснымъ эфиромъ,—вещество, которое наполняетъ все пространство до самыхъ отдаленныхъ звѣздъ и имѣетъ свойство передавать лучистое тепло (или свѣтъ), не нагрѣваясь само при этомъ. Я думаю, что я имѣю право опустить прилагательное свѣтоносный, потому что среда, находящаяся очемъ высоко надъ поверхностью земли, черезъ которую до насъ доходитъ солнечное тепло (или свѣтъ) и чрезъ которую двигаются планеты, была названа эфиромъ за 2,000 лѣтъ до того, какъ химики стали злоупотреблять этимъ названіемъ для «сѣрнаго эфира», «хлористаго эфира» и другихъ соединеній, которыя почему то считали особенно эфирными; и я уповаю, что химики нынѣшнихъ дней не разсердятся на меня, если я буду употреблять слово эфиръ, просто на просто, для обозначенія той среды, волнообразныя движенія которой составляютъ лучистое тепло (или свѣтъ). (Прим. автора.)

²⁾ 476×10^{21} horse-power = 482×10^{21} лошадиныхъ силъ; замѣтимъ снова, что, если взять числа Лэнгеля и Ангстрёма (см. прим. 1 на стр. 248), то вмѣсто 482 получится 839 и 1095 тысячъ триллионовъ лошадиныхъ силъ. (Прим. перев.)

учныхъ изысканій, что солнце *не* есть горящій огонь, но что *оно есть* просто раскаленная добѣла жидкая охлаждающаяся масса, причемъ въ этой массѣ происходитъ нѣкоторое небольшое добавленіе свѣжей энергіи метеорами, случайно падающими въ нее, — добавленіе, имѣющее однако очень небольшое значеніе по сравненію со всей той тепловой энергіей, которую солнце отдаетъ изъ года въ года. Гельмгольтцевскую форму метеорной теоріи происхожденія солнечнаго тепла можно признать теоріей, имѣющей высшую степень научнаго вѣроятія, какую только можно приписать какому либо предположенію, касающемуся событій доисторическихъ временъ. Существенное основаніе этого объясненія заключается въ слѣдующемъ: въ нѣкоторый періодъ времени, въ далекомъ прошедшемъ, начальное тепло солнца было порождено столкновеніемъ, предварительно находившихся на разстояніи въ пространствѣ, кусковъ вещества, притянувшихся затѣмъ другъ къ другу вслѣдствіе взаимнаго тяготѣнія и образовавшихъ настоящую массу солнца; и уменьшеніе объема солнца, зависящее отъ охлажденія, даетъ, благодаря работѣ, совершаемой взаимнымъ притяженіемъ всѣхъ частей сжимающейся массы, тотъ обширный источникъ выдѣленія тепла, вслѣдствіе которой охлажденіе было, и продолжаетъ быть, такимъ медленнымъ.

Въ нѣкоторыхъ, въ иномъ отношеніи превосходныхъ, книгахъ «парадоксально» излагается, что солнце становится горячѣе вслѣдствіе уплотненія ¹⁾. Парадоксы не имѣютъ мѣста

¹⁾ [Примѣчаніе отъ 21-го февраля 1887 г. Тотъ «парадоксъ», на который я ссылаюсь здѣсь, есть, какъ я теперь вижу, просто невѣрное изложеніе (ошибочное и очевидно парадоксальное вслѣдствіе пропуска одного существеннаго условія) поразительнаго и въ высшей степени важнаго заключенія, находящагося въ статьѣ Дж. Гомера Лэна, которая появилась въ American Journal of Science за июль 1870 г. (болѣе подробная ссылка на нее ниже, на стр. 282). Въ Ньюкомбовской *Популярной Астрономіи* [Popular Astronomy], первое изданіе, стр. 508, этотъ пропускъ пополненъ въ выноскѣ, дающей ясное популярное изложеніе механическихъ основъ заключенія Лэна; этотъ вопросъ подобнымъ же образомъ объясненъ въ *Исторіи Небесъ* [Story of the Heavens] Болла, стр. 501, 502 и 503, съ полнымъ исключеніемъ этого „парадокса“. И я теперь поль-

въ наукѣ. Удаленіе ихъ есть подстановка вмѣсто ложныхъ положеній и мыслей—истинныхъ, подстановка, не всегда выполняемая такъ легко, какъ въ настоящемъ случаѣ. Здѣсь истина заключается въ слѣдующемъ: солнце становится менѣе горячо *въ мѣстахъ равной плотности*, — и вотъ вслѣдствіе этого-то масса его и можетъ постепенно поддаваться уплотняющему дѣйствию силы тяжести; и такимъ образомъ изъ году въ годъ охлажденіе и уплотненіе продолжаются совмѣстно.

Существенная подробность Гельмгольтцевской теоріи солнечнаго тепла заключается въ томъ, что солнце должно быть жидкимъ тѣломъ; потому что, будь оно твердымъ тѣломъ, то, даже если бы въ какой либо данный моментъ оно было на столько горячо—отъ поверхности до любой глубины, какъ бы велика ни была эта глубина, — чтобы быть ярко накаленнымъ, проводимость тепла извнутри черезъ твердое вещество наивысшей проводящей способности, какую только мы знаемъ, была бы недостаточна, чтобы поддержать накаленность поверхности добѣла долѣе нѣсколькихъ часовъ, послѣ чего наступила бы полная темнота. Наблюденіе подтверждаетъ это заключеніе, поскольку дѣло идетъ о внѣшнемъ видѣ солнца, но оно является недостаточнымъ, чтобы опровергнуть мысль, которая была такъ краснорѣчиво высказана сэромъ Джономъ Гершелемъ и которая господствовала еще тридцать или сорокъ лѣтъ тому назадъ, — мысль, что солнце представляетъ собой твердое ядро, заключенное въ оболочку изъ бурно волнуемаго пламени. Въ дѣйствительности, вещество наружной скорлупы солнца, отъ которой излучается тепло во внѣшнее пространство, должно, охлаждаясь, становиться болѣе плотнымъ и, становясь такимъ образомъ неустойчивымъ въ своемъ верхнемъ положеніи, должно падать внизъ, а болѣе горячая жидкость извнутри должна устремляться наверхъ, чтобы занять ея мѣсто. Ужасные потоки, непрерывно происходящіе такимъ образомъ въ этой громадной массѣ пылаю-

зуюсь случаемъ исправить сдѣланную мною второпяхъ поправку этого „парадокса“ напечатаніемъ курсивомъ четырехъ словъ, прибавленныхъ къ 8 строкъ этого отрывка.—В. Т.]. (Прим. автора).

щей жидкости, составляют область недавно развившейся науки,—физики солнца,—которая, съ ея дивнымъ приборомъ для изслѣдованія,—спектроскопомъ,—съ каждымъ годомъ и днемъ даетъ намъ все больше и больше свѣдѣній о теперешнихъ движеніяхъ различныхъ составныхъ частей солнца и о вызываемыхъ этими движеніями великолѣпныхъ и имѣющихъ огромное значеніе явленійхъ.

Чтобы составить себѣ нѣкоторое понятіе о количествѣ тепла, которое непрерывно подымается на поверхность солнца и излучается съ нея въ пространство, и о механическихъ соотношеніяхъ между нимъ и солнечнымъ тяготѣніемъ, раздѣлимъ сначала это чудовищное число (476×10^{21}) лошадиныхъ силъ на число (6.1×10^{18}) квадратныхъ метровъ ¹⁾ поверхности

¹⁾ Квадратный метръ есть приблизительно $10^{3/4}$ (ближе, 10.764) квадратныхъ футовъ или одинъ и одна пятая квадратнаго ярда (ближе, 1.196 квадратнаго ярда). Метръ немного меньше 40 дюймовъ (39.37 дюймовъ = 3.281 фута = 1.094 ярда). Километръ, который намъ скоро придется употреблять, будучи равенъ тысячѣ метровъ, представляетъ собой, такъ сказать, короткую милю (0.6214 англійской казенной мили). Такимъ образомъ, въ круглыхъ числахъ 62 казенныхъ мили равны 100 километрамъ и 161 километръ равенъ 100 казеннымъ милямъ. Ужасный и ненужный налогъ на умственные способности и трата ихъ, вызываемые употребленіемъ англійской системы дюймовъ, футовъ, ярдовъ, першей или жезловъ или шестовъ [perches or rods or poles], цѣпей [chains], фёрлонговъ [furlongs], англійскихъ казенныхъ миль, морскихъ миль, квадратный жезлъ [rod] ($30^{1/4}$ квадратныхъ ярдовъ)! рута [rood] (1210 квадратныхъ ярдовъ)! акръ (4 руты) ²⁾, — могутъ служить мнѣ защитой, но это есть только часть причинъ, вслѣдствіе которыхъ я не считаю поверхность солнца въ акрахъ, его дѣятельность въ лошадиныхъ силахъ на квадратный дюймъ или на квадратный футъ, и его радиусъ и разстояніе земли отъ него въ англійскихъ казенныхъ миляхъ и употребляю исключительно систему съ однимъ наименованіемъ, введенную французами девяносто лѣтъ назадъ и находящуюся теперь въ общемъ употребленіи во всѣхъ цивилизованныхъ странахъ свѣта за исключеніемъ Анг-

²⁾ Русская система миль, верстъ, сажень, аршинъ, футовъ, вершковъ, дюймовъ, сотокъ, линий, десятиныхъ и проч. врядъ ли уступитъ въ запутанности англійской.

(Прим. перев.).

солнца; мы найдемъ 78,000 лошадиныхъ силъ ¹⁾, какъ механической эквивалентъ излученія съ квадратнаго метра. Вообразите, затѣмъ, что паровыя машины съ восьми броненосцевъ приспособлены, при посредствѣ идеальнаго механизма изъ безчисленнаго множества стержней, блоковъ и ремней, къ тому, чтобы затрачивать всю свою полезную работу, скажемъ, 10,000 лошадиныхъ силъ каждая, на непрерывное приведеніе въ движеніе одной небольшой лопасти въ жидкости, содержащейся въ кадкѣ въ квадратный метръ. Въ этомъ случаѣ то же самое количество тепла издавалось бы квадратнымъ метромъ поверхности жидкости, какое издается каждымъ квадратнымъ метромъ поверхности солнца.

Но теперь, чтобы перейти отъ практически невозможной комбинаціи паровыхъ машинъ и физически невозможной лопасти и жидкости и содержащей ее кадки къ болѣе практической комбинаціи матерьяловъ, которая производила бы то же самое дѣйствіе,—удержите еще идеальную лопасть и жидкость, но помѣстите лопасть на поверхность холоднаго, твердаго, однороднаго шара тѣхъ же размѣровъ (697,000 километровъ радиусомъ), какъ солнце, и плотности (1.4), равной средней плотности солнца. Вмѣсто того, чтобы употреблять паровую силу, пусть лопасть приводится въ движеніе грузомъ, опускающимся въ шахту, выкопанную подъ кадкой. Какъ самый простой возможный механизмъ, возьмите длинный вертикальный стержень, на верхушкѣ котораго придѣлана лопасть, такъ, чтобы

ли и Соединенныхъ Штатовъ Сѣверной Америки ²⁾. Англійская тонна равна 1.016 французской тонны или вѣса кубическаго метра холодной воды (1.016 килограммовъ). Французская тонна, въ 1000 килограммовъ, есть 0.9842 англійской тонны. Такимъ образомъ для многихъ практическихъ вычисленій, таковыхъ, какъ вычисленія настоящей статьи, можно пренебречь разницею между англійской и французской тонной.

(Прим. автора).

¹⁾ 78,000 horse-power = 79,100 русскихъ лошадиныхъ силъ; если же принять число Лэнгеля или Ангстрёма, то получается 138,000 и 175,000 лошадиныхъ силъ.

(Прим. перев.).

²⁾ Россію Томсонъ, по всей вѣроятности, не причисляетъ къ цивилизованнымъ странамъ.

(Прим. перев.).

она вращалась горизонтально. Пусть грузомъ будетъ гайка, работающая на винтовой нарезкѣ, сдѣланной на этомъ вертикальномъ стержнѣ, съ направляющими, которые бы препятствовали гайкѣ вращаться,—причемъ винтъ и направлятели всѣ безусловно лишены тренія. Пусть шахта будетъ въ квадратный метръ у своего верхняго конца и пусть она будетъ прорыта внизъ до самаго центра солнца, будучи вездѣ квадратнаго поперечнаго сѣченія и равномерно заостряясь въ точку въ центрѣ. Пусть грузомъ будетъ самое вырытое вещество массы солнца, снабженное только небольшимъ просвѣтомъ между нимъ и четырьмя сторонами шахты и отрѣзанное на километръ или около того у нижняго остроконечнаго конца, чтобы было мѣсто для его спуска. Масса этого груза есть 326 милліоновъ тоннъ. Его вѣсъ, три четверти вѣса равной ему массы у поверхности солнца ¹⁾, есть 244 милліона тоннъ вѣса на поверхности солнца. Далѣе, лошадиная сила, въ часъ, есть 270 тоннъ-метровъ вѣса

¹⁾ Пусть средняя плотность солнца ρ , радиусъ— R ; тогда масса нашей пирамиды будетъ $\frac{1}{3} \rho R$ (основаніе равно 1), масса солнца $\frac{4}{3} \pi \rho R^3$, — и вѣсъ массы этой пирамиды на поверхности солнца, въ единицахъ системы всемірнаго тяготѣнія, будетъ:

$$P = \frac{\frac{1}{3} \rho R \cdot \frac{4}{3} \pi \rho R^3}{R^2} = \frac{4}{9} \pi \rho^2 R^2.$$

Чтобы получить истинный вѣсъ пирамиды, P' , раздѣлимъ ее на рядъ слоевъ концентрическими поверхности солнца сферами. Масса отрѣзка пирамиды, заключеннаго между сферами радиусовъ r и $r + dr$, будетъ $\rho \cdot \frac{r^2}{R^2} \cdot dr$, а такъ какъ на него дѣйствуетъ только сфера радиуса r , то ея вѣсъ будетъ:

$$dP' = \frac{\rho \frac{r^2}{R^2} dr \cdot \frac{4}{3} \pi \rho r^3}{r^2} = \frac{4}{3} \pi \rho^2 \frac{r^2}{R^2} dr.$$

Отсюда:

$$P' = \int dP' = \frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} \int_0^R r^2 dr = \frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} \cdot \frac{R^3}{3} = \frac{4}{9} \pi \rho^2 R^2,$$

а слѣд., $P' = \frac{3}{4} P$.

(Прим. перев.).

на земной поверхности; или 10 тоннъ-метровъ вѣса на поверхности солнца, потому что тонна матеріи въ двадцать семь разъ тяжелѣе на поверхности солнца, чѣмъ на поверхности земли. Чтобы совершать работу со скоростью 78,000 лошадиныхъ силъ или 780,000 тоннъ-метровъ вѣса на поверхности солнца въ часъ, нашъ грузъ долженъ поэтому опускаться со скоростью одного метра въ 313 часовъ или около 28 метровъ въ годъ ¹⁾.

Чтобы сдѣлать, все еще при посредствѣ не осуществимыхъ на практикѣ механизмовъ, слѣдующій шагъ впередъ по направленію къ тому практическому процессу, посредствомъ котораго на самомъ дѣлѣ производится солнечное тепло, положимъ, что крутизна нарезки винта будетъ равномерно уменьшаться отъ поверхности внизъ, такъ, чтобы скорость груза, когда онъ станетъ опускаться, вращая винтъ, была прямо пропорціональна разстоянію отъ центра солнца. Это вызоветъ равномерное уплотненіе вещества груза, но уплотненіе, настолько чрезвычайно незначительное втеченіе даже десятковъ тысячъ лѣтъ, что, каково бы ни было это предполагаемое вещество груза, металлъ или камень, упругое сопротивленіе уплотненію будетъ крайне неощутимо въ сравненіи съ тѣми силами тяготѣнія, съ которыми мы имѣемъ дѣло. Работа, совершаемая при опусканіи на одинъ метръ верхняго конца груза, будетъ равна какъ разъ четыремъ пятымъ той величины, которую она имѣла, когда нарезка винта была равномерной ²⁾.

¹⁾ Если взять числа Лэнгленя и Ангстрёма, то получаются скорости одного метра въ 176 и 138 часовъ или 49 и 64 метровъ въ годъ.

(Прим. перев.).

²⁾ Въ послѣднемъ случаѣ всѣ слои опускаются на одинаковую длину и, слѣдовательно, работа, совершаемая опусканіемъ на ΔR слоя между сферами радиусовъ r и $r + dr$, будетъ равна $\frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} r^3 dr \cdot \Delta R$, а отсюда работа, совершаемая всей пирамидой при опусканіи на ΔR верхняго слоя, равна

$$T = \Delta R \int_0^R \frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} r^3 dr = \frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} \cdot \frac{1}{4} R^4 \cdot \Delta R.$$

Такимъ образомъ, чтобы совершать 78,000 лошадиныхъ силъ работы, верхній конецъ груза долженъ опускаться со скоростью 35 метровъ въ годъ или 70 километровъ въ 2,000 лѣтъ ¹⁾.

Пусть далѣе вся поверхность нашего холоднаго твердаго солнца будетъ раздѣлена на квадраты, — на примѣръ, на квадраты, какъ можно болѣе близко равные, каждый, одному квадратному метру по площади, — и пусть вся масса солнца будетъ раздѣлена на длинныя опрокинутыя пирамиды или остроконечныя шесты, — каждый въ 697,000 километровъ длиною, — сходящіяся своими остриями у его центра. Пусть каждый такой шестъ будетъ помѣщенъ на винтъ, какъ уже было описано для длиннаго заостреннаго груза, который мы разсматривали сначала; и пусть лопасть на верхнемъ концѣ каждаго винта-стержня вращается въ жидкости, теперь уже не заключенной въ кадку, а покрывающей всю поверхность солнца на глубину нѣсколькихъ метровъ или километровъ. Подгоните вязкость жидкости и размѣры каждой лопасти такъ, чтобы лопасть вращалась какъ разъ съ такою быстротою, которая позволяла бы верхнему концу каждаго остроконечнаго шеста опускаться со скоростью 35 метровъ въ годъ. Работа, совершаемая надъ жидкостью лопастями, доведетъ всю ее до бѣлаго каленія, и она будетъ испускать тепло и свѣтъ, приблизительно какъ разъ въ тѣхъ же размѣрахъ, какъ въ настоящее

Во второмъ случаѣ, если верхній слой опускается на ΔR , то слой, находящійся на разстояніи r отъ центра, опускается на $\frac{r}{R} \Delta R$, а потому работа этого слоя, при опусканіи верхняго слоя на ΔR , будетъ равна $\frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} r^3 dr \cdot \frac{r}{R} \Delta R$; слѣд., работа, совершаемая всей пирамидой, при опусканіи на ΔR верхняго слоя, равна:

$$T^1 = \Delta R \int_0^R \frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} r^3 dr = \frac{4}{3} \pi \frac{\rho^2}{R^2} \cdot \frac{1}{5} R^5 \cdot \Delta R = \frac{4}{5} T.$$

(Прим. перев.).

¹⁾ Принимая числа Лэнгленя и Ангстрёма, получимъ 61 и 80 метровъ въ годъ или 122 и 180 километровъ въ 2,000 лѣтъ.

(Прим. перев.).

время дѣлаетъ это солнце. Если бы жидкость простиралась въ глубину на нѣсколько тысячъ метровъ подъ лопастями, было бы невозможно, при посредствѣ какого бы то ни было изъ средствъ, которыми располагаетъ физика солнца, усмотрѣть разницу между нашей механическою моделью солнца и истиннымъ солнцемъ.

Чтобы уничтожить послѣдніе признаки неосуществимаго на практикѣ механизма, въ которомъ вѣса всѣхъ частей каждаго длиннаго шеста поддерживаются на нарѣзкѣ идеальнаго винта, сдѣланной на вертикальномъ стержнѣ изъ идеальнаго вещества, абсолютно твердаго и абсолютно лишеннаго тренія:— во-первыхъ, вернитесь на одинъ шагъ къ нашему предположенію существованія только одного такого шеста и винта, работающаго въ единственной шахтѣ, прорытой внизъ до центра солнца, и предположите затѣмъ, что вся остальная масса солнца крѣпка и абсолютно непроницаема для тепла. Подогрѣйте вещество этого пирамидальнаго шеста до такой температуры, чтобы матерьялъ его расплавился и испытывалъ въ себѣ столько «отталкивательнаго движенія» сэра Гёмфри Дэви, сколько нужно, чтобы поддержать его уравновѣшеннымъ, какъ жидкость, не опускающимся и не поднимающимся отъ того положенія, въ которомъ онъ удерживался нарѣзкой винта. Когда вещество шеста поддерживается такимъ образомъ безъ винта, уберите винтъ или дайте ему расплавиться на мѣстѣ.

Такимъ образомъ мы имѣли бы шахту отъ поверхности солнца до его центра, въ одинъ квадратный метръ поперечнаго сѣченія у поверхности, полную накаленной добѣла жидкости, которую мы можемъ предположить состоящею изъ дѣйствительныхъ составныхъ частей вещества солнца. Эта жидкость, имѣя въ первый моментъ ту температуру, съ которой ее оставила лопасть, продолжала бы втеченіе этого момента излучать тепло совершенно такъ же, какъ она дѣлала это, когда лопасть продолжала двигаться; но эта жидкость скоро стала бы много холоднѣе у своей поверхности и на глубинѣ нѣсколькихъ метровъ. Опускающіяся внизъ потоки менѣе горячей жидкости и поднимающаяся снизу болѣе горячая жидкость уносили бы

въ неправильныхъ вихревыхъ сраженіяхъ охлажденную жидкость съ поверхности внизъ и приносили бы снизу наверхъ болѣе горячую жидкость, но такое смѣшеніе не могло бы распространяться на глубину очень многихъ метровъ и удерживать температуру жидкости достаточно близкой къ той высокой температурѣ, которую поддерживала лопасть; по прошествіи нѣсколькихъ часовъ или дней началось бы отвердѣваніе жидкости у ея поверхности. Если отвердѣвшее вещество плаваеетъ на жидкости, имѣя ту же самую температуру, какъ и жидкость, находящаяся подъ нимъ, въ такомъ случаѣ кора начнетъ утолщаться, какъ дѣлается толще ледъ на озерѣ въ морозную погоду; но, если, что болѣе вѣроятно, твердое вещество, состоящее изъ тѣхъ составныхъ частей, изъ какихъ составлено солнце, тонетъ въ жидкости, когда оба, и жидкость, и образовавшееся изъ нея твердое тѣло, находятся при температурѣ плавленія этого тѣла, въ такомъ случаѣ тонкія пленки верхней коры упадутъ внутрь и станутъ падать внутрь до тѣхъ поръ, пока вся масса перемѣшаннаго твердаго и жидкаго тѣла не сдѣлается на нѣсколько метровъ вглубь достаточно густой (вродъ густоты тѣста или патоки), чтобы воспрепятствовать отвердѣвшей пленкѣ опускаться внизъ съ поверхности. Поверхностная пленка станетъ тогда быстро утолщаться и по прошествіи нѣсколькихъ часовъ или дней сдѣлается раскаленною у своей верхней поверхности, менѣе, чѣмъ докрасна, а вся шахта, полная жидкости, будетъ продолжать охлаждаться съ крайней медленностью, до тѣхъ поръ, пока, послѣ, можетъ быть, около милліона милліоновъ милліоновъ лѣтъ или вродъ того, она не приметъ ту же самую температуру, какъ и пространство, въ которое излучаетъ тепло ея верхній конецъ.

Пусть именно тотъ процессъ, который мы сейчасъ разсматривали, совершается съ каждымъ изъ нашихъ пирамидальныхъ шестовъ, имѣющихъ однако, — и это должно быть на первомъ планѣ, — тонкія перегородки изъ вещества, непроницаемаго для тепла, отдѣляющія каждую шахту отъ четырехъ окружающихъ ее сосѣднихъ шахтъ. Точно такой же рядъ собы-

тій, который мы сейчасъ разсмотрѣли, будетъ имѣть мѣсто въ каждой изъ этихъ шахтъ.

Предположите, что вся эта сложная масса вращается со скоростью одного полного оборота втеченіе двадцати пяти дней, что представляетъ собой — почти съ тою точностью, съ какою мы его знаемъ, — время обращенія солнца вокругъ собственной оси.

Положимъ далѣе, что въ тотъ моментъ, когда лопасть останавливается, уничтожатся всѣ перегородки, такъ что у потоковъ получится полная свобода течь въ любомъ направленіи, не встрѣчая сопротивленія, — за исключеніемъ только того, которое оказываетъ вязкость жидкости, — и затѣмъ предоставимъ этотъ кусокъ вещества, который мы можемъ теперь назвать солнцемъ, самому себѣ. Этотъ кусокъ вещества немедленно начнетъ выказывать всѣ явленія, извѣстныя въ физикѣ солнца. Конечно, наблюдателю, можетъ быть, придется прождать нѣсколько лѣтъ появленія солнечныхъ пятенъ и нѣсколько четвертей столѣтія, чтобы открыть періоды солнечныхъ пятенъ, но это все, — я думаю, я могу сказать, вѣроятно, — получится совершенно въ томъ же видѣ, въ какомъ оно существуетъ въ дѣйствительности, ибо, я думаю, мы можемъ считать въ высшей степени вѣроятнымъ, что всѣ подобныя дѣйствія зависятъ отъ собственнаго вещества солнца, а не отъ внѣшнихъ вліяній какого бы ни было рода. Тѣмъ не менѣе, совершенно возможно, — и, въ самомъ дѣлѣ, многіе знатоки этого предмета считаютъ это вѣроятнымъ, — что нѣкоторыя изъ главныхъ явленій, зависящихъ отъ солнечныхъ пятенъ, происходятъ отъ дѣйствія потоковъ метеорнаго вещества, вращающагося вокругъ солнца.

Энергія химическаго соединенія представляетъ собою какъ бы ничто въ сравненіи съ происходящей отъ взаимнаго притяженія энергіей уменьшенія объема солнца, отъ которой почти полностью зависитъ дѣятельность солнца. Тѣло, падающее съ сорока шести километровъ на поверхность солнца или *черезъ атмосферу солнца*, совершаетъ вслѣдствіе силы притяженія такую работу, которая соотвѣтствуетъ самой большой химической энергіи горѣнія горючихъ матерьяловъ ¹⁾. Но химическія соединенія

¹⁾ См. прим. 2 на стр. 217.

и разложенія могутъ, какъ настаиваетъ на этомъ Локьеръ въ его только что выпущенной въ свѣтъ книгѣ, о «Химіи Солнца» [Chemistry of the Sun], быть достаточно мощными, чтобы оказывать вліяніе на нѣкоторые явленія той неоднородности въ яркости, которая замѣчается въ величественныхъ явленіяхъ солнечныхъ пятенъ, водородныхъ пламенъ и короны, составляющихъ область физики солнца. Но эти вопросы принадлежатъ однако къ той великолѣпнѣйшей отрасли науки о солнцѣ, на которую въ настоящее время можно дѣлать только намеки.

Заключенія, относящіяся къ интересующему насъ вопросу объ объясненіи солнечнаго свѣта и солнечнаго тепла, могутъ быть сведены къ двумъ предложеніямъ:

1) Во всей жидкой массѣ солнца непрерывно поддерживаются гигантскіе потоки вслѣдствіе опусканія съ поверхности внизъ жидкости, охладившейся отъ излученія, и поднятія наверхъ болѣе горячей жидкости, стремящейся занять мѣсто нервой.

2) Работа, совершаемая въ какой либо промежутокъ времени взаимнымъ притяженіемъ всѣхъ частей жидкости, когда эта жидкость уменьшается въ своемъ объемѣ вслѣдствіе пониженія температуры, только немного меньше (настолько немного меньше, что мы можемъ считать ее даже столь же великой), чѣмъ механической эквивалентъ тепла, которое излучается солнцемъ за то же самое время.

Скорость сжатія, которая соотвѣтствуетъ настоящей скорости солнечнаго излученія, какъ мы вывели изъ разсмотрѣнія нашей механической модели, равна уменьшенію радіуса на 35 метровъ въ годъ или на одну десятитысячную его собственной длины въ двѣ тысячи лѣтъ. Отсюда слѣдуетъ, что, если солнечное излученіе было почти такимъ же, какъ въ настоящее время, двѣсти тысячъ лѣтъ назадъ, то радіусъ солнца долженъ былъ быть двѣсти тысячъ лѣтъ тому назадъ на одинъ процентъ больше, чѣмъ въ настоящее время. Если бы мы хотѣли повести наши вычисленія много больше, чѣмъ на двѣсти тысячъ лѣтъ назадъ или впередъ, то мы должны были бы вычислять разности величинъ, обратныхъ радіусу

солнца, а не просто разности радіусовъ, для того, чтобы принять во вниманіе измѣненіе плотности (которое, напримѣръ, будетъ равно тремъ процентамъ для одного процента измѣненія радіуса). Такимъ образомъ получается слѣдующее правило, которое легко вывести на основаніи принциповъ, иллюстрируемыхъ нашей механической моделью:

Равныя разности величинъ, обратныхъ радіусамъ, соотвѣтствуютъ равнымъ количествамъ тепла, излучаемымъ изъ міліона въ міліонъ лѣтъ ¹⁾.

Возьмите два примѣра:

1) Если въ прошедшія времена было излучено солнцемъ въ пятнадцать міліоновъ разъ больше тепла, чѣмъ въ настоящее время излучается въ одинъ годъ, то солнечный радіусъ

¹⁾ Мы вывели (стр. 265 прим. 1¹⁾, что работа, совершаемая пирамидой, имѣющей верхнее сѣченіе въ 1 кв. метр., при опусканіи верхняго конца на ΔR , выражается чрезъ

$$T' = \frac{4}{15} \pi \rho^2 R^2 \Delta R.$$

Отсюда слѣдуетъ, что работа, совершаемая при этомъ всѣмъ шаромъ, будетъ

$$\Sigma T' = 4\pi R^2 T' = \frac{16}{15} \pi^2 \rho^2 R^4 \Delta R.$$

Если мы будемъ разсматривать тотъ же шаръ при другомъ радіусѣ R_1 (а слѣд. и иной плотности ρ_1), то работа, совершаемая всѣмъ шаромъ при опусканіи верхняго конца на ΔR_1 , будетъ выражаться формулой

$$\Sigma T_1' = \frac{16}{15} \pi^2 \rho_1^2 R_1^4 \Delta R_1.$$

Замѣтивъ, что масса шара осталась той же, получимъ

$$\frac{4}{3} \pi \rho_1 R_1^3 = \frac{4}{3} \pi \rho R^3,$$

откуда

$$\frac{\rho_1}{\rho} = \frac{R^3}{R_1^3}, \text{ а слѣд.}$$

$$\frac{\Sigma T_1'}{\Sigma T'} = \frac{\rho_1^2 R_1^4 \Delta R_1}{\rho^2 R^4 \Delta R} = \frac{R^2 \Delta R_1}{R_1^2 \Delta R} = \frac{\Delta \frac{1}{R_1}}{\Delta \frac{1}{R}},$$

откуда и получается вышеуказанное правило.

(Прим. перев.).

долженъ былъ быть въ четыре раза больше, чѣмъ въ настоящее время ¹⁾).

2) Если бы дѣйствующая нагрѣвательная способность солнца могла поддерживаться сжатіемъ до тѣхъ поръ, пока не будетъ излучено изъ него двадцать милліоновъ разъ настоящее годовое количество тепла, то радіусъ солнца долженъ стать половиной того, что онъ представляетъ собой теперь ²⁾). Но надо замѣтить, что плотность, которую предполагало бы это, будетъ въ 11·2 раза больше плотности воды или какъ разъ близкой къ плотности олова и будетъ, вѣроятно, слишкомъ велика, чтобы позволить продолжаться свободному сжатію массы, подобному сжатію охлаждающаго газа, безъ препятствій, зависящихъ отъ слишкомъ большого скопленія молекулъ. Поэтому кажется наиболѣе вѣроятнымъ, что мы не можемъ рассчитывать для будущаго на такое количество солнечнаго излученія, которое было бы больше, — если еще можно рассчитывать настолько, — взятаго двѣсти милліоновъ разъ годового излученія въ настоящее время. Нужно также замѣтить, что сильно уменьшившаяся излучающая поверхность, обладая много низшей температурой испускала бы ежегодно много меньше тепла, чѣмъ даетъ солнце въ его настоящемъ состояніи. Тѣ же самыя разсужденія привели Ньюкомба къ заключенію, что «врядъ ли

¹⁾ Въ 200,000 лѣтъ радіусъ уменьшается на одинъ процентъ; можно считать, что и величина, обратная радіусу, за этотъ періодъ измѣняется также на одну сотую. Отсюда, если обозначимъ первоначальный радіусъ солнца черезъ R_0 , а теперешній — черезъ R , то получимъ

$$\left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_0}\right) : \frac{1}{100} \frac{1}{R} = 15,000,000 : 200,000$$

$$\text{или } \frac{1}{R} - \frac{1}{R_0} = \frac{15,000,000}{100 \times 200,000} \frac{1}{R} = \frac{3}{4} \frac{1}{R},$$

откуда $R_0 = 4R$.

(Прим. перев.)

²⁾ Обозначая черезъ R_1 радіусъ солнца черезъ 20,000,000 лѣтъ, получимъ опять

$$\left(\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R}\right) : \frac{1}{100} \frac{1}{R} = 20,000,000 : 200,000$$

$$\text{или } \frac{1}{R_1} - \frac{1}{R} = \frac{1}{R}, \text{ откуда } R_1 = \frac{R}{2}.$$

(Прим. перев.)

вѣроятно, что солнце будетъ въ состояніи продолжать давать достаточно тепла, чтобы поддерживать жизнь на землѣ (такую жизнь, по крайней мѣрѣ, съ какою мы теперь знакомы), втеченіе десяти милліоновъ лѣтъ отъ настоящаго времени».

Во всѣхъ нашихъ вычисленіяхъ мы до сихъ поръ для простоты принимали плотность одинаковою на всемъ протяженіи и равную истинной средней плотности солнца, которая приблизительно въ 1·4 раза больше плотности воды или равна около четверти средней плотности земли. Въ дѣйствительности, плотность въ верхнихъ частяхъ массы солнца должна быть нѣсколько меньше этой величины и значительно больше ея — въ центральныхъ частяхъ, вслѣдствіе существующаго внутри давленія, увеличивающагося до нѣкоторой безмѣрно большой величины въ центрѣ. Если бы мы знали распредѣленіе внутренней плотности, мы могли бы легко измѣнить соотвѣтственно наши вычисленія, но кажется мало вѣроятнымъ, чтобы эта поправка могла, при какомъ либо вѣроятномъ предположеніи относительно громадности плотности на протяженіи значительной части внутренности солнца, прибавить болѣе, чѣмъ нѣсколько милліоновъ лѣтъ къ прошедшему солнечнаго тепла, и то, что могло бы быть прибавлено къ прошедшему, должно было бы быть взято отъ будущаго.

Въ нашихъ вычисленіяхъ мы принимали число Пулье для полной дѣятельности солнечнаго излученія, — число, которое практически согласуется съ числомъ Гершеля. Форбесъ ¹⁾ показалъ необходимость исправленія того способа приниманія въ расчетъ атмосфернаго поглощенія, который употребляли его два предшественника при опредѣленіи полного количества солнечнаго излученія, и онъ такимъ образомъ пришелъ къ числу, въ 1·6 раза большому, чѣмъ ихъ число. Черезъ сорокъ лѣтъ послѣ этого Лэнглей ²⁾ въ прекрасно разработанномъ изслѣдованіи

¹⁾ Edin. New Phil. Journal, т. XXXVI, 1844. (Прим. автора).

²⁾ American Journal of Science, т. XXVI, Мартъ, 1883 ³⁾.

(Прим. автора).

³⁾ The Selective Absorption of Solar Energy (Селективное поглощеніе солнечной энергіи), стр. 169—196.

(Прим. перев.)

всего вопроса о поглощеніи нашей атмосферой лучистаго тепла всѣхъ длинъ волны, принимаетъ и подтверждаетъ разсужденіе Форбеса и изъ новыхъ наблюдений на Маунтъ Уитнэй [Mount Whitney], на высотѣ 15,000 футовъ надъ уровнемъ моря ⁴⁾, находитъ число, которое еще нѣсколько больше, чѣмъ число Форбеса (въ 1·7 вмѣсто 1·6 раза больше числа Пулье). Такимъ образомъ измѣреніе Лэнглемъ солнечнаго излученія соотвѣтствуетъ 133,000 лошадиныхъ силъ на квадратный метръ ²⁾ вмѣсто тѣхъ 78,000 лошадиныхъ силъ, которыя мы брали, и уменьшаетъ каждый изъ нашихъ періодовъ времени въ отношеніи 1 къ 1·7. Такимъ образомъ вмѣсто Гельмгольцевскихъ двадцати милліоновъ лѣтъ, основанныхъ на опредѣленіи Пулье, мы получаемъ только двѣнадцать милліоновъ ³⁾ и подобнымъ же образомъ надо поступить со всѣми другими нашими вычисленіями времени, основанными на результатахъ Пулье. При обстоятельствахъ дѣла и если вполнѣ принять во вниманіе всѣ эти возможности большей плотности во внутренности солнца и большей или меньшей активности излученія въ прошлыя времена, то было бы, я думаю, крайне опрометчиво считать вѣроятнымъ что либо, превышающее двадцать милліоновъ лѣтъ солнечнаго свѣта въ прошедшей исторіи земли, или расчитывать болѣе, чѣмъ на пять или шесть милліоновъ лѣтъ солнечнаго свѣта на будущія времена.

Мы видѣли, что солнце не черпаетъ ни изъ какого внѣшняго источника то тепло, которое оно излучаетъ отъ себя изъ года въ годъ, и что вся энергія этого тепла происходитъ отъ взаимнаго притяженія между его частями, взаимодействующими сообразно съ ньютоновскимъ закономъ тяготѣнія. Мы видѣли, какимъ образомъ идеальный механизмъ, легко воображаемый и

⁴⁾ 4500 метровъ.

(Прим. перев.).

²⁾ $78,000 \times 1.7 = 132,600$ horse-power = 134,600 лошадиныхъ силъ. Мы получили 138,000 (прим. 1 на стр. 265), потому что взяли болѣе точное (1·740) отношеніе между числами Лэнглея и Пулье.

(Прим. перев.).

³⁾ Если же принять число Ангстрёма, то получимъ всего 8·8 милліоновъ лѣтъ.

(Прим. перев.).

понимаемый, хотя безконечно далекій отъ возможности осуществленія, могъ бы направлять работу, совершаемую взаимнымъ тяготѣніемъ между всѣми частями стягивающейся массы, на то, чтобы ея тепловой эквивалентъ появлялся въ океанѣ накаленной добѣла жидкости, покрывающей поверхность солнца, и такимъ образомъ удерживалъ ее накаленной добѣла, не смотря на постоянное излученіе ею тепла со скоростью, которая соотвѣтствуетъ настоящей теплоиспускательной дѣятельности солнца. Разсмотримъ болѣе подробно дѣйствительныя силы и движенія, съ которыми мы, на самомъ дѣлѣ, имѣемъ дѣло въ процессѣ охлажденія вслѣдствіе излученія съ самой внѣшней области солнца,—паденіе внутрь охлажденной такимъ образомъ жидкости, послѣдующее перемѣшиваніе между собой всѣхъ частей массы солнца, происходящее отсюда уменьшеніе упругаго сопротивленія давленію въ мѣстахъ одинаковой плотности и послѣдующее сжатіе всей массы подъ влияніемъ взаимнаго тяготѣнія. Я долженъ сначала объяснить, что это «упругое сопротивленіе давленію» зависитъ отъ тепла и есть, на дѣлѣ, то, что я, въ настоящей лекціи, назвалъ «отталкивательнымъ движеніемъ сэра Гёмфри Дэви» (стр. 269). Я назвалъ его такъ потому, что Дэви первый употребилъ выраженіе «отталкивательное движеніе», чтобы описать тѣ тонкія междучастичныя движенія, которымъ онъ и другіе основатели Кинетической Теоріи Тепла приписывали упругое сопротивленіе сжатію, представляемое газами и жидкостями.

Вообразите, вмѣсто атомовъ и молекулъ различныхъ веществъ, которыя составляютъ массу солнца, большое число упругихъ шаровъ вродѣ шариковъ школьниковъ [schoolboys' marbles] или бильярдныхъ шаровъ. Представимъ себѣ сначала гдѣ нибудь на нашей землѣ нѣсколько милліоновъ такихъ шаровъ, положенныхъ въ комнату, достаточно большую, чтобы вмѣстить въ тысячу разъ больше этого числа шаровъ, съ совершенно твердыми стѣнами и потолкомъ, но съ настоящимъ деревяннымъ поломъ; или, что было бы еще удобнѣе для нашей цѣли, съ поломъ изъ тонкой упругой листовой стали, поддерживаемой перекладинами, достаточно близкими другъ къ другу

чтобы не дать полу возможность неловко провиснуть въ какомъ нибудь мѣстѣ. Положимъ, въ началѣ шарики лежали безъ движенія на полу. Въ этомъ состояніи они представляютъ атомы газа, какъ, напримѣръ, кислорода, азота или водорода, безусловно лишеннаго тепла и потому лежащаго замороженнымъ¹⁾, или молекулярную пыль, посыпанную на днѣ заключающаго ее сосуда.

Если теперь приложить лампу снизу къ кислороду, азоту или водороду, вещество это, нагрѣваясь тѣмъ тепломъ, которое проходитъ черезъ полъ, возстанетъ изъ своего состоянія абсолютно холоднаго тѣла или безсвязной молекулярной пыли и распространится въ видѣ газа по всему заключенному пространству. Если прилагать при посредствѣ лампы все больше и больше тепла, давленіе газа изнутри наружу во всѣхъ направленіяхъ, т. е. давленіе на внутренность заключающаго сосуда, будетъ становиться все больше и больше.

Какъ къ грубому механическому подобію этого согрѣванія газа тепломъ, проходящимъ черезъ полъ заключающаго его сосуда, отъ лампы, которую держать подъ нимъ, возвратитесь къ нашей комнатѣ съ поломъ, усыпаннымъ шариками, и наймите работниковъ, чтобы они пошли подъ полъ и сильно колотили по его нижней сторонѣ въ очень большомъ числѣ мѣстъ деревянными молотками. Шарики, находящіеся въ непосредственномъ прикосновеніи съ поломъ, начнутъ отпрыгивать отъ него и снова живо падать назадъ (подобно водѣ въ горшкѣ на огнѣ, кипящей потихоньку передъ тѣмъ, какъ закипѣтъ). Если работники будутъ работать достаточно энергично, то въ этой грудѣ будетъ накапливаться все больше и больше движенія, пока каждый изъ шаровъ не придетъ въ состояніе неправильнаго колебанія вверхъ и внизъ, или наклонно, или горизонтально, но отнюдь не въ какомъ нибудь опредѣленномъ направленіи; и благодаря взаимнымъ толчкамъ куча будетъ вздвигаться вверхъ, пока потолокъ комнаты не удержитъ ея

¹⁾ Т. е. при температурѣ абсолютнаго нуля (-273° Ц.).

(Прим. перев.).

отъ всякаго дальнѣйшаго вздуванія. Предположите теперь, что полъ сталь, подобно стѣнамъ и потолку, абсолютно крѣпкимъ. Работники могутъ прекратить ихъ работу колоченья молотками, которая помогала бы теперь увеличенію движеній шариковъ, находящихся внутри, столько же, сколько приложенная снаружи лампа помогала бы согрѣванію содержимаго сосуда, если бы этотъ сосудъ былъ сдѣланъ изъ непроницаемаго для тепла идеальнаго вещества. Шарики, будучи совершенно упругими, будутъ вѣчно продолжать¹⁾ летать по своей комнатѣ, нанося удары стѣнамъ, и полу, и потолку, и другъ другу, и оставаясь въ нѣкоторомъ постоянномъ среднемъ состояніи болѣе плотнаго скопища непосредственно надъ поломъ и менѣе и менѣе плотнаго по направленію вверхъ до потолка.

При этомъ постоянномъ среднемъ состояніи средняя скорость шариковъ будетъ одной и той же во всемъ скопищѣ, отъ потолка до пола, и будетъ той же самой по всѣмъ направленіямъ, горизонтальному, вертикальному или наклонному. Непрерывно повторяющіеся толчки, наносимые каждой части стѣнъ или потолка, будутъ въ суммѣ равносильны непрерывному давленію, которое будетъ находиться въ прямой пропорціональности со средней плотностью скопища въ этомъ мѣстѣ. Уменьшеніе давленія и плотности отъ пола вверхъ будетъ совершенно та-

¹⁾ Чтобы оправдать это утвержденіе, я долженъ предостеречь читателя, что эти идеальные совершенно упругіе шары, которые мы воображаемъ, должно предполагать имѣющими какое нибудь такое строеніе, что каждый воспринимаетъ только опредѣленную среднюю часть своей доли кинетической энергіи всѣхъ шаровъ, такъ что въ среднемъ всегда постоянная часть энергіи заключается въ поступательныхъ движеніяхъ шаровъ; другую же часть составляютъ колебательныя и вращательныя движенія частей каждаго шара. Мы предполагаемъ также для простоты, что шары совершенно мягки и лишены тренія, такъ что намъ не доставитъ хлопотъ необходимость разсматривать ихъ имѣющими какія либо вращательныя движенія, какія приобрѣли бы настоящіе шары съ настоящими, сопровождаемыми треніемъ столкновеніями. Отношеніе этихъ двухъ родовъ энергіи для обыкновенныхъ газовъ, согласно съ Клаузиусомъ, которому мы обязаны этимъ существеннымъ вкладомъ въ кинетическую теорію, такое: поступательной—три пятыхъ всей энергіи, колебательной—двѣ пятыхъ. (Прим. автора).

кое же, какъ уменьшеніе плотности и давленія въ нашей атмосферѣ, вычисленное въ предположеніи равной температуры на всѣхъ высотахъ, по общеизвѣстнымъ формуламъ и таблицамъ для нахождения высотъ при посредствѣ барометра.

Въ дѣйствительности, температура атмосферы вверхъ отъ земли не является одинаковой, но уменьшается со скоростью около 1° Ц. на каждые 162 метра вертикальнаго подъема въ свободномъ воздухѣ, не возмущаемомъ горами,—согласно съ наблюденіями, сдѣланными на воздушныхъ шарахъ покойнымъ г. Уэльшемъ, изъ Кью [Kew], на большомъ протяженіи высотъ. Это уменьшеніе температуры по направленію вверхъ въ нашей земной атмосферѣ имѣетъ въ высшей степени важное значеніе и вызываетъ многія соображенія по отношенію къ строенію солнечной атмосферы,—и не только атмосферы или внѣшней оболочки солнца, но и всей внутренней жидкой массы, съ которой она непрерывна. Эти два случая имѣютъ много общаго въ томъ, что въ каждомъ изъ нихъ происходитъ потеря тепла изъ внѣшнихъ частей атмосферы вслѣдствіе излученія въ пространство и что вслѣдствіе этого во всей жидкости получаютъ циркуляціонные потоки, которыми постоянно производится полное перемѣшиваніе верхнихъ и нижнихъ частей. Въ земной атмосферѣ самыя нижнія части получаютъ тепло, чрезъ прикосновеніе, отъ твердой земли, нагрѣваемой ежедневно солнечнымъ излученіемъ. Такъ какъ, въ среднемъ за ночь и день, воздухъ въ итогъ не становится теплѣе, онъ долженъ излучать изъ себя въ пространство столько же тепла, сколько тепла онъ всего получаетъ, какъ отъ земли чрезъ прикосновеніе и чрезъ излученіе, такъ и отъ солнца чрезъ излученіе послѣднимъ тепла, которое перехватывается воздухомъ на своемъ пути къ землѣ. Въ солнцѣ, тепло, излучаемое внѣшними частями атмосферы, полностью получается изнутри. Въ обоихъ случаяхъ, вся жидкая масса постоянно вполнѣ перемѣшивается потоками болѣе холодной жидкости нисходящей внизъ, и болѣе теплой жидкости, поднимающейся, чтобы занять ея мѣсто и въ свою очередь охладиться и опуститься.

Но газы и жидкости вообще (за исключеніемъ нѣкоторыхъ

особенныхъ случаевъ, какъ случай воды въ предѣлахъ нѣсколькихъ градусовъ отъ ея температуры замерзанія, въ которыхъ жидкость подъ постояннымъ давленіемъ сжимается съ повышеніемъ температуры), какъ извѣстно, имѣютъ то свойство, что уплотненія и разрѣженія, производимыя увеличеніями и уменьшеніями внѣшняго давленія, вызываютъ повышенія и пониженія температуры въ тѣхъ случаяхъ, когда газъ предохраненъ, какъ отъ восприниманія тепла отъ какого либо вещества, внѣшняго относительно него, такъ и отъ отдаванія тепла таковому. Такимъ образомъ, нѣкоторое количество воздуха или другого газа, взятаго при обыкновенной температурѣ (скажемъ, 15° Ц. или 59° Ф.) и расширившагося до удвоенія своего объема, становится на 71° Ц. холоднѣе; и если расширеніе продолжается до увеличенія первоначальнаго объема газа въ тридцать два раза, то этотъ газъ охлаждается еще на 148° Ц. или градусовъ на 200 Ц. ниже температуры замерзанія воды или до температуры, отстоящей отъ абсолютнаго холода всего на 73° . Такого же рода измѣненія на самомъ дѣлѣ происходятъ въ массахъ воздуха, поднимающихся въ нашей атмосферѣ на высоту восьми или девяти километровъ и на высоту двадцати или двадцати пяти километровъ. Соответствующія разности температуръ имѣются также, понятно, и во всей жидкой массѣ солнца, но эти разности на солнцѣ много больше, чѣмъ въ земной атмосферѣ, вслѣдствіе того, что сила тяжести на поверхности солнца въ двадцать семь разъ больше, вслѣдствіе того, что пространство, въ которомъ происходитъ свободная циркуляція жидкости на солнцѣ, несравненно обширнѣе, и, на послѣдокъ, хоть это и не послѣдняя причина ¹⁾, вслѣдствіе того, что температура солнечной жидкости безмѣрно выше температура земной атмосферы, въ мѣстахъ одинаковой плотности ихъ обоихъ. Этотъ взглядъ на строеніе солнца былъ съ большимъ искусствомъ математически разработанъ г. Дж. Гомеромъ Лэномъ, изъ Вашингтона, въ его очень важномъ изслѣ-

¹⁾ У Томсона здѣсь игра словъ: last, though not least...

(Прим. перев.).

дованиі, прочитанномъ передъ Національною Академіею Наукъ Соединенныхъ Штатовъ въ апрѣлѣ 1869 года и напечатанномъ съ дальнѣйшими развитіями въ American Journal of Science, за Іюль 1870 года ¹⁾. Г. Лэнъ изъ строго математическихъ разсужденій находитъ законъ распредѣленія плотности и температуры на всемъ протяженіи шара однороднаго газа, предоставленнаго самому себѣ и теряющаго тепло излученіемъ во внѣшнее пространство такъ медленно, что несущіе тепло потоки вызываютъ только незначительныя отклоненія отъ шарообразной формы.

Одинъ очень замѣчательный и важный результатъ, изъ тѣхъ, къ которымъ онъ приходитъ, заключается въ томъ, что плотность въ центрѣ разъ въ двадцать ²⁾ больше средней плотности; и это—независимо отъ того, будетъ ли масса шара велика или мала и будетъ ли она изъ кислорода, азота, водорода, или другого вещества, если только она будетъ на всемъ протяженіи изъ одного рода газа и если только плотность въ центральныхъ частяхъ не настолько велика, чтобы уплотненіе не могло уже происходить согласно съ обыкновеннымъ закономъ о плотности, относящимся къ газамъ, т. е. прямо пропорціонально давленію для одинаковыхъ температуръ. Мы знаемъ, что этотъ законъ вѣренъ съ довольно большою точностью для обыкновеннаго воздуха, для каждой изъ его главныхъ составныхъ частей, кислорода и азота, въ отдѣльности, и для водорода, до плотностей, разъ въ двѣсти большихъ, чѣмъ ихъ плотности при нашемъ обыкновенномъ атмосферномъ давленіи. Но, когда сжимающая сила достаточно увеличилась, всѣ эти газы выка-

¹⁾ J. Homer Lane. On the Theoretical Temperature of the Sun; under the Hypothesis of a Gaseous Mass, maintaining its Volume by its Internal Heat and depending on the Laws of Gases as known to Terrestrial Experiment. [О теоретической температурѣ солнца, — въ предположеніи газообразной массы, поддерживающей свой объемъ своимъ внутреннимъ тепломъ и подчиняющейся тѣмъ законамъ газовъ, какіе известны на основаніи земныхъ опытовъ]. Amer. Jour. of Science, (2), 50, 57—74.

(Прим. перев.).

²⁾ Разработывая независимо задачу Лэна, я нашелъ $22\frac{1}{2}$, какъ число, очень близкое къ точному.

(Прим. автора).

зываютъ большее сопротивленіе уплотненію, чѣмъ слѣдуетъ по закону простой пропорціональности, и, кажется, въ высшей степени вѣроятно, что для каждаго газа есть предѣлъ плотности, выше котораго ее нельзя увеличить никакимъ давленіемъ, какъ бы оно велико ни было. Лэнъ замѣчаетъ, что плотность въ центрѣ солнца была бы «почти на одну треть больше плотности металлической платины», если бы законъ, относящійся къ газамъ, оставался вѣрнымъ для составныхъ частей массы солнца, вплоть до такой большой степени уплотненія; но онъ не выдаетъ этого предположенія за вѣроятное, и, безъ сомнѣнія, согласенъ съ общимъ мнѣніемъ, что, по всей вѣроятности, составныя части массы солнца при тѣхъ дѣйствительныхъ ихъ температурахъ, которыя соотвѣтствуютъ ихъ положеніямъ внутри солнца, подчиняются простому закону газовъ на сравнительно небольшомъ пространствѣ внутрь отъ поверхности и что въ центральныхъ областяхъ они много меньше уплотнены, чѣмъ слѣдовало бы по этому закону. По простому закону газовъ центральная плотность солнца была бы въ тридцать одинъ разъ больше плотности воды; но, по всей вѣроятности, мы можемъ принять, что она гораздо меньше этого, хотя значительно больше средней плотности, 1.4. Все это представляетъ собой широкіе предѣлы неизвѣстности, но было бы неразумно въ настоящее время суживать ихъ, при томъ невѣдѣніи, въ какомъ мы находимся, относительно главныхъ составныхъ частей всей массы солнца и законовъ давленія, плотности и температуры, даже для извѣстныхъ веществъ, при очень большихъ давленіяхъ и очень высокихъ температурахъ.

Вопросъ «становится ли солнце холоднѣе или горячѣе?» есть вопросъ, крайне сложный, и, въ самомъ дѣлѣ, поставить его или отвѣтить на него, представляется уже парадоксомъ, если только мы не опредѣлимъ точно, температуру какихъ частей солнца нужно разсматривать. Если мы спрашиваемъ; «какимъ образомъ измѣняется изъ года въ годъ температура частей солнца равной плотности?», то отвѣтъ, понятенъ, будетъ тотъ, что то вещество солнца, плотность котораго имѣетъ любую опредѣленную величину, —напримѣръ, обыкновенную плотность нашей

атмосферы,—становится все время меньше и меньше горячимъ; каково бы ни было его мѣсто въ жидкости и каковъ бы ни былъ законъ сжатія жидкости, будетъ ли это простой законъ газовъ или нѣчто, заключающееся между этимъ закономъ и абсолютной несжимаемостью. Но разстояніе внутрь отъ поверхности, на которомъ можно найти нѣкоторую постоянную плотность, уменьшается при сжатіи, и такимъ образомъ можетъ быть, что на постоянныхъ глубинахъ внутри отъ граничащей поверхности температура становится выше и выше. Такъ, конечно, было бы въ томъ случаѣ, если бы законъ уплотненія газовъ былъ вѣренъ на всемъ протяженіи солнца, но даже тогда та дѣйствующая температура излученія, вслѣдствіе которой солнце изливаетъ свое тепло во внѣшнее пространство, могла бы понижаться, потому что температуры частей равной плотности становятся, очевидно, ниже при всякихъ обстоятельствахъ.

Оставляя эти сложные и трудные вопросы ученымъ изслѣдователямъ, посвящающимъ себя на то, чтобы двигать впередъ науку физики солнца, обсудите просто понимаемый вопросъ: «какова температура центра солнца въ какое либо время и повышается ли она, или понижается съ теченіемъ времени?» Если мы мысленно перенесемъ назадъ на нѣсколько милліоновъ лѣтъ, къ тому времени, когда по всей вѣроятности солнце было вполне газообразно до самого центра, то въ это время, конечно, центральная температура должна была увеличиваться: съ другой стороны, если бы,—что въ настоящее время возможно, хотя мало вѣроятно, но что можетъ, вѣроятно, случиться въ нѣкоторомъ будущемъ времени,—тамъ было твердое ядро, то тогда, конечно, центральная температура увеличивалась бы, потому что проводимость тепла черезъ твердое тѣло была бы слишкомъ медленна, чтобы компенсировать увеличеніе давленія, происходящее отъ увеличенія силы тяжести въ сжимающейся жидкости, облегающей собою твердое тѣло. Но мнѣ кажется достовѣрнымъ, что въ этой исторіи вполне жидкаго шара, первоначально бывшаго во всемъ своемъ объемѣ достаточно разрѣженнымъ, чтобы быть газообразнымъ,

и затѣмъ сжимающагося подъ вліяніемъ своего собственного тяготѣнія и своего излученія тепла наружу въ холодное окружающее пространство,—тогда, когда центральныя части сдѣлаются настолько уплотненными, чтобы онѣ стали противо-дѣйствовать дальнѣйшему уплотненію въ гораздо большей степени, чѣмъ слѣдовало бы это по закону простой пропорциональности, относящемуся къ газамъ,—настанетъ моментъ, когда тотъ первоначальный процессъ нагрѣванія, который былъ доказанъ Лэномъ, Ньюкомбомъ и Болломъ, долженъ будетъ прекратиться и когда центральная температура должна будетъ начать уменьшаться по причинѣ охлажденія вслѣдствіе излученія съ поверхности и проникновенія этой охлажденной жидкости во внутреннее пространство.

Теперь мы подходимъ къ самой интересной части нашего предмета—древней исторіи солнца. Пять или десять милліоновъ лѣтъ тому назадъ, оно могло быть раза въ два большаго діаметра, чѣмъ теперь, и могло имѣть одну восьмую теперешней средней плотности или 0.175 плотности воды; но мы не можемъ непрерывно идти много дальше этого, сохраняя при этомъ какую либо вѣроятность доводовъ или умозрѣній. И всетаки мы не можемъ не поставить вопроса: «каково было состояніе матеріи солнца передъ тѣмъ, какъ она соединилась въ одно цѣлое и сдѣлалась горячей?» Это могли быть двѣ холодныхъ твердыхъ массы, которыя столкнулись между собой со скоростью, зависящею отъ ихъ взаимнаго тяготѣнія; и,—хотя это безмѣрно меньше вѣроятно,—это могли быть двѣ массы, столкнувшіяся между собой со скоростями, значительно большими, чѣмъ скорости, зависящія отъ взаимнаго тяготѣнія. Последнее предположеніе предполагаетъ, что, когда разстояніе между тѣлами *A* и *B* (назовемъ эти два тѣла для краткости чрезъ *A* и *B*) было велико, движеніе центра инерціи *B* по отношенію къ *A* происходило такъ, что центръ инерціи *B* направлялся прямо чрезъ центръ инерціи *A* съ такой большой точностью, что моментъ вращенія или «главный моментъ количества движенія» [*moment of momentum*] ¹⁾ послѣ столкновенія получился такой, ко-

¹⁾ Это есть техническое выраженіе, которое означаетъ въ механикѣ

торый соответствует настоящему медленному вращению солнца. Эта крайне точная прицѣлка, такъ сказать, одного тѣла въ другое, по простой теоріи вѣроятности, крайне невѣроятна. Съ другой стороны, есть увѣренность въ томъ, что два находящихся въ покоѣ въ пространствѣ тѣла *A* и *B*, будучи предоставлены самимъ себѣ и не будучи подвержены вліянію другихъ тѣлъ, а находясь только подъ вліяніемъ своего взаимнаго притяженія, столкнутся, непосредственно ударившись другъ въ друга, причемъ вслѣдствіе этого и ихъ центръ инерціи послѣ столкновения не будетъ имѣть никакого движенія, и все сложное тѣло—никакого момента вращенія. Такимъ образомъ мы видимъ, что простая вѣроятность столкновения между двумя сосѣдями изъ большого числа взаимно притягивающихся тѣлъ, широко раскинутыхъ по пространству, много больше, если тѣла эти всѣ даны въ покоѣ, чѣмъ, если они даны двигающимися въ какихъ либо произвольныхъ направленіяхъ и съ какими либо скоростями, значительными сравнительно со скоростями,

значительность движенія по отношенію къ обращенію или къ вращенію вокругъ нѣкоторой оси. Momentum есть выраженіе, принятое около полутора вѣка тому назадъ (когда математики и другіе ученые люди говорили и писали по латыни) для обозначенія значительности движенія поступательнаго. Моментъ пары силъ [moment of a couple], моментъ магнита [moment of magnet], моментъ инерціи [moment of inertia], моментъ силы вокругъ оси [moment of force round an axis], моментъ количества движенія вокругъ оси [moment of momentum round an axis] и соответственныя соединенія словъ во французскомъ и нѣмецкомъ представляютъ собой выраженія, которыя были введены за послѣдніа шестьдесятъ лѣтъ (людьми науки, говорившими, какъ теперь, каждый на своемъ собственномъ родномъ языкѣ) для обозначенія значительности того спеціального предмета, о которомъ идетъ рѣчь въ каждомъ случаѣ. Выраженіе «moment of momentum» въ высшей степени цѣнно и удобно въ механикѣ и представляетъ собой интересный филологическій памятникъ исторіи науки ²⁾. (Прим. автора).

²⁾ Такъ какъ слово «momentum» означаетъ то, что мы называемъ теперь количествомъ движенія, т. е. произведение массы тѣла на его скорость, то вмѣсто того, чтобы вводить новое выраженіе, мы позволили себѣ переводить выраженіе «moment of momentum» совершенно вошедшимъ въ научный языкъ терминомъ «моментъ количества движенія».

(Прим. перев.).

которыя они приобрѣли бы при столкновеніи, приходя въ движеніе изъ состоянія покоя. Въ связи съ этимъ въ высшей степени интересно узнать изъ звѣздной астрономіи, которой такъ блистательно, какъ это недавно, на примѣръ, было, помогаетъ спектроскопъ, что относительныя движенія видимыхъ звѣздъ и нашего солнца вообще очень малы въ сравненіи съ тою скоростью (612 километровъ въ секунду), которую приобрѣло бы тѣло, падая на солнце, и сравнимы съ умѣренной небольшою скоростью (29.5 километровъ въ секунду) земли по ея орбитѣ вокругъ солнца.

Чтобы остановиться на чемъ нибудь опредѣленномъ, представьте себѣ два холодныхъ твердыхъ шара, каждый той же средней плотности, какъ земля, и діаметромъ въ половину солнечнаго, находящіеся въ покоѣ, или почти въ покоѣ, и отстоящіе другъ отъ друга на разстояніе, равное удвоенному разстоянію земли отъ солнца. Они упадутъ другъ на друга и столкнутся ровно въ полгода. Столкновение будетъ продолжаться около получаса, втеченіе котораго шары преобразуются въ бурно колеблющуюся, раскаленную добѣла, жидкую массу, разлетающуюся наружу отъ линіи ¹⁾ движенія до столкновения и раздувающуюся до объема, въ нѣсколько разъ большаго, чѣмъ сумма первоначальныхъ объемовъ этихъ двухъ шаровъ ²⁾. Сказать, какъ далеко разлетится эта жидкая масса во всѣ стороны отъ

¹⁾ Т. е. перпендикулярно къ этой линіи. (Прим. перев.).

²⁾ Такіе инциденты, повидимому, иной разъ случаются во вселенной. «Иногда, говоритъ Лапласъ, наблюдали звѣзды, которыя почти внезапно появлялись и затѣмъ исчезали, просвѣтивъ нѣсколько мѣсяцовъ съ самымъ яркимъ блескомъ. Такова была знаменитая звѣзда, наблюдавшаяся въ 1572 году, въ созвѣздіи Кассіопеи. Въ короткое время она превзошла яркостью самыя красивыя звѣзды и даже самого Юпитера; затѣмъ ея свѣтъ ослабѣлъ и она черезъ шестнадцать мѣсяцевъ послѣ ея открытія исчезла, не измѣнивъ мѣста на небѣ. Цвѣтъ ея испыталъ значительныя измѣненія: она сначала была ярко-бѣлаго цвѣта, затѣмъ красновато-желтаго и, наконецъ, бѣло-свинцоваго, какъ Сатурнъ ³⁾».

(Прим. автора).

³⁾ Laplace, *Système du Monde*, Oeuvres, т. VI, стр. 58. Томсонъ цитируетъ переводъ Гартэ [Harte's translation of Laplace's *System of the World*. Dublin, 1830]. (Прим. перев.).

линии столкновения, не представляется возможности. Движение слишком сложно, чтобы можно было вполне исследовать его какимъ либо известнымъ математическимъ способомъ; но съ достаточнымъ терпѣніемъ математикъ былъ бы въ состояніи вычислить его съ нѣкоторымъ довольно большимъ приближеніемъ къ истинѣ. Разстояніе, достигнутое крайнимъ круговымъ валикомъ жидкой массы, было бы, вѣроятно, много меньше того разстоянія, которое прошелъ каждый шаръ до столкновения, потому что поступательное движеніе молекулъ, составляющее тепло, въ которое при первомъ столкновении преобразовывается энергія первоначальнаго паденія шаровъ, вѣроятно, достигаетъ около трехъ пятыхъ количества всей энергіи. Время движенія жидкой массы въ стороны отъ линии столкновения шаровъ было бы, вѣроятно, менѣе полугода, — по прошествіи котораго жидкая масса должна начать обратное движеніе по направленію къ оси удара. Черезъ нѣкоторый промежутокъ времени, меньшій, чѣмъ годъ, послѣ перваго столкновения жидкость снова будетъ въ состояніи наибольшаго скопленія вокругъ центра и этотъ разъ будетъ, вѣроятно, болѣе бурно колебаться, чѣмъ это было немедленно послѣ перваго столкновения; и она снова разлетится наружу, но на этотъ разъ вдоль по оси, по направленію къ тѣмъ мѣстамъ, изъ которыхъ упали другъ на друга эти два шара. Жидкость снова упадетъ внутрь и послѣ ряда затихающихъ, но все болѣе и болѣе быстрыхъ колебаній она затихнетъ, вѣроятно, по прошествіи двухъ или трехъ лѣтъ, въ видѣ шарообразной звѣзды, обладающей почти такой же массой, тепломъ и яркостью, какъ наше теперешнее солнце, но отличающейся отъ него тѣмъ, что оно не будетъ имѣть вращенія.

Мы предполагали, что два шара были въ покоѣ, когда они стали падать другъ на друга съ разстоянія, равнаго діаметру земной орбиты. Предположите, теперь, что вмѣсто того, чтобы быть въ покоѣ, шары двигались поперекъ по противоположнымъ направленіямъ съ относительной скоростью въ два (точнѣе 1·89) метра въ секунду. Моментъ количества движенія этихъ движеній вокругъ оси, проходящей черезъ

центръ тяжести этихъ двухъ шаровъ перпендикулярно къ ихъ траекторіямъ, какъ разъ равенъ моменту количества движеній вращенія солнца вокругъ его оси. Элементарный и легко доказываемый законъ механики говоритъ намъ, что никакое взаимодѣйствіе между частями системы тѣлъ или одного тѣла крѣпкаго, гибкаго или жидкаго, не можетъ измѣнить момента количества движенія всей системы. Поперечная скорость въ томъ случаѣ, который мы теперь предполагаемъ, такъ мала, что ни одна изъ главныхъ внѣшнихъ чертъ столкновения и бурныхъ колебаній, слѣдующихъ за нимъ, которыя мы разсматривали, ни величина, ни тепло, ни яркость образующейся звѣзды не будутъ замѣтно измѣнены; но теперь вмѣсто того, чтобы быть лишеной вращенія, звѣзда эта будетъ дѣлать одинъ оборотъ въ двадцать пять дней и будетъ такимъ образомъ во всѣхъ отношеніяхъ подобна нашему солнцу.

Если бы вмѣсто того, чтобы быть первоначально въ покоѣ или двигаться съ выше разсмотрѣнными, небольшими поперечными скоростями, каждый шаръ имѣлъ поперечную скорость въ три четверти (или нѣсколько больше 0·71) километра въ секунду, шары избѣгли бы столкновения и стали бы обращаться по эллипсамъ вокругъ ихъ общаго центра инерціи съ періодомъ въ одинъ годъ, почти задѣвая поверхность другъ друга каждый разъ, какъ они подходили бы къ ближайшимъ точкамъ своихъ орбитъ.

Если бы первоначальная поперечная скорость каждого шара была меньше, но не много меньше, чѣмъ 0·71 километра въ секунду, то шары задѣли бы другъ друга, произошло бы бурное столкновение и въ нѣсколько часовъ явились бы два яркихъ солнца и начали бы обращаться вокругъ общаго центра инерціи по длиннымъ эллиптическимъ орбитамъ въ періодъ, нѣсколько меньшій одного года. Приливообразное взаимодѣйствіе между ними уменьшало бы эксцентритеты ихъ орбитъ и заставило бы ихъ обоихъ, если бы оно продолжалось довольно долго, обращаться по круговымъ орбитамъ вокругъ ихъ центра инерціи съ разстояніемъ между ихъ поверхностями, равнымъ 6·44 діаметра каждого.

Предположите теперь,—выбирая опять частный случай, чтобы остановиться на чемъ нибудь определенномъ,—что двадцать девять милліоновъ холодныхъ твердыхъ шаровъ, каждый почти такой же массы, какъ луна, составляющихъ всѣ въ суммѣ массу, равную массѣ солнца, разбросаны какъ можно равномерно по поверхности сферы радіуса, равнаго взятому сто разъ радіусу земной орбиты, и что они оставлены въ абсолютномъ покоѣ въ этомъ положеніи. Всѣ шары начнутъ падать по направленію къ центру сферы и встрѣтятся тамъ черезъ двѣсти пятьдесятъ лѣтъ и тогда каждый изъ двадцати девяти милліоновъ шаровъ втеченіе получаса расплавится и температура его повысится на нѣсколько сотъ тысячъ или на милліонъ градусовъ Цельзія. Жидкая масса, такимъ образомъ образовавшаяся, вслѣдствіе этого чудовищнаго жара взорвется во всѣ стороны во внѣшнее пространство и превратится въ паръ или газъ. При первомъ разлетѣ этотъ газъ достигнетъ до разстоянія, значительно меньшаго, чѣмъ взятый сто разъ радіусъ земной орбиты. За этимъ послѣдуетъ рядъ колебаній наружу и внутрь, постепенно уменьшающихся, и этотъ раскаленный добѣла шаръ, попеременно, такимъ образомъ, сжимающійся и расширяющійся, втеченіе, можетъ быть, трехъ или четырехъ сотъ лѣтъ уменьшится до размѣра шара, котораго радіусъ въ сорокъ ¹⁾ разъ больше радіуса земной орбиты. Средняя плотность газообразной туманности, такимъ образомъ образовавшейся, была бы равна $(215 \times 40)^{-3}$ или $\frac{1}{636,000,000,000}$ средней плотности солнца, или $\frac{1}{454,000,000,000}$ плотности воды, или $\frac{1}{575,000,000}$ плотности нашего воздуха при температурѣ въ 10° Ц. Плотность въ ея центральныхъ частяхъ, почти равномерная на протяженіи нѣсколькихъ милліоновъ километровъ, была бы равна

¹⁾ Радіусъ постоянной шаровой газообразной туманности изъ какого нибудь однороднаго газа равенъ 40 процентамъ отъ радіуса той сферической поверхности, съ которой ея составныя части должны упасть къ ихъ настоящимъ положеніямъ въ туманности, чтобы имѣть ту же самую кинетическую энергію, какую имѣетъ туманность.

(Прим. автора).

(см. прим. 2 на стр. 282) $\frac{1}{20,000,000,000}$ плотности воды или $\frac{1}{25,000,000}$ плотности воздуха. Эта крайне малая плотность разъ въ шесть больше плотности кислорода и азота, остававшихся въ нѣкоторыхъ сосудахъ Боттомлея при выкачиваніи оттуда газовъ при экспериментальныхъ измѣреніяхъ количества тепла, испускаемаго исключительно излученіемъ изъ сильно нагрѣтыхъ тѣлъ. Если бы веществомъ туманности былъ кислородъ или азотъ или другой газъ или смѣсь газовъ, простыхъ или сложныхъ, удѣльной плотности, равной удѣльной плотности нашего воздуха, то температура въ центрѣ туманности была бы $51,200^{\circ}$ Ц. и средняя поступательная скорость молекулъ тамъ была бы 6·7 километра въ секунду, что равно $\sqrt{\frac{3}{7}}$ отъ $10^{\cdot}2$,—скорости, приобретаемой тяжелымъ тѣломъ, падающимъ, не встрѣчая препятствій, съ внѣшней поверхности туманообразной массы (съ разстоянія, равнаго взятому сорокъ разъ радіусу земной орбиты) къ ея центру.

Такимъ образомъ образовавшаяся газообразная туманность, стянувшись въ нѣсколько милліоновъ лѣтъ, вслѣдствіе постоянного излученія изъ себя тепла, до размѣровъ нашего теперешняго солнца, и у ней были бы точно такія же тепловыя и свѣтovyя свойства, но не было бы ни признака вращенія.

Главный моментъ количествъ движенія всей солнечной системы разъ въ восемнадцать больше момента количества движенія, относящагося къ вращенію солнца; причемъ семнадцать восемнадцатыхъ его приходится на долю Юпитера, а одна восемнадцатая—на долю солнца, другія же тѣла не стоитъ принимать въ расчетъ при вычисленіи главнаго момента количествъ движенія ¹⁾.

¹⁾ Не безынтересно привести полную таблицу механическихъ энергій солнечной системы, данную Томсономъ въ статьѣ того же названія (см. прим. 1 на стр. 245).

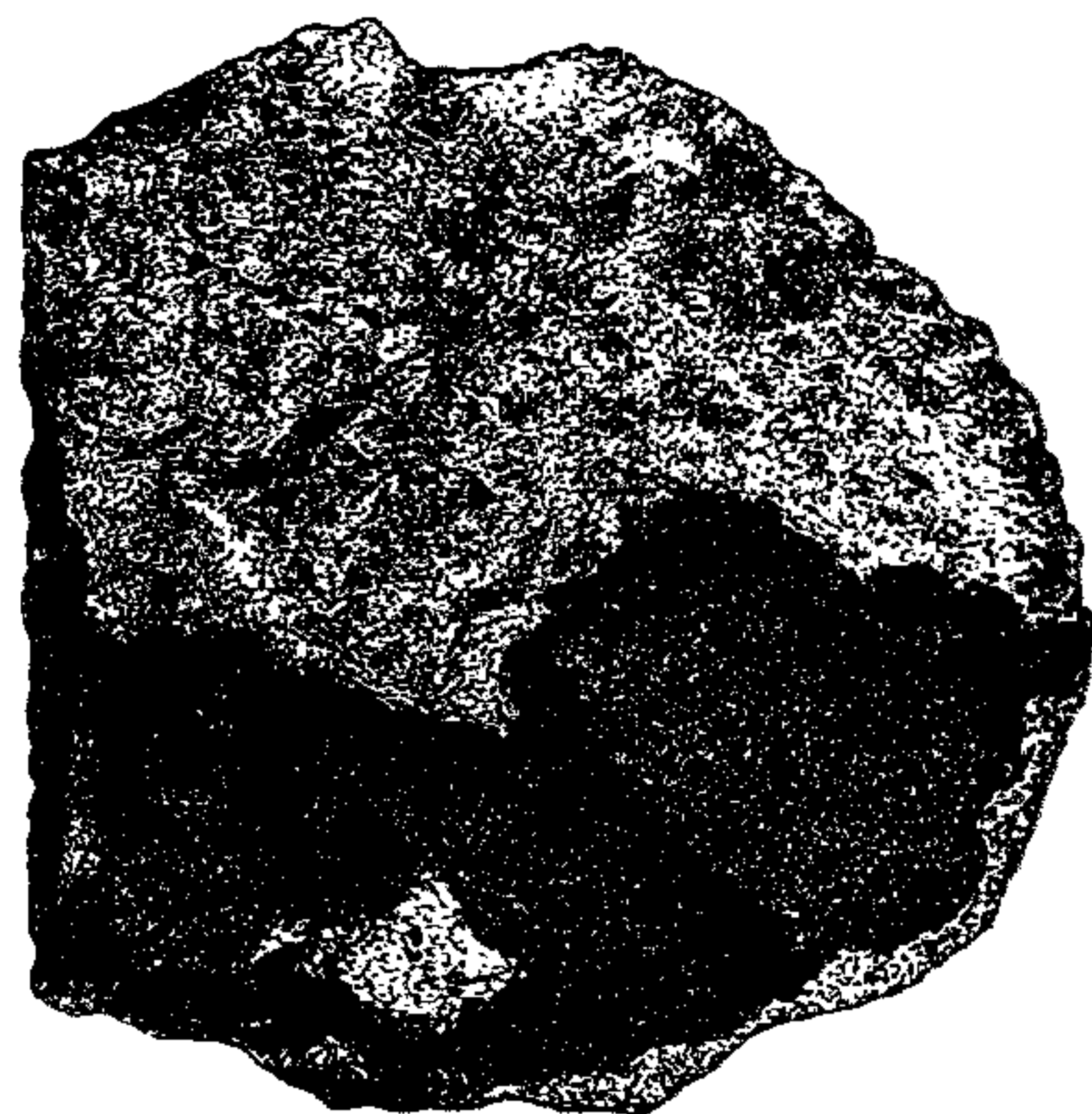
Энергіи, данныя въ оригинальной статьѣ (Math. Phys. Pap., 3, 15) въ фунто-футахъ, переведены въ килограммо-метры при посредствѣ множителя $0\cdot1382=0\cdot4535 \times 0\cdot3048$. При вычисленіи кинетическихъ энергій вращенія солнца и планетъ моменты инерціи ихъ приняты Томсономъ

	Потенціальная энергія тяготѣнія къ поверхности солнца.		Кинетическая энергія вращенія или обращенія вокругъ центра солнца.	
	Въ килограм- мо-метрахъ.	Въ годахъ солнечнаго тепла при настоящей скорости излученія.	Въ килограм- мо-метрахъ.	Въ годахъ солнечнаго тепла при настоящей скорости излученія.
Солнце	—	—	$1,349,000 \times 10^{29}$	116 л. 6 д.
Воображаемая планета, мас- сою въ 45×10^{29} килогрм. и у са- мой поверхно- сти солнца.	0	0	46×10^{29}	1.44 "
Меркурій	79×10^{32}	6 л. 214 д.	480×10^{29}	15.2 "
Венера	964×10^{32}	83 " 227 "	$3,186 \times 10^{29}$	98.5 "
Земля	$1,102 \times 10^{32}$	94 " 303 "	$2,548 \times 10^{29}$	80.7 "
Марсъ	145×10^{32}	12 " 252 "	221×10^{29}	7.0 "
Юпитеръ	$371,600 \times 10^{32}$	32,240	$165,860 \times 10^{29}$	14 л. 144 "
Сатурнъ	$111,200 \times 10^{32}$	9,650	$27,070 \times 10^{29}$	2 " 127 "
Уранъ	$18,570 \times 10^{32}$	1,610	$2,246 \times 10^{29}$	71.2 "
Нептунъ	$21,770 \times 10^{32}$	1,890	$1,683 \times 10^{29}$	53.3 "
	къ поверхности земли		вокругъ центра земли	
Луна	0.003934×10^{32}	3.0 час.	0.03244×10^{29}	1.48 мин.
Земля	—	—	0.20240×10^{29}	9.03 "
Итого	$525,400 \times 10^{32}$	45,589 лѣтъ.	$1,552,000 \times 10^{29}$	134 года.

вслѣдствіе неравномѣрнаго распредѣленія плотности равными одной трети произведенія массы на квадратъ радіуса вмѣсто двухъ пятыхъ того же произведенія, какъ должно было бы быть, если бы плотность была вездѣ одинаковой. (Прим. перев.).

Теперь пусть эти двадцать девять милліоновъ лунъ, вмѣсто того, чтобы быть въ абсолютномъ покоѣ въ началѣ, будутъ всѣ даны съ нѣкоторымъ небольшимъ движеніемъ, которое въ суммѣ обладало бы главнымъ моментомъ количествъ движенія вокругъ нѣкоторой оси, равнымъ моменту количествъ движенія солнечной системы, который мы только что разсматривали, — или значительно превосходящимъ его, чтобы уравновѣсить вліянія сопротивленія среды. Онѣ будутъ втеченіе двухсотъ пятидесяти лѣтъ падать, стремись другъ къ другу, и, хотя не встрѣчаясь точно въ центрѣ, какъ въ первомъ случаѣ, когда мы предполагали, что не было никакого первоначальнаго движенія, онѣ тамъ такъ столкнутся вмѣстѣ, что произойдутъ мириады столкновеній и почти каждый изъ двадцати девяти милліоновъ шаровъ будетъ расплавленъ и обращенъ въ паръ тепломъ отъ этихъ столкновеній. Порожденный этимъ паръ или газъ разлетится наружу и, послѣ нѣсколькихъ сотъ или тысячъ лѣтъ колебательнаго движенія наружу и внутрь, превратится въ сплюснутую вращающуюся туманность, которая будетъ простирается своимъ экваторіальнымъ радіусомъ далеко за орбиту Нептуна и обладать моментомъ количествъ движенія, равнымъ или превосходящимъ моментъ количествъ движенія солнечной системы. Это представляетъ собой какъ разъ то начало, которое предположилъ Лапласъ въ своей туманной теоріи развитія солнечной системы, — теоріи, которая, будучи основана на естественной исторіи звѣздной вселенной, какъ она была наблюдаема старшимъ Гершелемъ, и будучи завершена въ подробностяхъ остроуміемъ механическихъ сужденій и гениальнымъ воображеніемъ Лапласа, теперь обращена термодинамикой, по видимому, въ необходимую истину, разъ мы сдѣлаемъ только одно ненадежное предположеніе, что матерьялы, составляющіе въ настоящее время мертвую матерію солнечной системы, существовали, подчиняясь законамъ мертвой матеріи, втеченіе сотни милліоновъ лѣтъ. Такимъ образомъ, быть можетъ на самомъ дѣлѣ эволюція, до извѣстной степени автоматическая, солнечной системы отъ холодной матеріи, разсѣянной по пространству, къ настоящему очевидному порядку и красотѣ этой

системы, освѣщаемой и согрѣваемой ея блестящимъ солнцемъ, не представляетъ собою болѣе таинственнаго и трудно понимаемаго, чѣмъ то, что заключается въ процессѣ заводки¹⁾ часовъ и хода ихъ до остановки. Едва ли мнѣ нужно говорить, что начало и сохраненіе жизни на землѣ находится безусловно и бесконечно за предѣлами всякихъ здравыхъ разсужденій въ механикѣ. Единственный вкладъ механики въ теоретическую біологію есть безусловное отрицаніе автоматическаго начала или автоматическаго сохраненія жизни.



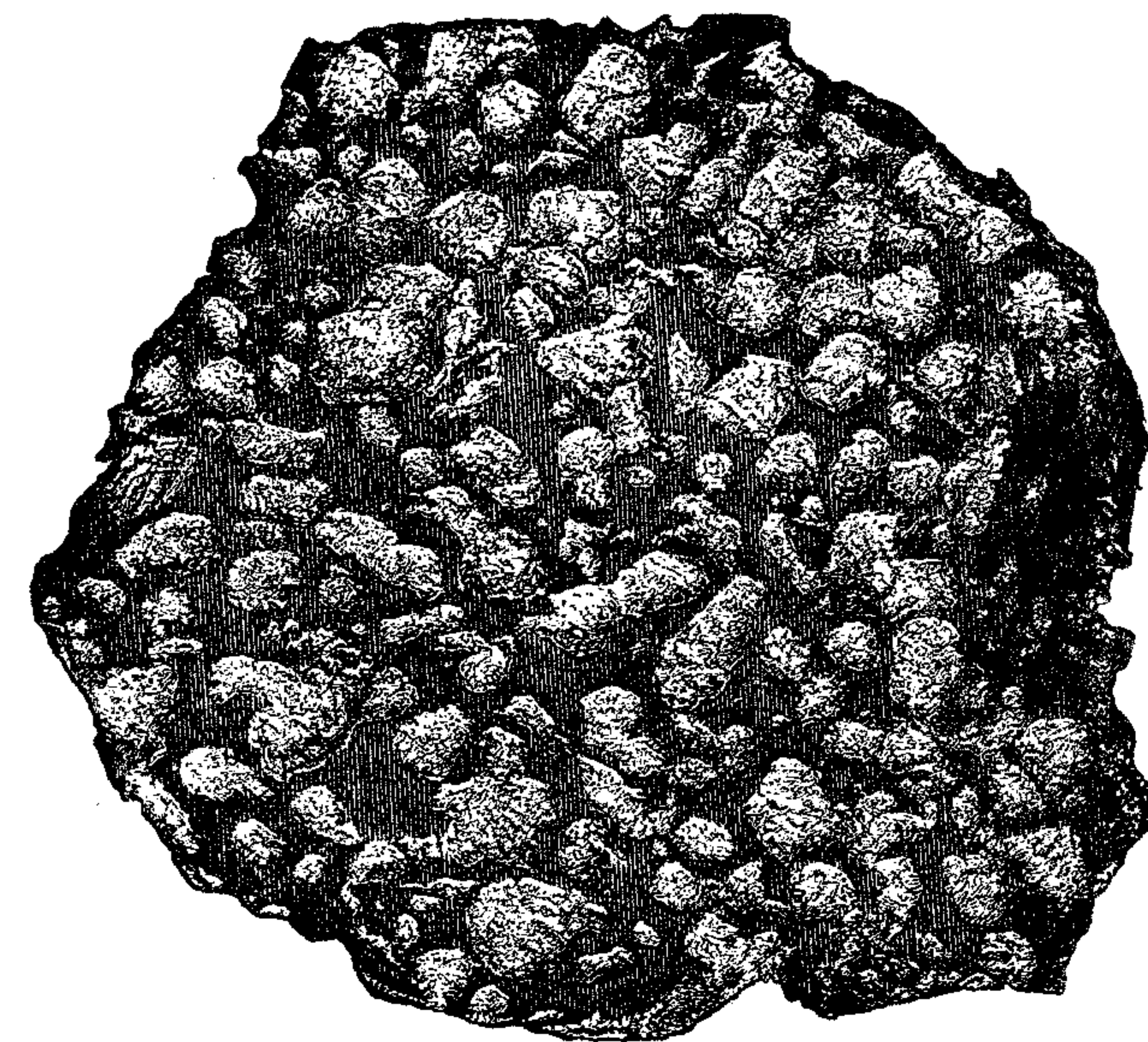
{ 5 сантиметровъ. }

Рис. 50.

Въ заключеніе я скажу только, что, если принять, что масса солнца составлена изъ матерьяловъ, которые находились далеко другъ отъ друга передъ тѣмъ, какъ солнце стало горячимъ, то непосредственно передъ накаленнымъ добѣла солнцемъ должны были существовать два тѣла, отличающіяся только по размѣрамъ и плотностямъ отъ тѣхъ, которыя мы здѣсь разсматривали, какъ примѣры; или такихъ тѣлъ могло быть нѣкоторое

¹⁾ Даже въ этомъ,—и во всѣхъ свойствахъ матеріи, которыя играютъ въ этомъ роль,—достаточно, и даже болѣе, чѣмъ достаточно, таинственности для нашего ограниченнаго пониманія. Часовая пружина находится много дальше за предѣлами нашего пониманія, чѣмъ газообразная туманность.
(Прим. автора).

число, большее двухъ,—нѣкоторое конечное число,—самое большое — это число атомовъ въ теперешней массѣ солнца, — конечное число, которое должно, съ достаточной вѣроятностью, заключаться между 4×10^{57} и 140×10^{57} , — числами, такъ же легко понимаемыми и воображаемыми, какъ числа 4 и 140. Непосредственными предшественниками бѣлокалильнаго состоянія солнца моглибыть всѣ составныя части его въ состояніи крайняго раздѣленія,—т. е. въ состояніи отдѣльныхъ атомовъ; ими могло быть любое меньшее число группъ атомовъ, составляющихъ мелкіе кристаллы или группы кристалловъ, — такъ сказать, хлопья снѣга изъ матеріи; или ими могли быть комки матеріи, вродѣ щебенки; или вродѣ этого камня²⁾ (рис. 50),



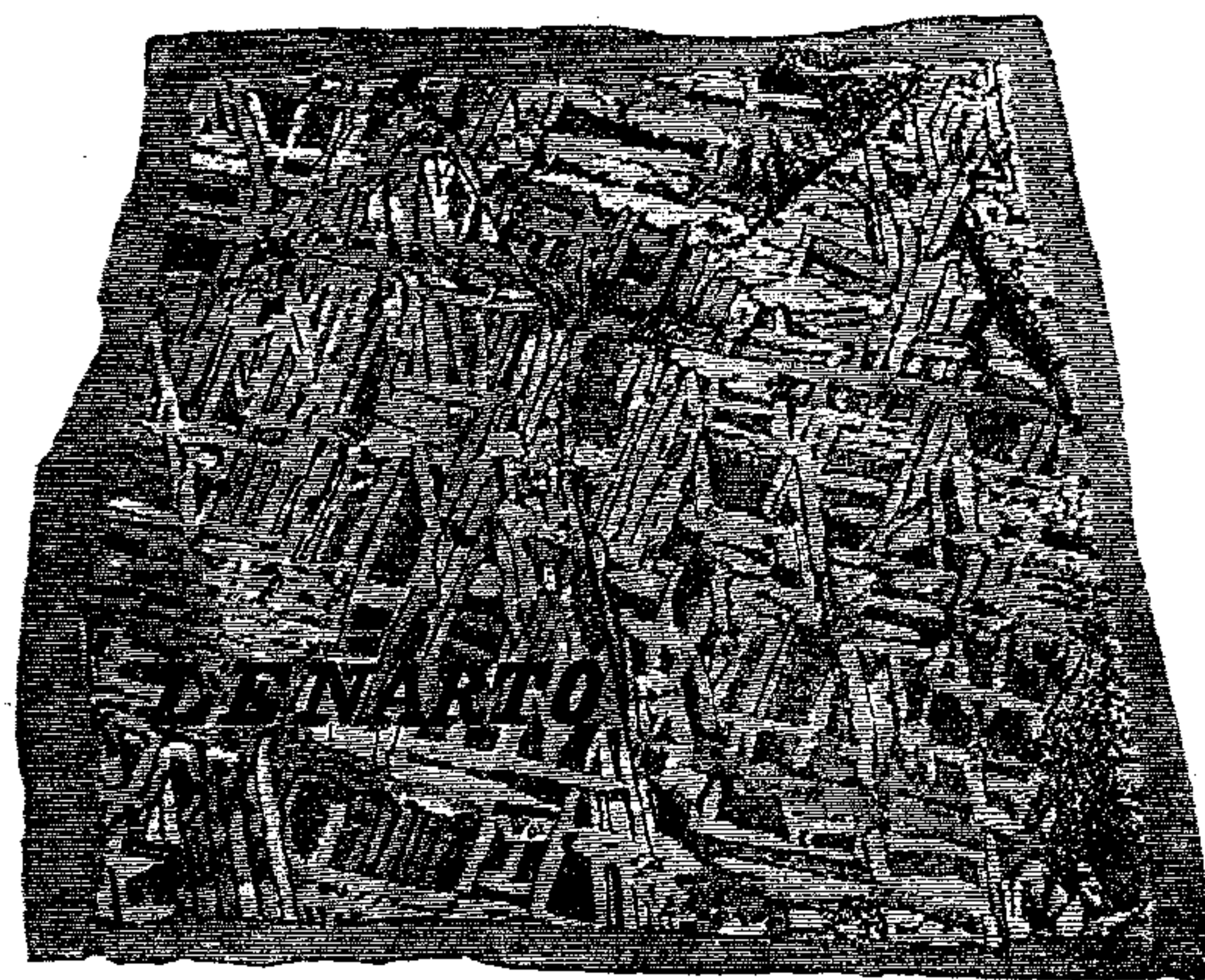
{ 13 1/2 сантиметровъ. }

Рис. 51.

который вы могли бы по ошибкѣ принять за кусокъ щебня, но который въ дѣйствительности странствовалъ по небес-

²⁾ Эти три метеора находятся во владѣніи Гунтеровскаго музея (Hunterian Museum) Глазговскаго университета и клише рисунковъ 50, 51 и 52 были сняты съ настоящихъ экземпляровъ, любезно одолжен-

ному пространству до тѣхъ поръ, пока не упалъ на землю въ Поссилѣ (Possil), въ окрестностяхъ Глазго, 5-го апрѣля 1804 года; или вродѣ этого (рис. 51), который былъ найденъ въ пустынѣ Атакама, въ Южной Америкѣ, и который считаютъ упавшимъ тамъ съ неба,—осколокъ, составленный изъ желѣза и камня, который имѣетъ такой видъ, какъ будто онъ отвердѣлъ изъ смѣси гравеля и расплавленнаго желѣза въ мѣстѣ, гдѣ была очень мала сила тяжести; или этотъ великолѣпно выкристаллизовавшийся кусокъ желѣза (рис. 52), плитка, вы-



{ 9¹/₄ сантиметровъ }
Рис. 52.

рѣзанная изъ знаменитаго аэролита, который упалъ въ Ленарто, въ Венгріи ¹⁾; или этотъ удивительной формы образецъ ныхъ для этой цѣли хранителемъ музея, профессоромъ Юнгомъ. Экземпляръ, изображенный на рис. 50, находится въ коллекціи Гунтера, изображенный на рис. 51,—въ коллекціи Экка, а изображенный на рис. 52—въ коллекціи Лэнфайна; шкала размѣровъ указана для каждаго. Можно сдѣлать замѣчаніе, что рис. 51 изображаетъ сѣченіе метеорита, взятое въ плоскости самой длинной изъ трехъ прямоугольныхъ осей; причемъ свѣтлыя крапинки суть большіе и хорошо образованные кристаллы оливина, вкрапленные въ матрицу изъ желѣза. На рисункѣ 52 нарисована прекрасная Видманштеттеневская отмѣтка, отличительная для всякаго метеорнаго желѣза и такъ ясно указанная въ извѣстномъ метеоритѣ изъ Ленарто.

(Прим. автора).

¹⁾ Смотри предыдущее примѣчаніе

(Прим. автора).

(два вида котораго даны на рис. 53 и 54), модель Миддльбургскаго метеорита (любезно данная мнѣ профессоромъ А. С. Гершелемъ), имѣющая морщины, показывающія, какъ его рас-

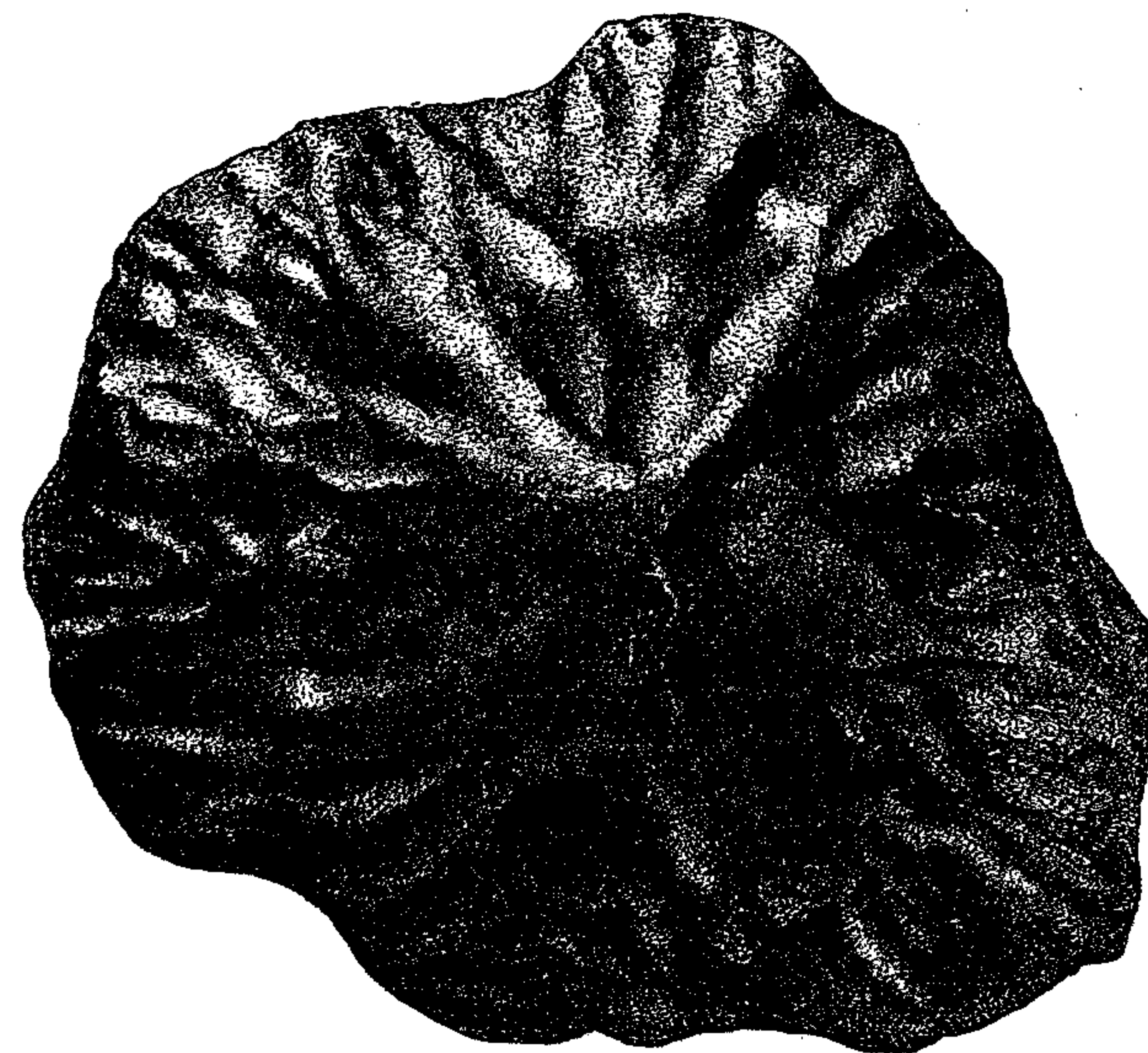


Рис. 53.

{ 15 сантиметровъ }

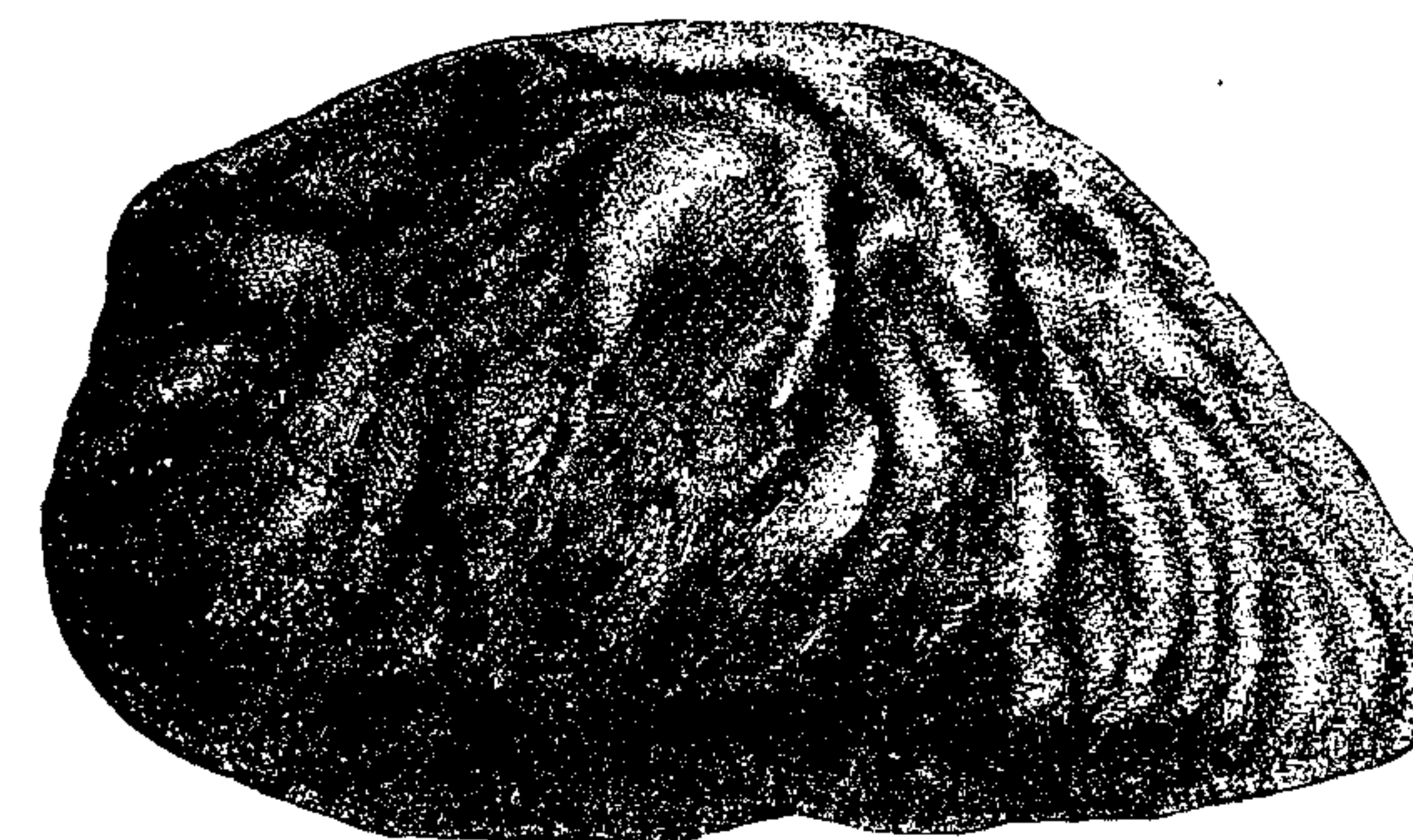


Рис. 54

плавленное вещество сбѣжало съ передней части его поверхности въ его окончательномъ полетѣ черезъ земную атмосферу,

когда видѣли его паденіе, 14 марта 1881 года въ 3 ч. 35 м. пополудни.

Для теоріи солнца безразлично, какое изъ этихъ различныхъ соединеній матеріи было непосредственнымъ предшественникомъ его раскаленного добѣла состоянія, но я никогда не могу думать объ этихъ матерьяльныхъ предшественникахъ, не вспоминая вопроса, поставленнаго мнѣ тридцать лѣтъ назадъ покойнымъ епископомъ Юингомъ, епископомъ Арджиля и Острововъ (of Argyll and Isles): «неужели вы воображаете, что кусокъ вещества былъ такимъ, какъ онъ есть, съ самаго начала; что онъ былъ созданъ такимъ, какъ онъ есть, или что онъ былъ такимъ, какъ онъ есть, до тѣхъ поръ, пока онъ не упалъ на землю?» Я сказалъ ему, что я считаю, что солнце образовалось изъ метеорныхъ камней, но онъ не могъ удовлетвориться, пока не узналъ бы или не могъ бы представить себѣ, изъ какого рода камней. Я могъ только согласиться съ нимъ, чувствуя невозможнымъ представить себѣ, что какой либо изъ такихъ метеоритовъ, какъ тѣ, которые находятся теперь передъ вами, былъ такимъ, какъ онъ есть, втеченіе всего времени, или что матерьялы, изъ которыхъ составилось солнце, были подобны этому куску все время до тѣхъ поръ, пока они не соединились вмѣстѣ и не стали горячими. Навѣрное, этотъ камень имѣетъ полную приключеній исторію, но я не буду злоупотреблять вашимъ терпѣніемъ попыткой именно теперь начертать ее предположительно. Я только скажу, что мы не можемъ не согласиться съ общимъ мнѣніемъ, которое смотреть на метеориты, какъ на осколки отъ большихъ массъ; и мы не можемъ быть удовлетворены, пока не попытаемся вообразить себѣ, что представляли собой предшественники этихъ массъ.

Электрическія измѣренія.

(Рѣчь, произнесенная 17 марта 1876 года передъ секціей механики на собраніяхъ, засѣдавшихъ по случаю спеціальной выставки коллекціи научныхъ приборовъ Лона [the Special Loan Collection of Scientific Apparatus] въ Саусъ-Кенсингтонскомъ музеѣ, подъ предсѣдательствомъ д-ра К. В. Сименса).

Начало электрическихъ измѣреній представляютъ, по моему мнѣнію, измѣренія электростатическихъ силъ Робинсономъ въ Единбургѣ и Кулономъ въ Парижѣ. Великіе результаты, послѣдовавшіе изъ этихъ измѣреній, указываютъ, какъ важны точныя измѣренія для полного прогресса научныхъ знаній въ какой либо отрасли физики. Ученые, занимавшіеся раньше электричествомъ, просто описывали явленія, — притяженія и отталкиванія, сіянія и искры — и самымъ близкимъ приближеніемъ къ измѣренію, какое они дали намъ, была длина искры при извѣстныхъ обстоятельствахъ, причемъ другія обстоятельства, отъ которыхъ длина искры могла бы зависѣть, оставались неизмѣренными. Опытами Робинсона и Кулона былъ установленъ законъ электростатической силы, по которому два небольшихъ тѣла, наэлектризованныя каждое нѣкоторымъ постояннымъ количествомъ электричества, дѣйствуютъ другъ на друга съ силой притягательной или отталкивательной, зависящей отъ того, будутъ ли ихъ электричества сходны или не сходны, и измѣняющейся обратно пропорціоально квадрату разстоянія, при измѣненіи разстоянія между этими двумя тѣлами.

Въ физикѣ, вообще, при измѣреніи прибѣгаютъ къ тому или другому изъ двухъ методовъ: — къ методу приведенія къ нулю или, какъ его называютъ, къ методу *нуля*; и къ методу

измѣренія нѣкотораго непрерывно измѣняющагося количества. Эта вторая отрасль измѣреній иллюстрировалась опытами Кулона и Робинсона, въ которыхъ опредѣлялся законъ, по которому электрическая сила измѣняется, когда разстояніе между тѣлами, оказывающими другъ на друга вліяніе, непрерывно измѣняется. Другой способъ измѣреній основывается на другомъ крайне важномъ явленіи, касающемся теоріи электричества, — а именно, исчезновеніи электрической силы во внутренности проводника. Оба способа измѣреній были примѣнены замѣчательнымъ образомъ на практикѣ Кэвендишемъ. Весьма интересный результатъ, который получится изъ Кэвендишевой лабораторіи въ Кэмбриджѣ и изъ возникшихъ по поводу этого обстоятельства сношеній между профессоромъ Клеркомъ Максвеллемъ и щедрымъ основателемъ этого учрежденія, герцогомъ Девоншайрскимъ, заключается въ слѣдующемъ. Рукописи Кэвендиша, которыя до сихъ поръ остаются въ этой семьѣ, будучи въ настоящее время, насколько мнѣ извѣстно, во владѣніи герцога Девоншайрскаго, переданы имъ въ руки профессора Клерка Максвелля для того, чтобы напечатать ихъ или полностью, или же сдѣлать изъ нихъ такія извлечения, которыя могутъ оказаться интересными въ научномъ отношеніи въ наше время ¹⁾. Всѣ рукописи, безъ сомнѣнія,

¹⁾ Теперь онѣ напечатаны типографіей Кэмбриджскаго университета въ 1879 году, отдѣльной книгой, подъ заглавіемъ: „The Electrical Researches of the Honourable Henry Cavendish, F. R. S., written between 1771 and 1781; edited from the original manuscripts in the possession of the Duke of Devonshire, K. G., by J. Clerk Maxwell, F. R. S.“ (Электрическія изслѣдованія Высокороднаго ²⁾ Генри Кэвендиша, члена королевскаго общества, написанныя между 1771 и 1781 годами; изданы съ оригинальныхъ рукописей, находящихся во владѣніи герцога Девоншайрскаго, кавалера ордена Подвязки, Дж. Клеркомъ Максвеллемъ ³⁾, членомъ королевскаго общества).
(Прим. автора).

²⁾ The Honourable соотвѣтствуетъ нѣмецкому Wohlgeboren, русскому Его Высокородіе.
(Прим. перев.).

³⁾ Очень интересны и важны примѣчанія Максвелля.

(Прим. перев.).

имѣли нѣкогда большой интересъ въ научномъ отношеніи. Большая часть этихъ рукописей, я думаю, окажется крайне интересной даже теперь, и изъ того, что я слышалъ нѣсколько дней тому назадъ отъ профессора Клерка Максвелля, когда онъ былъ здѣсь въ день открытія настоящаго собранія, я узналъ, что въ этихъ рукописяхъ окажется гораздо больше, чѣмъ могли воображать, и что, въ частности, въ нихъ найдена цѣлая система электрическихъ измѣреній, выведенная изъ измѣреній электростатической емкости. Самая мысль объ измѣреніи электростатической емкости опредѣленнымъ научнымъ образомъ, какъ теперь обнаруживается, принадлежитъ Кэвендишу. Много лѣтъ тому назадъ, въ 1846 или 1847 году, когда Кэвендишевскія рукописи были въ рукахъ сэра Вил. Сно Гарриса, въ Плимутѣ, я самъ нашелъ одну бумагу. — изъ ящика, полного неразобранныхъ рукописей, — которая меня крайне поразила. Она содержала описаніе одного опыта и его результатъ, — измѣреніе электростатической емкости изолированнаго круговаго диска. Это одинъ изъ случаевъ, въ которыхъ теорія, основанная Робинсономъ и Кулономъ и получившая дальнѣйшее развитіе въ рукахъ послѣдующихъ математиковъ, позволяла вычислить результатъ à priori, и я нашелъ, что результатъ совпадаетъ съ измѣреніемъ Кэвендиша, если память мнѣ не измѣняетъ, въ предѣлахъ половины процента. Упомянувъ объ этихъ измѣреніяхъ электрической силы Кулономъ и Робинсономъ, приведшихъ къ истинному закону силы, и объ измѣреніи Кэвендишемъ электростатической емкости, — предметъ, который, вообще, чрезвычайно мало извѣстенъ и считается самымъ труднымъ изъ всѣхъ въ электричествѣ, — я сказалъ достаточно, чтобы показать, что мы, въ этомъ столѣтіи, не должны предъявлять притязанія на честь быть основателями электрическаго измѣренія.

Другой основной методъ измѣреній, на который я ссылался, иллюстрируется также записками Кэвендиша, — это есть методъ приведенія къ нулю. Очень любопытно, что, тогда какъ Кулонъ и Робинсонъ непосредственными измѣреніями непрерывно измѣняющейся величины открыли законъ обратной про-

порциональности квадрату расстоянія, Кэвендишъ, совершенно независимо, на основаніи очень тонкихъ математическихъ разсужденій, указалъ что законъ этотъ или долженъ выражаться обратной пропорціональностью квадрату расстоянія, или долженъ нѣкоторымъ опредѣленнымъ образомъ отличаться отъ закона обратной пропорціональности квадрату расстоянія, если при извѣстныхъ обстоятельствахъ, которыя Кэвендишъ опредѣлилъ, наблюдается совершенный нуль электрической силы, или вмѣсто совершеннаго нуля наблюдается нѣкоторая величина электрической силы. Изъ записокъ Кэвендиша совершенно ясно, что онъ былъ увѣренъ, что долженъ наблюдаться совершенный нуль, но съ осторожностью, характеристичной для этого человѣка и подходившей къ нему, какъ къ точному философу и математику, онъ никогда не могъ высказать этого закона безусловно. Онъ обладалъ той щепетильной совѣстливостью, которая препятствовала ему обойтись безъ доказательства для заключенія, къ которому, безъ сомнѣнія, онъ самъ пришелъ. Его умъ былъ, вѣроятно, гораздо быстрее многихъ другихъ умовъ, которые дѣлаютъ быстрый скачокъ къ заключенію и даютъ его, какъ будто оно доказано, но Кэвендишъ съ совѣстливостью избѣгалъ высказывать его, какъ заключеніе, и удерживалъ его при себѣ, пока точное измѣреніе на опытѣ не доказало бы его справедливости.

Методъ нуля, примѣненный въ данномъ случаѣ Кэвендишемъ, состоялъ въ слѣдующемъ. Если внутри пустого наэлектризованнаго проводника электростатическое дѣйствіе на маленькое изолированное и наэлектризованное тѣло,—безконечно малое тѣло,—равно точно нулю, то законъ измѣненія электрической силы съ разстояніемъ долженъ выражаться обратной пропорціональностью ея квадрату разстоянія. Съ другой стороны, если наблюдается отталкиваніе небольшого положительно наэлектризованнаго тѣла отъ стѣнокъ разсматриваемаго пустого положительно наэлектризованнаго проводника, то сила измѣняется по закону, соотвѣтствующему измѣненію, болѣе быстрому, чѣмъ обратно пропорціонально квадрату разстоянія; и обратно, если небольшое тѣло, наэлектризованное

противоположно электризаціи этого проводника, отталкивается отъ стѣнокъ его, то уменьшеніе силы съ разстояніемъ будетъ нѣсколько меньше, чѣмъ оно получалось бы по закону обратной пропорціональности квадрату разстоянія. Произвести съ аккуратностью такой заключительный опытъ, который увѣнчалъ теорію Кэвендиша, выпало на долю Фарадея ¹⁾. Фарадей изъ своихъ въ высшей степени остроумныхъ изслѣдованій вывелъ, что электрическая сила при предполагаемыхъ обстоятельствахъ равна нулю, и доставилъ этимъ подтвержденіе заключеніямъ Кэвендиша. Итакъ электростатическая сила измѣняется обратно пропорціонально квадрату разстоянія. Этотъ результатъ былъ полученъ съ гораздо меньшей точностью Кулономъ и Робинсономъ, потому что ихъ методъ не допускалъ такой точности измѣреній. На этомъ законѣ основана вся система измѣреній въ абсолютной мѣрѣ электростатическихъ величинъ. Математическая теорія устанавливаетъ надлежащую электростатическую единицу—такое количество электричества, что, если равнымъ ему количествомъ, обладаетъ каждое изъ двухъ тѣлъ, то эти два тѣла дѣйствуютъ и противодѣйствуютъ другъ другу съ единицей силы на единицѣ разстоянія. На этомъ основана система абсолютнаго измѣренія въ электростатикѣ.

Другіе Кэвендишевы опыты, цѣлый рядъ опытовъ,—потому что я думаю, что профессоръ Клэркъ Максвеллъ издастъ цѣлый рядъ опытовъ, въ которыхъ измѣряются электростатическія количества,—повели къ общей системѣ электростатическихъ измѣреній въ абсолютной мѣрѣ.

Но есть, однако, другая большая отрасль электрическихъ измѣреній, а именно—измѣренія электромагнитныхъ явленій. Наше знаніе элементарныхъ законовъ электростатики было закон-

¹⁾ Замѣтимъ, что Кэвендишъ также произвелъ этотъ опытъ и даже вывелъ изъ него, что показатель степени разстоянія въ выраженіи закона электростатической силы отличается отъ — 2 менѣе, чѣмъ на $\frac{1}{57}$. Максвеллъ произвелъ этотъ опытъ съ болѣе чувствительными приборами и съ нѣкоторыми видоизмѣненіями и понизилъ возможное отклоненіе показателя отъ — 2 до $\frac{1}{62,600} = 0.00003$.

(Прим. перев.)

ченнымъ,—за исключеніемъ этой меньшей посылки силлогизма Кэвендиша и Фарадеевскаго великаго физическаго открытія особеннаго индуктивнаго свойства, извѣстнаго подъ именемъ электрической индуктивной способности діэлектриковъ. За этими двумя исключеніями вся теорія электростатики была закончена въ прошломъ столѣтіи. На нашу долю осталось только математически разработывать заключенія теоріи Кэвендиша, Кулона и Робинсона, и только въ началѣ нынѣшняго столѣтія сдѣлалось извѣстнымъ существованіе электромагнитной силы. Эрстедъ въ 1820 году сдѣлалъ великое открытіе силы взаимодѣйствія между магнитомъ и проволокой, по которой течетъ электрическій токъ; и замѣчательные результаты, очень быстро выведенные Амперомъ изъ этого открытія, повели къ основанію другой великой отрасли науки объ электричествѣ и указали на предметъ электромагнитныхъ измѣреній, о которыхъ я долженъ теперь сказать нѣсколько словъ.

Принципы математической теоріи взаимнаго дѣйствія другъ на друга проволокъ, несущихъ электрическіе токи и, затѣмъ, ихъ взаимодѣйствія на магниты, были вполне установлены Амперомъ въ его развитіи открытія Эрстеда. Разработка точнаго измѣренія токовъ и вообще системы измѣренія, основанной на этихъ принципахъ, была цѣликомъ сдѣлана въ Германіи. Большая работа Гаусса и Вебера надъ земнымъ магнетизмомъ тѣсно примыкаетъ къ этому предмету. Я считаю, что Гауссъ первый установилъ систему абсолютнаго измѣренія магнитной силы. Опредѣленія и математическая теорія Пуассона и Кулона, относящіяся къ магнитной полярности, и основанная на нихъ теорія магнитной силы были примѣнены на практикѣ Гауссомъ и сдѣланы основаніемъ всей системы магнитныхъ измѣреній, которую теперь употребляютъ въ нашихъ магнитныхъ обсерваторіяхъ. Это представляетъ въ наукѣ громадный шагъ впередъ и шагъ очень большой важности, дающій не только вполне опредѣленное измѣреніе, но измѣреніе, основанное на извѣстномъ абсолютномъ базисѣ и которое, если бы даже всѣ инструменты, которыми были произведены измѣренія, были разрушены, всетаки дало бы намъ возможность получить совер-

шенно опредѣленные результаты. Абсолютная система единицъ въ физикѣ была разработана вслѣдъ за тѣмъ, какъ Гауссъ основалъ систему измѣреній для земнаго магнетизма. Поэтому эта система представляетъ собой дѣйствительно начало абсолютнаго измѣренія въ наукѣ о магнетизмѣ и въ наукѣ объ электромагнетизмѣ и электростатикѣ. Гауссъ и Веберъ произвели вмѣстѣ эту работу для земнаго магнетизма, а самъ Веберъ произвелъ—мнѣ кажется, еще при жизни Гаусса, а также послѣ его смерти,—разработку системы абсолютнаго измѣренія въ электростатикѣ. Одинъ изъ самыхъ интересныхъ результатовъ, выведенныхъ Веберомъ, представляетъ то обстоятельство, что электрическое сопротивленіе проволоки, по отношенію къ электрическимъ токамъ, несомымъ ею, нужно измѣрять въ такой функціи извѣстныхъ абсолютныхъ единицъ, которая приводитъ насъ къ тому, что выраженіемъ электромагнитной мѣры сопротивленія проволоки служить скорость, выраженная въ единицахъ длины въ единицахъ времени. Отняло бы слишкомъ много времени, если бы я занялъ ваше вниманіе детальными подробностями и сталъ объяснять до мелочей, какимъ образомъ выходитъ, что сопротивленіе надо измѣрять скоростью. Это кажется страннымъ, но вы составите себѣ нѣкоторое понятіе объ этомъ слѣдующимъ образомъ. Предположите, что у васъ есть два вертикальныхъ мѣдныхъ стержня и небольшой поперечный горизонтальный стержень, помѣщенный такъ, чтобы онъ нажималъ на эти два стержня. Расположите плоскость этихъ двухъ стержней перпендикулярно къ магнитному меридіану, и помѣстите на нихъ поперечный стержень, какъ ступеньку лѣстницы, поперекъ этихъ двухъ вертикальныхъ стержней. Пусть этотъ стержень двигается быстро вверхъ, двигается поперекъ линіи горизонтальной слагающей магнитной силы земли. Онъ будетъ, согласно съ однимъ изъ открытій Фарадея, испытывать индуктивное дѣйствіе, вслѣдствіе котораго одинъ конецъ его наэлектризуется положительно, а другой—отрицательно. Теперь пусть два вертикальныхъ стержня, на которые нажимаетъ этотъ горизонтальный стержень, будутъ соединены вмѣстѣ: тогда то напряженіе, о которомъ я говорилъ, явится

причиной тока. Можно сдѣлать такъ, что этотъ токъ, какъ въ открытіи Эрстеда, будетъ вызывать отклоненіе стрѣлки гальванометра. Теперь вы увидите, какимъ образомъ сопротивленіе можетъ измѣряться скоростью. Пусть скорость движенія этого небольшого стержня, двигаемаго вверхъ, какъ я это описалъ, будетъ такова, что вызоветъ въ гальванометрѣ отклоненіе, равное 45° . Тогда скорость, которая вызываетъ это отклоненіе, измѣряетъ сопротивленіе въ цѣпи, если только гальванометръ устроенъ такъ, что выполнены извѣстныя опредѣленные условія относительно размѣровъ ¹⁾. Существенный пунктъ при этомъ состоитъ въ томъ, что результатъ не зависитъ отъ величины горизонтальной силы земного магнетизма. Стрѣлка гальванометра направляется горизонтальной магнитной силой земли. Положимъ, что она удвоилась; направляющая сила, дѣйствующая на стрѣлку, удвоилась, но индуктивное дѣйствіе удвоилось также, и потому та же самая скорость, которая заставляетъ стрѣлку гальванометра отклониться на 45° при одной величинѣ магнитной силы, заставитъ стрѣлку отклониться на то же самое число градусовъ и при другой величинѣ магнитной силы земли. Такимъ образомъ, независимо отъ всякаго абсолютнаго измѣренія земной магнитной силы, мы получаемъ извѣстную скорость, которая даетъ извѣстный результатъ. Такимъ образомъ выходитъ, что скорость есть надлежащая мѣра сопротивленія металлической цѣпи потоку черезъ нее электрическаго тока.

Если перейти теперь къ электростатикѣ,—то въ связи со скоростью можетъ быть измѣряемо особеннымъ образомъ сопротивленіе несовершеннаго изолятора передачѣ вдоль него электричества. Оно можетъ быть измѣряемо величиной, обратной скорости, или, другими словами, проводящая способность проволоки можетъ быть измѣряема, по отношенію къ электростатическимъ явленіямъ, скоростью. Въ самомъ дѣлѣ, вообразите шаръ въ центрѣ этой комнаты на большомъ разстояніи отъ стѣнъ. Вообразите, что этотъ шаръ имѣетъ два метра въ діаметрѣ, — одинъ метръ въ радіусѣ, — и пусть онъ будетъ наэлектризованъ и повѣшенъ на тонкой шелковой ниткѣ

¹⁾ См. для сравненія прим. 1 на стр. 86.

(Прим. перев.).

совершенно сухой, чтобы совершенно изолировать шаръ. Итакъ, мы получаемъ совершенно изолированный шаръ по серединѣ комнаты. Теперь, если мы приложимъ къ шару одинъ конецъ крайне тонкой проволоки, скажемъ, въ одну десятитысячную дюйма ¹⁾ діаметромъ, и поднесемъ другой конецъ этой проволоки къ металлической пластинкѣ, соединенной со стѣнами комнаты,—или вы можете предположить, что стѣны комнаты металлическія, чтобы у насъ не случилось затрудненій, зависящихъ отъ какихъ либо не совершенныхъ проводниковъ, — тогда при посредствѣ этой очень тонкой проволоки, соединяющей изолированный шаръ со стѣнами комнаты, шаръ мгновенно потеряетъ свое электричество. Подъ словомъ «мгновенно» я понимаю: въ такое короткое время, что было бы невозможно измѣрить его какимъ либо способомъ, какой мы могли бы примѣнить,—въ такое небольшое время, какъ, скажемъ, миллионная секунды, шаръ потерялъ бы свое электричество, если бы мы соединили его со стѣнами комнаты десятью или двадцатью ярдами самой тонкой проволоки, какую мы можемъ вообразить. Теперь представьте проволоку, въ миллионъ разъ тоньше, чѣмъ какая либо дѣйствительная проволока, какую мы могли бы примѣнить;—произошло бы то же самое, но въ соотвѣтственно болѣе длинный промежутокъ времени. Или возьмите бумажную нитку и подвѣсьте при помощи нея такой шаръ, какой я воображалъ, шаръ, окруженный металлическими стѣнами; эта мокрая бумажная нитка постепенно разэлектризуетъ его; въ четверть минуты шаръ этотъ окажется потерявшимъ, можетъ быть, половину своего электричества, въ другую четверть—половину остатка, и такъ далѣе. Если сопротивленіе этого воображаемаго проводника постоянно, то потеря будетъ слѣдовать закону сложныхъ процентовъ — столько-то процентовъ заряда будетъ теряться въ секунду. Вообразите теперь, что проводникъ, сопротивленіе котораго вполнѣ постоянно, помѣщенъ между идеальнымъ шаромъ и предполагаемыми металлическими стѣнами

¹⁾ $\frac{1}{4,000}$ сантиметра.

(Прим. перев.)

комнаты, и вообразите, что шаръ соединенъ съ однимъ изъ этихъ электрометровъ,—о которыхъ я скажу два слова въ заключеніе,—крайне тонкой проволокой, идущей въ этотъ приборъ, и предположите, что электрометръ указываетъ известную степень *потенціала*, какъ мы теперь называемъ этотъ предметъ электрическаго измѣренія, который въ дѣйствительности открылъ Кэвендишъ при своихъ измѣреніяхъ электрической емкости. Теперь предположите, что мы измѣряемъ электрическую цѣну—потенціалъ—заряда на шарѣ электрометра; тогда мы увидимъ, что показанія электрометра понижаются,—потенціалъ постепенно спускается,—по логарифмическому закону или закону сложныхъ процентовъ, при предполагаемыхъ мною обстоятельствахъ. Но вмѣсто того, чтобы осуществить эти условія, предположимъ существованіе слѣдующихъ условій, которыя мы можемъ только вообразить, хотя ни одинъ механикъ не могъ бы выполнить ихъ. Пусть при помощи какихъ либо воображаемыхъ средствъ шаръ будетъ въ состояніи становиться постепенно меньше и меньше. Предположите, прежде всего, что изоляція чрезвычайно хорошая и что сопротивленіе проводящей проволоки безмѣрно велико, такъ что въ продолженіи одной-двухъ минутъ происходитъ только небольшая потеря потенциала. Теперь пусть этотъ шаръ, который, по нашему предположенію, можетъ быть стягиваемъ или растягиваемъ по желанію, будетъ стянутъ отъ радіуса въ 1 метръ до радіуса въ 90 сантиметровъ; каковъ будетъ результатъ этого? Результатъ будетъ тотъ, что потенциалъ увеличится въ отношеніи 100 къ 90. Стяните шаръ до половины его размѣровъ,—потенціалъ удвоится, и такъ далѣе. Этотъ результатъ представляетъ собой слѣдствіе математической теоріи, по которой электростатическая емкость шара численно равна его радіусу. Теперь пусть, пока шаръ заряженъ, радіусъ его уменьшается и пусть онъ стягивается съ такой скоростью, что потенциалъ остается постояннымъ. Итакъ, вы можете представить себѣ шаръ, теряющій нѣкоторое постоянное количество электричества въ единицу времени, причѣмъ онъ удерживается при нѣкоторомъ постоянномъ потенциалѣ. Въ этомъ шарѣ, который уменьшается въ своемъ объемѣ такъ, что потенциалъ его

сохраняется неизмѣннымъ, скорость, съ какой поверхность шара приближается къ центру, измѣряетъ проводящую способность проволоки въ абсолютной электростатической мѣрѣ. Итакъ, у насъ получается очень любопытный результатъ, что мы можемъ измѣрять, на основаніи принциповъ электростатики, проводящую способность проволоки скоростью. Хотя я представилъ вамъ совершенно идеальный случай, съ моей стороны было бы однако очень несправедливымъ позволить вамъ предполагать, что это представляетъ собою идеальный способъ измѣреній; что касается до дѣйствительности, то мы на самомъ дѣлѣ измѣряемъ емкость лейденскихъ банокъ такимъ образомъ въ электростатическихъ единицахъ и пусть, въ будущемъ, когда кто пойдетъ покупать лейденскую банку у оптика, онъ говоритъ оптику, чтобы тотъ далъ ему банку емкостью въ одинъ или два метра или во сколько тамъ придется, и требуетъ отъ него, чтобы онъ сумѣлъ ее сдѣлать. Я высказываю это, какъ внушеніе всякому, кто интересуется научными приборами или снабженіемъ ими лабораторій. Нѣтъ никакой вѣроятности, что оптикъ пойметъ, въ чемъ дѣло, но, можетъ быть, если вы поучите его немного, онъ скоро станетъ понимать это, и я надѣюсь, что черезъ десять лѣтъ въ каждомъ оптическомъ магазинѣ, гдѣ продаются лейденскія банки, на каждой банкѣ будетъ прикрѣпленъ ярлычекъ, говорящій, что емкость ея — столько то сантиметровъ. Это можно было бы сдѣлать завтра. У насъ есть всѣ средства сдѣлать это, но только никто не знаетъ ихъ.

Очень интересно отношеніе между электростатическимъ измѣреніемъ и электромагнитнымъ измѣреніемъ; и здѣсь предполагаемая неинтересными области тщательнаго и точнаго измѣренія переносятъ насъ въ глубины науки, и заставляютъ взглянуть на великія тайны Природы. Старинныя измѣренія Вебера привели къ приблизительному опредѣленію той частной скорости, «*v*», при которой электромагнитное сопротивленіе численно равно электростатической проводящей способности проволоки. Частное значеніе степени сопротивленія проволоки, которая будетъ такою, что скорость, измѣряющая это сопротивленіе въ

электромагнитной мѣрѣ, будетъ одинаковою со скоростью, измѣряющею проводящую способность въ электростатической мѣрѣ, было опредѣлено Веберомъ, и онъ нашелъ, что скорость «*v*» равна около 300,000 километровъ въ секунду. Къ несчастію я имѣю въ головѣ англійскія казенныя мили, благодаря тому, что я имѣлъ несчастье родиться на тридцать лѣтъ раньше, чѣмъ слѣдовало, и я помню скорость свѣта въ англійскихъ казенныхъ миляхъ. Обыкновенно считали ее равной около 192,000 миль въ секунду, но болѣе недавнія изслѣдованія понизили ее до около 187,000. Эквивалентъ этого въ метрахъ есть около 300,000 километровъ въ секунду и это только немного меньше числа (310,740), найденнаго Веберомъ для «*v*». Профессоръ Клеркъ Максвелль далъ теорію, ведущую къ динамической теоріи магнетизма,—теорію, часть которой навела его на мысль, что та скорость, для которой одна мѣра равна, если понимать это такъ, какъ я вамъ объяснилъ, другой, должна была бы быть скоростью свѣта. Это блестящее заключеніе привлекло большое вниманіе и сдѣлалось предметомъ напряженнаго интереса, не только ради точныхъ электромагнитныхъ и электростатическихъ измѣреній, — измѣреній съ большою точностью отношенія между электростатической и электромагнитной единицами,—но также вслѣдствіе связи съ физической теоріей. Кажется, до настоящаго времени, что, чѣмъ точнѣе становятся подобные опыты, тѣмъ ближе приближается результатъ къ равенству со скоростью свѣта, но мы всетаки не должны высказывать это мнѣніе прежде, чѣмъ не будемъ вполне въ состояніи утверждать его. Прежде, чѣмъ можно будетъ принять за истину такое положеніе, согласіе должно стать гораздо тѣснѣе, чѣмъ было показано опытами, сдѣланными до сихъ поръ. Но вы все можете усмотрѣть изъ простаго упоминанія о такомъ предметѣ, насколько интересно должно быть продолженіе далѣе этихъ изслѣдованій, и мнѣ кажется, что Максвелль въ настоящее время дѣлаетъ измѣреніе этого рода по плану, отличающемуся отъ всѣхъ тѣхъ, какіе были до сихъ поръ испробованы. Я слишкомъ долго говорилъ объ этомъ и мнѣ слѣдовало бы рассказать что нибудь

объ тѣхъ методахъ, которымъ слѣдовали въ этой области; но они все уже полностью напечатаны и къ нимъ легко обратиться.

Что же касается до точныхъ измѣреній, то въ электричествѣ теорія была оставлена практикой далеко позади и мнѣ не нужно присутствіе нашего предсѣдателя, чтобы припомнить насколько гораздо болѣе точными были измѣренія сопротивленія, производившіяся въ практическомъ телеграфномъ дѣлѣ его братомъ, д-ромъ Вернеромъ Сименсомъ, и имъ самимъ¹⁾, чѣмъ въ какой нибудь школѣ чисто теоретической науки до самаго недавняго времени.

При работахъ научныхъ изслѣдователей и въ первыя двадцать лѣтъ употребленія мѣди въ электрическомъ телеграфѣ, не было обнаружено, что проводимости различныхъ образцовъ мѣди практически совершенно различны. Изъ измѣреній, сдѣланныхъ въ моей лабораторіи въ Глазговскомъ университетѣ въ 1857 и 1858 г., я нашелъ, что образцы мѣди, доставленные фабрикантами для атлантическаго кабеля и для нѣкоторыхъ изъ кабелей Средиземнаго моря,—образцы, между которыми не подозрѣвали никакой разницы,—на самомъ дѣлѣ различались по электрической проводимости настолько много, какъ 100 отъ 37, а всѣхъ ихъ были готовы употребить, какъ проводники для подводныхъ кабелей! Въ то время, когда просматривали разницы, доходящія до такихъ большихъ величинъ,—когда самое ихъ существованіе было неизвѣстно научнымъ электрикамъ,—основатели точнаго измѣренія въ телеграфномъ дѣлѣ начали строить эталоны электрическаго сопротивленія, при помощи которыхъ измѣренія скоро дошли до того, что стали совершаться съ точностью до одной десятой процента.

Д-ръ Вернеръ Сименсъ и нашъ предсѣдатель были въ числѣ первыхъ лицъ, задавшихся цѣлью дать точные эталоны сопротивленія. Сименсовская единица въ настоящее время хорошо извѣстна и многія изъ самыхъ важныхъ измѣреній, относящихся къ подводнымъ кабелямъ, выражены въ функціи

¹⁾ Эта фраза, указывающая на то, что предсѣдателемъ былъ сэръ Вильямъ Сименсъ, является противорѣчіемъ сказанному въ заглавіи этой рѣчи (стр. 299). (Прим. перев.).

этой единицы. По совпадению, которое в одном отношении представляет собою счастливое совпадение, хотя можно сказать кое-что и в противоположном смысле, принятая г. Сименсами единица, основанная на измерении известного столба ртути,—Сименсовская единица, снятая и переснятая в их катушках сопротивления,—приближается довольно близко к той единице, которая в системе Вебера была бы равна 10^9 или тысяч миллионных сантиметров в секунду. Это чрезвычайно удобно и благодаря этому измерения в Сименсовских единицах весьма легко приводятся к абсолютной мере.

Коммиссия, назначенная в 1861 году Британской Ассоциацией, употребила способ измерения, предложенный мною и разработанный главным образом профессорами Клерком Максвеллем, Бальфуром Стюартом и Флимингом Дженкином, и построила то, что сперва называлось единицей сопротивления Британской Ассоциации. Этой единице было затмь, по совету г. Латимера Кларка, дано имя «Ома» в память одного из великих основателей науки об электромагнетизме. Так как Ом был человеком, который первый дал нам закон связи тока с электродвижущей силой, то сочли подходящим, чтобы его имя было дано этой электрической единице.

Я могу упомянуть, как о деле большой важности и очень интересном в физике, что предпринимается пересмотреть этого измерения Британской Ассоциации. Теперь дѣлается попытка измерить с наибольшей возможной точностью, каково значение этой единицы Британской Ассоциации в функции абсолютной шкалы, в сантиметрах в секунду. Она, конечно, выйдет равной, в пределах нескольких процентов, десяти тысячам километров в секунду. Быть может отклонение от этой величины составит один процент; возможно, что это отклонение окажется в два или три процента, или в четыре процента,—что поймет всякий, кто примет в соображение те трудности, с которыми придется встретиться при производстве этих опытов. Я скажу еще по поводу этого электрического измерения Ома, что оно касается другого предмета измерения, измерения тепла. У Джуля в совершенно независи-

мом ряду опытов, которые я могу только упомянуть, был другой путь для достижения на практике абсолютного измерения электрического сопротивления. Его электротермические опыты, взятые в соединении с его опытами над механическим эквивалентом тепла, показывают некоторое несогласие с измерением Британской Ассоциацией ее единицы сопротивления. Тут нужно кое-что согласить. Джуль, с одной стороны, считает, что единица Британской Ассоциации, Ом, слишком мала, но, с другой стороны, в Германии, Кольрауш считает, что Ом приходится немного с другой стороны точной тысячи миллионных сантиметров в секунду. Я думаю, что, если бы вы исключили сомнения по способу средних величин, то опыты Кольрауша и Джуля показали бы, что Британская Ассоциация очень близка к истине, но я не одобряю этого способа устранения сомнений и мы не будем удовлетворены, пока не будут удовлетворены оба, и Джуль, и Кольрауш ¹⁾.

Теперь я упомяну несколько опытов с электрометрами, которые однако представляют, я боюсь, мало интереса кому либо в свете кроме меня. Вот первая попытка устроить квадрантный электрометр. Теперь он хорошо известен многим электрикам и относительно его была выпущена брошюра с описанием. Действительно, принимая во внимание, что отчет Британской Ассоциации об электрометрах был перепечатан в соединении со всей серией Отчетов ее об электрических эталонах ²⁾, я не чувствую необходимости входить в подробности по отношению к какому либо из этих приборов. Вот этот, который находится перед вами, это—самый первый переносный электрометр, и я вам расскажу, как он появился на свет. У меня был электрометр, которым я очень гордился,—мне совѣстно говорить это,—в те дни. Я гордился его малостью и тем, как легко его было переносить вверх на вершину Готфелля ³⁾ и обратно; был

¹⁾ См. выше стр. 93—94.

(Прим. автора).

²⁾ E. and F. N. Spon, London, 1873.

(Прим. автора).

³⁾ Goatfell—высокая гора на острове Арронь (Arron), недалеко от Глазго; высота над уровнем моря 902 метра. (Прим. перев.).

еще другой передъ этимъ, высшимъ качествомъ котораго было то, что онъ былъ не тяжелѣе винтовки. Это было въ дни того, что лордъ Пальмерстонъ называлъ «винтовочной лихорадкой» [*rifle fever*], и я самъ былъ немного затронутъ ей, будучи волонтеромъ-стрѣлкомъ [*rifle volunteer*]. Я нашелъ, что мой электрометръ вѣситъ на фунтъ меньше, чѣмъ мое оружіе. Онъ вѣсилъ только тринадцать фунтовъ, а винтовка вѣсила четырнадцать фунтовъ ¹⁾. Этотъ электрометръ былъ со мной на Эбердинскомъ съѣздѣ Британской Ассоціаціи, но теперь его не найти, хотя его искали, иначе онъ былъ бы на этой выставкѣ. Часть его, стойка, которая была наверху его, находится теперь передъ вами. Слѣдующимъ за нимъ былъ вотъ этотъ (рис. 55). Я уменьшилъ вѣсъ приблизительно, до половины и былъ совершенно удовлетворенъ тогда. Этотъ много разъ восходилъ на Готфелль; онъ вполне

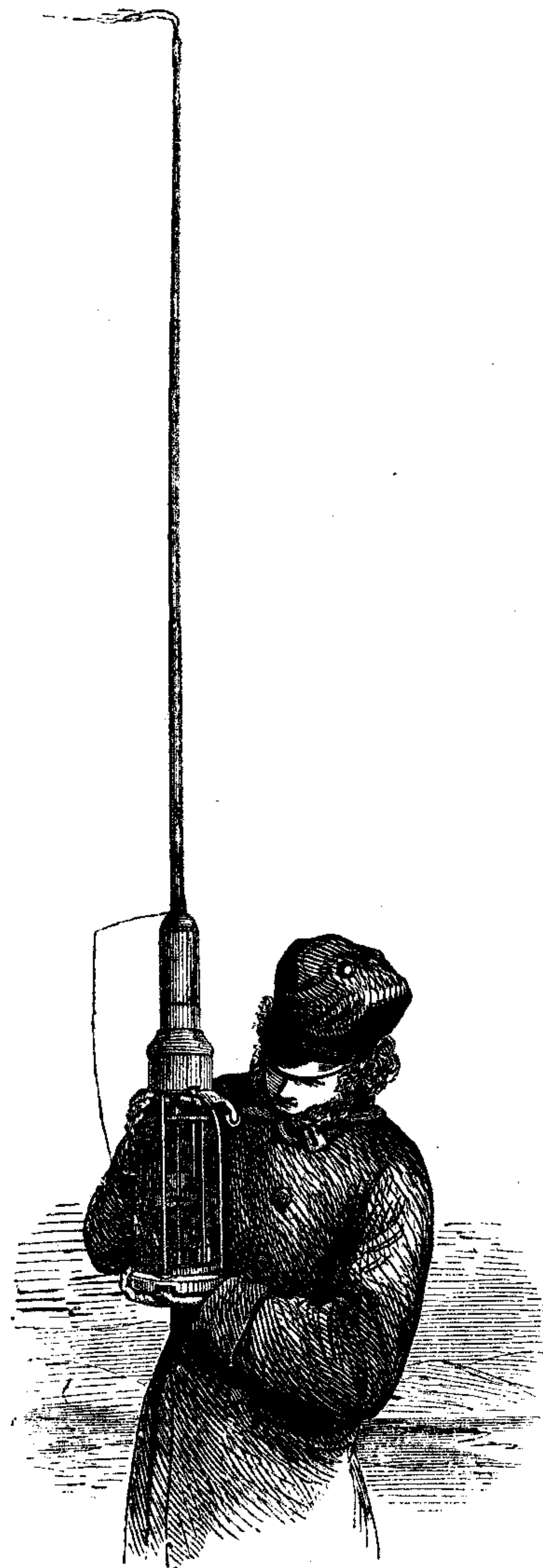


Рис. 55.—Первый переносный электрометръ.

¹⁾ 13 и 14 англ. фунтовъ=14·3 и 15·4 русскихъ фунтовъ = 5·8 и 6·3 килограмма.

(Прим. перев.).

описанъ въ моей книгѣ ¹⁾ и въ Отчетѣ, на который я ссылаюсь. Я показывалъ его однажды съ большой гордостью профессору Тэту и сказалъ ему: «слѣдовало бы вамъ завести такой же». Онъ сказалъ: «я подожду, пока вы не устроите такой, который вы могли бы положить себѣ въ карманъ. Устройте электрометръ величиной съ апельсинъ, и тогда я приобрѣту его.». Таково, буквально, происхожденіе этого самаго послѣдняго переноснаго электрометра. Я почувствовалъ себя нѣсколько задѣтымъ тѣмъ, что онъ сказалъ, и въ слѣдующій мой наѣздъ въ Глазго, г. Уайтъ, который такъ неутомимъ при изготовленіи новыхъ вещей и обладаетъ такой удивительной изобрѣтательностью, помогъ мнѣ въ моемъ намѣреніи, и мы получили нѣчто вродѣ этого. По прошествіи мѣсяца этотъ самый электрометръ (рис. 56) былъ пущенъ въ дѣло. Это былъ первый электрометръ съ притягивающимся дискомъ. Онъ отличается отъ переноснаго электрометра, извѣстнаго теперь, только нѣкоторыми болѣе мелкими деталями; подвижный дискъ вращается вокругъ съ микрометреннымъ винтомъ вмѣсто того, чтобы двигаться вверхъ и внизъ въ пазахъ. Во всѣхъ другихъ отношеніяхъ это то же самое, за исключеніемъ неловкаго расположенія для помѣщенія пемзы, которое, при моемъ большомъ вниманіи, не повело ни къ какому несчастному случаю, но которое почти у всякаго другого лица повело бы къ тому, что приборъ былъ бы испорченъ вслѣдствіе того, что сѣрная кислота попала бы вслѣдствіе сотрясенія въ низъ прибора. Теперь расположеніе пемзы сдѣлано болѣе удобнымъ; но это есть единственное измѣненіе кромѣ упомянутаго уже механическаго устройства диска, которое лучше въ переносномъ электрометрѣ въ его настоящемъ видѣ. Два такихъ прибора были отправлены съ арктической экспедиціей (1875—76 года).

Еще одно только слово—практическій совѣтъ по отношенію къ электрометрамъ. Меня постоянно спрашивали, какъ ихъ содержать въ порядкѣ, и я часто слышалъ жалобы, что они

¹⁾ *Papers on Electrostatics and Magnetism* (Работы по электростатикѣ и магнетизму); Macmillan, London, 1884.

(Прим. автора).

не держать,—что они не удерживают свой зарядъ. Въ каждомъ изъ этихъ электрометровъ есть стеклянная лейденская банка, при чемъ въ каждомъ изъ нихъ принята гетеростатическая система ¹⁾. Необходимо, чтобы изоляція была очень со-

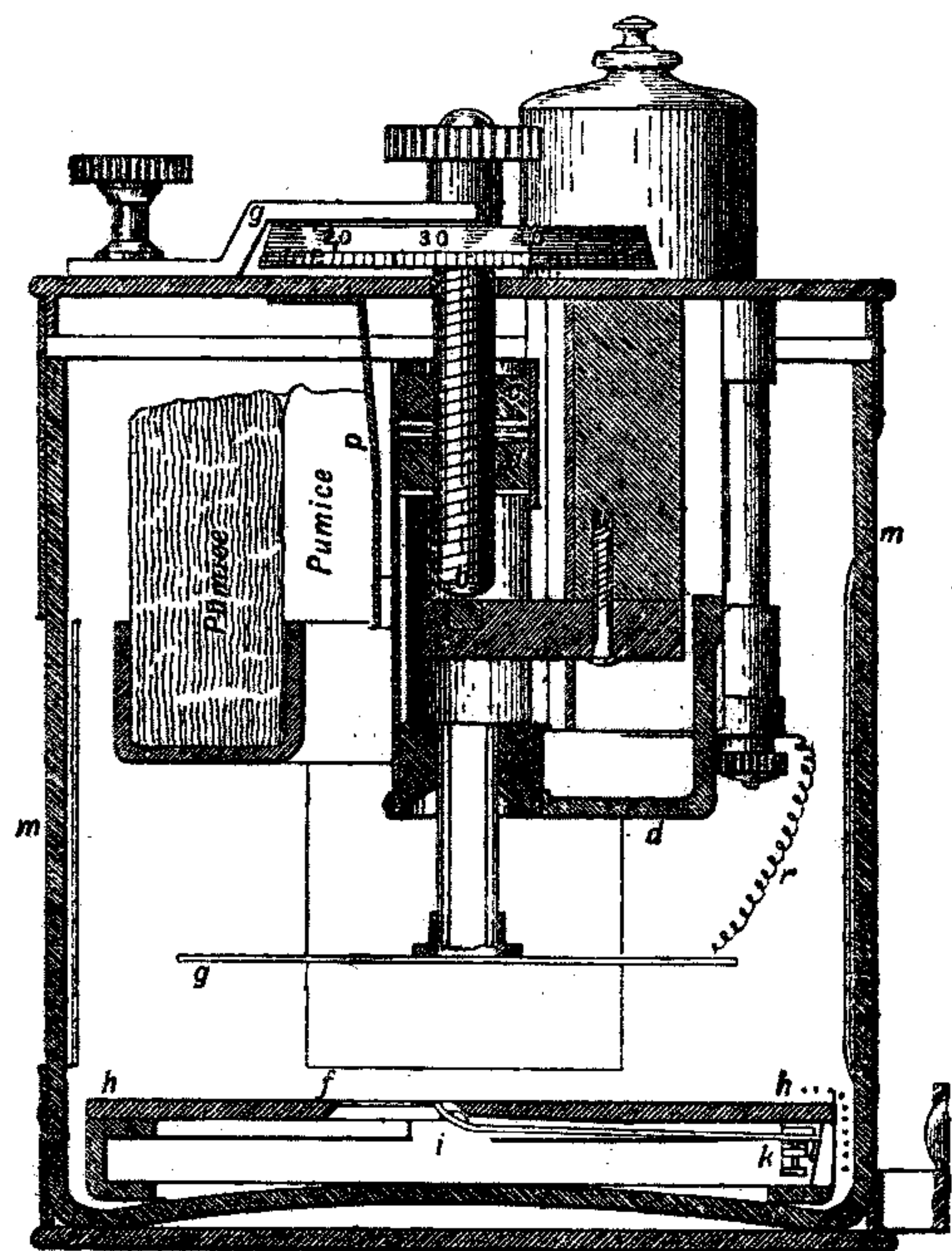


Рис. 56. —Переносный электрометръ, нынѣшній образецъ: $\frac{2}{3}$ настоящей величины. [Pumice=пемза].

вершенной, и потому все зависитъ отъ чистоты и сухости поверхности стекла. Если вы позволите мнѣ употребить опредѣленіе лорда Пальмерстона, сказавшаго, что «грязь — это то, что не на своемъ мѣстѣ», и считать, что вода или какая либо влажность на внутренней поверхности стекла, —

которая должна была бы быть совершенно сухой, — есть «то, что не на своемъ мѣстѣ», и есть, поэтому, грязь, то вы поймете, что я хочу сказать. Если нѣтъ никакой грязи на стеклѣ, то, навѣрное, оно изолируетъ хорошо. Но какъ же тогда сдѣлать стекло совершенно чистымъ? Прежде всего, вымойте его хорошенько мыломъ и водой. Если хотите, вы можете попробовать азотную кислоту, и затѣмъ чистую воду, или же можете вымыть его спиртомъ, и затѣмъ простой водой. Я перечислилъ почти всѣ чары, которые служатъ для получения совершенной чистоты поверхности стекла, но я очень сомнѣваюсь, получалъ ли я когда либо какой нибудь результатъ, который я не могъ бы получить, употребляя мыло и воду и пуская затѣмъ обжечь чистую воду по поверхности стекла послѣ того, какъ это сдѣлано. Вымойте его хорошенько, такъ или иначе. Вы можете употребить кислоты или спиртъ, если вамъ угодно; но я думаю, что вы вообще найдете, что мыло и вода и достаточное количество чистой воды подъ конецъ отвѣтятъ цѣли такъ же хорошо, какъ что либо другое. Затѣмъ хорошенько встряхните его и хорошенько высушите его, но, чтобы сушить его, не употребляйте тряпки, какъ бы она чиста ни была. Встряхните прочь влажность и возьмите маленькій кусокъ пропускной бумаги и очень осторожно подберите всякую небольшую частицу воды, которая можетъ остаться вслѣдствіе сцѣпленія, но не трите стѣнокъ ничѣмъ, что можетъ оставить обрывки или волокна; это — грязь. Самый тонкій батистъ оставить на стеклѣ то, что будетъ соответствовать опредѣленію лорда Пальмерстона. Когда вы очистите стекло отъ всего за исключеніемъ воды, тогда высушите его, и вы будете увѣрены, что окажется, что оно отвѣчаетъ цѣли. Способъ высушивать его и сохранять его сухимъ состоитъ въ томъ, чтобы имѣть сѣрную кислоту въ надлежащемъ вмѣстѣлицѣ. Каждый изъ этихъ приборовъ имѣетъ вмѣстѣлице для сѣрной кислоты, которая должна быть освобождена отъ летучихъ паровъ соответствующимъ процессомъ, — кипяченія съ сѣрнокислымъ аммоніемъ достаточно. Сѣрная кислота не должна быть химически чистой, но она должна быть очищена отъ летучихъ па-

¹⁾ См. прим. 2 на стр. 92.

(Прим. перев.).

ровъ, и она должна быть очень крѣпкой. Я думаю, что эти приборы не держатъ хорошо чаще отъ того, что сѣрная кислота не достаточно крѣпка, чѣмъ отъ какой либо другой причины, и часто, когда электрометръ оказывается неисправнымъ, недостатокъ вполне исправляется помѣщеніемъ болѣе крѣпкой кислоты.

ПРИБАВЛЕНІЕ I.

Молекулярная механика.

[Двадцать лекцій, прочитанныхъ сэромъ В. Томсономъ въ университетѣ Джона Гопкинса въ октябрь 1884 г.; записаны и изложены М. Бриллюэномъ].

Въ этихъ лекціяхъ сэръ В. Томсонъ занимается разборомъ тѣхъ затрудненій, которыя существуютъ въ общихъ теоріяхъ Оптики,—условіи непрерывности у поверхности двухъ прозрачныхъ тѣлъ и теоріи отраженія; теоріи двойного лучепреломленія, роли давленія, введенія членовъ, зависящихъ, по видимому, отъ внутреннихъ вращеній. Какъ ни интересенъ этотъ разборъ, онъ всетаки не полонъ, и читатель, желающій познакомиться глубже съ этимъ вопросомъ, найдетъ нужныя подробности въ прекрасномъ отчетѣ Глазбрука объ оптическихъ теоріяхъ (*Rep. Brit. Ass.* за 1885 г., 157—267), въ курсѣ оптики и въ курсѣ электричества Пуанкаре и въ цѣломъ рядѣ англійскихъ мемуаровъ, появившихся вслѣдъ за этими лекціями сэра В. Томсона, и въ позднѣйшихъ замѣткахъ, которыми онъ видоизмѣнилъ или пополнилъ эти лекціи. Остается теорія свѣторазсѣянія. Эта теорія свѣторазсѣянія, усмотрѣнная сэромъ В. Томсономъ въ 1882 г. и развитая имъ въ 1884, представляетъ собой, точнѣе, теорію Буссинеска (1867), которую уже признавалъ, по видимому, значительно раньше и открыто излагалъ Стоксъ и которую въ различныхъ видахъ развивали авторы, занимавшіеся аномальной дисперсіей, открытой Христиансеномъ въ 1870 году.

Въ обыкновенныхъ тѣлахъ, нужно принимать въ расчетъ движенія эфира и одновременное съ этимъ вовлеченіе въ движеніе матеріальныхъ атомовъ, составляющихъ химическое тѣло. Эти соединенные въ группу атомы составляютъ молекулу, которая, въ твердыхъ тѣлахъ, имѣетъ опредѣленное среднее положеніе, возвращаться въ которое принуждаютъ ее дѣйствія на нее другихъ молекулъ и реакціи эфира, ее омывающаго. То же самое можно сказать и о составляющихъ молекулу атомахъ, очень энергично понуждаемыхъ къ возвращенію въ свое положеніе равновѣсія въ самой молекулѣ и оказывающихъ въ свою очередь реакцію на эфиръ. Такимъ образомъ, среда состоитъ изъ эфира, который мы можемъ считать изотропнымъ, однороднымъ и непрерывнымъ для всѣхъ извѣстныхъ длинъ волнъ, свѣтовыхъ или ультра-фіолетовыхъ, потому что пустота не обладаетъ свѣторазсѣяніемъ,—и изъ матеріальныхъ *свѣторазсѣивательныхъ* молекулъ [molécules dispersives] Эти молекулы, составленныя изъ ограниченного числа атомовъ, представляютъ собою такія механическія системы, для которыхъ число независимыхъ деформаций ограничено,—что ведетъ слѣдовательно къ ограниченному числу уравненій движенія,—и которыя имѣютъ ограниченное число свойственныхъ имъ періодовъ колебанія. Достаточно знать это, чтобы имѣть возможность вывести отсюда,—при помощи ли анализа математическаго, или при помощи анализа экспериментальнаго,—рядъ важныхъ общихъ заключеній, если придумать механическую модель, которая подчинилась бы общимъ уравненіямъ механики для принятаго нами числа независимыхъ деформаций; при этомъ однако не нужно признавать за этой моделью никакого иного сходства въ подробностяхъ съ той свѣторазсѣивательной молекулой, законы движенія которой она даетъ намъ возможность узнать. Предполагая сначала, для простоты, что взаимныя реакціи эфира и матеріальной молекулы зависятъ исключительно отъ относительнаго перемѣщенія эфира и одного изъ составляющихъ молекулу атомовъ, сэръ В. Томсонъ представляетъ себѣ затѣмъ свѣторазсѣивательную молекулу состоящую изъ полированной сферической оболочки, содержащей въ себѣ рядъ концентрическихъ

сферъ, отдѣленныхъ одна отъ другой сгибающимися пружинами, распределеніе которыхъ *изотропно* (рис. 57). Эти пружины и соединенія съ эфиромъ предполагаются абсолютно лишенными тренія; сэръ В. Томсонъ вполне справедливо возстаётъ противъ всякаго введенія въ основныя уравненія членовъ, зависящихъ отъ тренія и ведущихъ за собой разсѣяніе энергіи, и рѣшительно отвергаетъ теоретическую попытку Гельмгольца. Для изученія на опытѣ свойствъ свѣторазсѣивательной молекулы удобнѣе по-

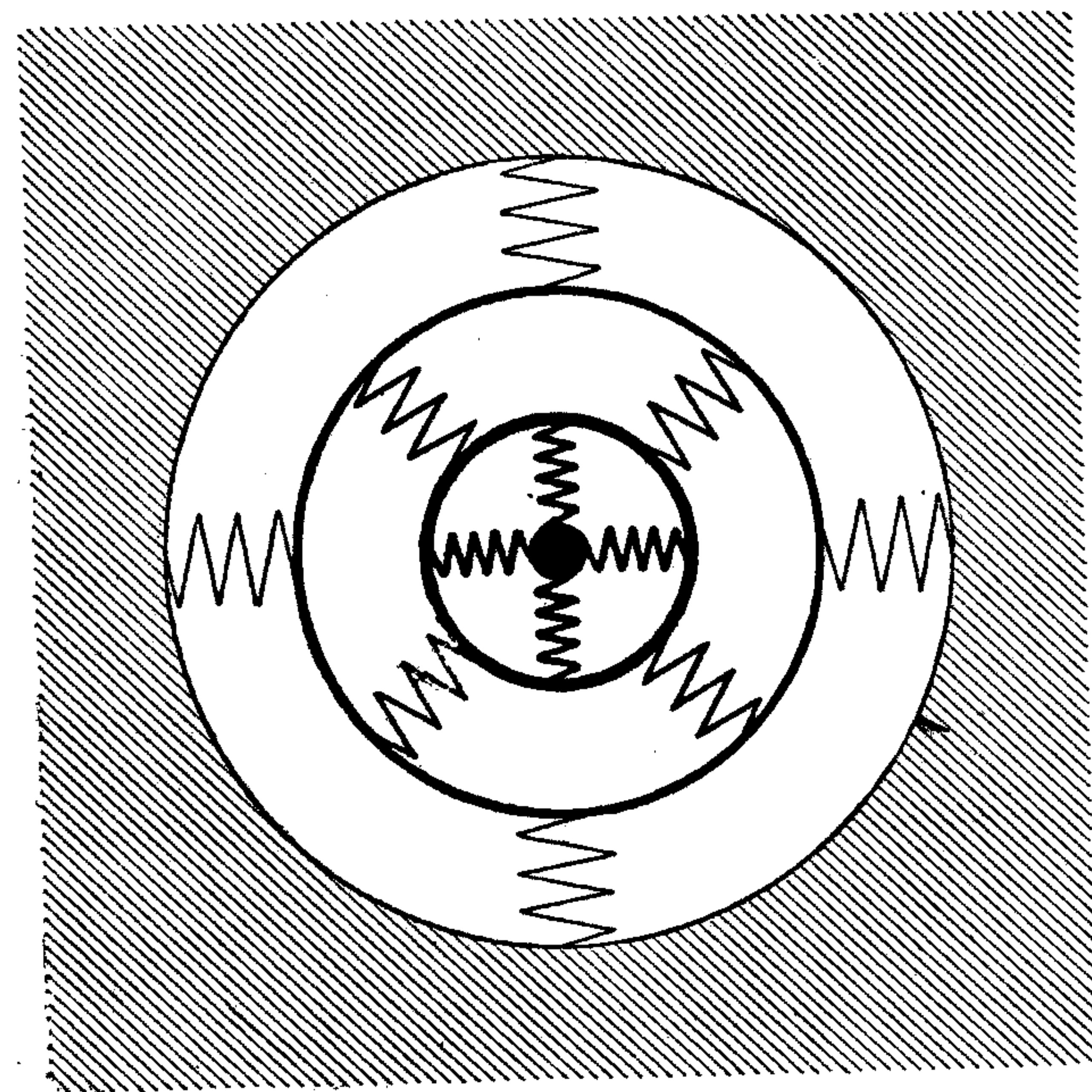


Рис. 57.

строить приборъ, состоящій изъ неодинаковыхъ грузовъ, соединенныхъ неравными сгибающимися пружинами, или приборъ для крученія, подобный изображенному на стр. 109, въ которомъ разные рычаги были бы не равно нагружены. Такой приборъ обнаруживаетъ, съ едва замѣтными различіями, свойства, описанныя въ лекціи о величинѣ атомовъ (стр. 129—134 и 144—147).

Свѣторазсѣвательная молекула характеризуется извѣстнымъ числомъ свойственныхъ ей періодовъ колебаній; когда движеніе эфира имѣетъ періодъ, мало превышающій одинъ изъ собственныхъ періодовъ молекулы, она приходитъ въ колебаніе очень легко, — отношеніе амплитуды ея движенія къ амплитудѣ движенія эфира становится большимъ (стр. 146). Если, какъ все заставляетъ предполагать, плотность матеріи, ее составляющей, въ нѣсколько миллионъ разъ больше плотности эфира ¹⁾, то

¹⁾ Сэръ В. Томсонъ. *О плотности эфира* (С. R., 39, 529, 1854; Math. Phys. Pap., 2, 28). Наблюденія Гершеля, Пулье, затѣмъ Виолля, Крива, Лэнглена, приводятъ къ тому заключенію, что поверхность въ квадратный сантиметръ, выставленная нормально къ солнечнымъ лучамъ, на вѣшнемъ предѣлѣ атмосферы, получаетъ приблизительно 3 граммъ-калоріи въ минуту, — около $\frac{1}{20}$ калоріи, нѣсколько больше 2 килограммо-метровъ, въ секунду. Это количество энергіи, которое употребило одну секунду на то, чтобы достигнуть поглощающей поверхности, въ началѣ этой секунды заключалось въ цилиндрѣ съ основаніемъ въ одинъ квадратный сантиметръ и съ высотой, равной пути, проходимому въ одну секунду вдоль луча, т. е. занимало объемъ въ $3 \cdot 10^{10}$ кубическихъ сантиметра. Эта колебательная энергія на половину — потенциальная, на половину — кинетическая и, такъ какъ въ этомъ колебательномъ движеніи, — если только поляризація не вездѣ круговая, — скорость, навѣрное, не постоянно равна ея высшему значенію v_0 , то живая сила, навѣрное, меньше произведенія массы на половину квадрата максимальной скорости v_0 ; она была бы равна всего половинѣ этого произведенія, если бы поляризація была вездѣ прямолинейной, что представляетъ собой другой крайній случай. Слѣдовательно, называя черезъ ρ механическую плотность эфира, отнесенную къ водѣ, имѣемъ

$$\frac{\rho}{2} v_0^2 = \rho \frac{V^2}{2} \left(\frac{v_0}{V} \right)^2 = 0.07 \text{ C.G.S.},$$

ибо 2 килограммо-метра энергіи, заключенныхъ въ $3 \cdot 10^{10}$ куб. сантиметрахъ, соотвѣтствуютъ 0.07 эрга въ 1 куб. сантиметрѣ; отсюда получаемъ

$$\rho = 1.3 \times 10^{-22} \left(\frac{V}{v_0} \right)^2.$$

Правда, мы не знаемъ отношенія $\frac{V}{v_0}$; но одинаковость скорости распространенія свѣта, какова бы ни была его сила, указываетъ намъ

предполагая даже малый объемъ въ каждой молекулѣ, мы увидимъ, что живая сила совокупности молекулъ будетъ величиной того же порядка, какъ и живая сила эфира, омывающаго эти молекулы. Это равносильно увеличенію инерціи, измѣняющемуся вмѣстѣ съ періодомъ; оно измѣняетъ и скорость распространенія.

Если періодъ колебательнаго движенія, достигающаго до тѣла, меньше самаго короткаго собственнаго періода молекулы, движеніе далѣе не распространяется: оно остается сосредоточеннымъ на поверхности тѣла и вызываетъ тамъ флуоресценцію или фосфоресценцію (стр. 146—147). Вблизи другихъ періодовъ аномальная дисперсія интенсивна, интенсивно также и поглощеніе свѣта.

«Мнѣ совѣстно признаться, говоритъ сэръ В. Томсонъ (*Molec. Dyn.*, стр. 120), что я никогда не слышалъ объ аномальной дисперсіи до того момента, когда я ее замѣтилъ въ этихъ формулахъ; и я узналъ тогда, что она была наблюдаема уже восемь или десять лѣтъ передъ этимъ».

Формула дисперсіи, о которой здѣсь идетъ рѣчь, есть (*Molec. Dyn.* стр. 148):

$$n^2 = 1 - \frac{c_1}{\rho} T^2 \left(1 + q_1 \frac{T^2}{\tau_1^2 - T^2} + q_2 \frac{T^2}{\tau_2^2 - T^2} + q_3 \frac{T^2}{\tau_3^2 - T^2} + \dots \right),$$

гдѣ n обозначаетъ показатель преломленія для луча свѣта съ періодомъ T ; $\tau_1, \tau_2, \tau_3 \dots$ суть собственные періоды молекулы, расположенные въ уменьшающемся порядкѣ; ρ — плотность эфира; c_1 — коэффициентъ взаимной упругости между эфиромъ и молекулой и q_1, q_2, \dots — числа, порядокъ величины которыхъ зави-

на то, что амплитуда, навѣрное, мала по сравненію съ длиною волны, или, что сводится къ тому же, что максимальная скорость представляетъ собой лишь малую долю скорости распространенія V ; и если мы последовательно дадимъ отношенію $\frac{v_0}{V}$ величины $\frac{1}{100}, \frac{1}{1000}, \frac{1}{10000}$, то найдемъ для ρ значенія $1.3 \times 10^{-18}, 1.3 \times 10^{-16}, 1.3 \times 10^{-14}$. Слѣдовательно, можно принять, что плотность эфира не меньше 10^{-20} плотности воды и можетъ достигать 10^{-15} или немного болѣе. [*М. Бриллюэнъ*].

сигь отъ соотношеній между массаи сферическихъ оболочекъ и пружиць, ихъ поддерживающихъ. Эта формула, если алгебраическая сумма $1 - q_1 - q_2 - \dots$ положительна, даетъ мнимый показатель преломленія для очень длинныхъ періодовъ; начиная съ нѣкотораго извѣстнаго періода, она даетъ показатель, равный нулю и затѣмъ возрастающій, — сначала онъ меньше единицы, а затѣмъ все больше и больше по мѣрѣ того, какъ періодъ приближается къ самому длинному изъ собственныхъ періодовъ молекулы, τ_1 ; если алгебраическая сумма $1 - q_1 - q_2 - \dots$ отрицательна, показатель сначала очень великъ, затѣмъ уменьшается, переходитъ черезъ минимумъ и снова начинаетъ расти; показатель дѣлается мнимымъ для періодовъ, которые короче τ_1 на нѣкоторую величину, — затѣмъ онъ снова становится равнымъ нулю и потомъ неопредѣленно растетъ, и т. д. Мнимыя значенія показателя соотвѣтствуютъ такому колебательному движенію, которое вовсе не распространяется сквозь тѣло, а, проникнувъ въ него, уменьшается въ геометрической прогрессіи съ глубиной, не испытывая никакого измѣненія въ фазѣ: это представляетъ собой полосу поглощенія въ спектрѣ, крайне узкую, если q_1 очень мало, и, наоборотъ, очень растянутую и широкую, если q_1 велико, причемъ въ сторону краснаго она довольно рѣзко ограничена, а въ сторону фіолетоваго — расплывчата. Кромѣ того, при наклонномъ паденіи, свѣтъ не начинаетъ проникать внутрь тотчасъ послѣ того, какъ показатель становится дѣйствительнымъ (> 0); онъ отражается вполне, пока показатель не приблизится достаточно къ единицѣ, и даетъ сначала въ призмѣ отклоненіе, направленное къ вершинѣ угла, причемъ порядокъ цвѣтовъ отъ вершины до основанія тотъ же, какъ и въ обыкновенномъ спектрѣ. Нѣкоторые цвѣта даютъ одинаковое отклоненіе.

Если свѣторазсѣвательная молекула не изотропна, вслѣдствіе-ли распредѣленія массы, или вслѣдствіе распредѣленія пружиць, то среда можетъ быть двупреломляющей.

Само собой разумѣется, что упругость пружиць можетъ быть замѣнена кажущейся упругостью, зависящею отъ внут-

реннихъ вращеній, вполне или частью компенсирующихся, какъ въ гиростатической ¹⁾ молекулѣ (стр. 171—172). Сэръ В. Томсонъ оказывается приведеннымъ къ закону обратной пропорциональности вращенія плоскости поляризаціи квадрату періода ²⁾.

¹⁾ Въ первыхъ листахъ этой книги этотъ терминъ передавался словомъ «жиростатическій»; мы рѣшаемся перемѣнить его на болѣе употребительный терминъ «гиростатическій», «гиростатъ», «гироскопъ», ввиду происхожденія его отъ греческаго слова γῆρος (кругъ, круженіе).

(Прим. перев.).

²⁾ Теорія эта, въ этомъ первомъ своемъ развитіи, не даетъ указаній на разстояніе молекулъ, но она не преминетъ дать ихъ въ будущемъ. Дѣйствительно, она устанавливаетъ соотношеніе между явленіями преломленія и поглощенія и собственными періодами молекулы. Для всѣхъ простыхъ тѣлъ, эти собственные періоды опредѣляются для свободной молекулы спектральнымъ анализомъ; они не могутъ замѣтно измѣняться при переходѣ тѣла въ твердое или жидкое состояніе (если только сама молекула не измѣняется при этомъ), потому что взаимодействіе молекулъ, взятыхъ въ массѣ, несравненно слабѣе взаимодействій атомовъ внутри молекулъ, какъ это достаточно показываетъ медленность распространенія упругихъ деформаций. Спектрофотометрія позволитъ рано или поздно опредѣлить какую нибудь иную функцію массъ и упругостей атомовъ, помимо той, которую опредѣляютъ періоды. [М. Бриллюэнъ].

ПРИБАВЛЕНІЕ II.

Молекулярное строение матеріи.

[Сообщено сэромъ В. Томсономъ, 1 и 15 іюля 1889 въ Королевскомъ Эдинбургскомъ Обществѣ (Proc. Roy. Soc. Ed., 1889 Math. Phys. Pap. 3, 395); въ сокращеніи и съ примѣчаніями М. Бриллюэна].

1. «Научный міръ практически единогласно признаетъ, что всякая осязаемая или видимая матерія, «массивная» [molar] матерія, какъ мы можемъ ее назвать, состоитъ изъ группъ оказывающихъ другъ на друга взаимодѣйствіе атомовъ или молекулъ. Такое молекулярное строеніе матеріи есть, по существу, отклоненіе отъ однородности вещества и кажущаяся однородность массивной матеріи можетъ быть только однородностью скопища молекулъ. «Тѣло называется однороднымъ, когда нельзя отличить другъ отъ друга по какому нибудь качественному различію двѣ какія угодно равныя и подобныя его части, которыхъ соответствующія линіи параллельны и обращены въ одну и ту же сторону ¹⁾».

«Я прибавлю теперь, что это опредѣленіе есть существеннымъ образомъ, опредѣленіе кристаллическаго строенія, если только эти части тѣла не состоятъ изъ чудовишно громаднаго числа молекулъ. Дѣйствительно, очень трудно представить себѣ равновѣсіе, статическое ли, или кинетическое, въ произвольно и неправильно распределенномъ скопищѣ молекулъ. Такое ско-

¹⁾ Томсонъ и Тэтъ. *Treatise on Natural Philosophy*. т. I., ч. II. §§ 675—678. (Прим. автора).

пище могло бы быть жидкостью, но я почти не вижу возможности, чтобы оно было твердымъ тѣломъ. Кажется, поэтому, что однородное изотропное тѣло есть изотропно аморфный кристаллъ,—т. е. твердое тѣло, состоящее изъ кристаллическихъ частей, у которыхъ ихъ кристаллическія оси или линіи симметріи распределены произвольно и одинаково во всѣхъ направленіяхъ. Доказанная опытомъ чрезвычайно совершенная оптическая изотропность стекла объективныхъ стеколъ большихъ отражательныхъ телескоповъ и хорошихъ стеклянныхъ призмъ доказываетъ, повидимому, что крайнее молекулярное строеніе достаточно мелко-зернисто, чтобы могли существовать однородныя кристаллическія части, содержащія весьма большое число молекулъ, хотя ихъ размѣры въ пространствѣ очень малы въ сравненіи съ длиной волны свѣта».

2—13. *Періодическое раздѣленіе пространства*. Различныя виды элементарныхъ многогранниковъ.

14—26. *Теорія Босковича. Равновѣсіе*. — «Не принимая основного ученія Босковича, что послѣдніе атомы матеріи представляютъ собой точки, надѣленные инерціей и взаимными притяженіями или отталкиваніями, зависящими отъ разстояній между ними, и что всѣ свойства матеріи зависятъ отъ равновѣсія этихъ силъ и отъ движеній или измѣненій движенія, производимыхъ этими силами, когда онѣ не уравновѣшены,—мы всетаки можемъ черезъ разсмотрѣніе статическихъ и кинетическихъ задачъ, выдвигаемыхъ этимъ ученіемъ, нѣсколько подвинуться впередъ къ пониманію дѣйствительнаго молекулярнаго строенія матеріи и нѣкоторыхъ ея термодинамическихъ свойствъ. Представленіе кристаллическихъ формъ въ видѣ конфигурацій шаровъ Хукса, теорія упругости твердыхъ тѣлъ Навье и Пуассона, работы Максвелла и Клаузіуса по кинетической теоріи газовъ и послѣднія работы Тэта по тому же предмету,—которыя всѣ представляютъ лишь развитіе просто-на-просто теоріи Босковича,—вполнѣ оправдываютъ это заключеніе».

Положенія *устойчиваго* равновѣсія 2, 3, 4 атомовъ, притягивающихся согласно съ закономъ Ньютона на большихъ разстояніяхъ и энергично отталкивающихся на малыхъ (3 атома—

равносторонній треугольникъ, 4 — равносторонній тетраэдръ); всѣ остальные положенія равновѣсія неустойчивы.

Равновѣсіе безконечнаго однороднаго собранія [assemblage] атомовъ Босковича, какъ составленнаго изъ отдѣльныхъ атомовъ, такъ и составленнаго изъ группъ атомовъ.

29—44. *Кинетическая теорія кристалловъ, жидкостей и газовъ Босковича.* Если атомы обладаютъ большими начальными скоростями, то при столкновеніи двухъ атомовъ они, большею частью, разойдутся въ стороны и если даже, — что рѣдко, — образуются группы въ два (а еще значительно рѣже въ три) атома, то онѣ не замедлятъ раздѣлиться вслѣдствіе послѣдующихъ столкновеній; этотъ случай соотвѣтствуетъ одноатомному газу при температурѣ, много выше критической.

Но, если первоначальныя скорости атомовъ малы, то въ результатъ столкновенія двухъ атомовъ получится почти всегда вмѣстѣ двигающаяся пара, дальнѣйшія столкновенія которой съ отдѣльными атомами поведутъ или къ уменьшенію энергіи относительнаго и абсолютнаго движеній составляющихъ эту пару атомовъ и къ переходу ея въ энергію потенциальную или къ образованію болѣе сложныхъ группъ атомовъ, стремящихся принять то или другое изъ выше разсмотрѣнныхъ положеній равновѣсія. Столкновение такихъ болѣе сложныхъ группъ между собой или съ отдѣльными, по прежнему медленно двигающимися, атомами, поведетъ или къ соединенію ихъ въ одну группу съ бѣльшей кинетической энергіей, или къ тому, что одинъ изъ атомовъ группы будетъ отброшенъ отъ нея съ довольно большой скоростью, а кинетическая энергія ея станетъ меньше. Если мы окружимъ нашу систему оболочкой, отъ которой атомы отскакиваютъ, сохраняя свою скорость, то въ концѣ концовъ установится равновѣсіе обмѣна энергіи въ такихъ группахъ атомовъ (небольшихъ кристаллахъ), окруженныхъ атмосферой быстро двигающихся отдѣльныхъ атомовъ (паръ). Если мы будемъ такъ двигать части оболочки (предполагаемой подвижной), чтобы атомы отскакивали отъ нея съ бѣльшей (меньшей) энергіей, то эти кристаллики будутъ расти (уменьшаться). Если же мы будемъ какимъ нибудь образомъ

сообщать энергію самимъ атомамъ группъ, увеличивая этимъ ихъ колебательныя движенія, и вмѣстѣ съ тѣмъ вводитъ въ оболочку новые атомы, чтобы число атомовъ въ группахъ не уменьшалось, то внутреннія движенія въ группахъ станутъ настолько велики, что всѣ атомы сойдутъ со своихъ положеній равновѣсія и начнутъ кружиться другъ около друга, оставаясь однако въ видѣ нѣкоторой группы (превращеніе въ жидкость). Можетъ однако случиться, что это сообщеніе энергіи оболочкѣ вызоветъ лишь переходъ отъ одного положенія устойчиваго равновѣсія въ другое (вліяніе температуры и давленія на кристаллическую форму хлористаго калия и т. п.).

45. Теорія однороднаго собранія тѣлъ Браве.

46—61. Наболѣе плотная укладка однороднаго собранія равныхъ и подобныхъ шаровъ или эллипсоидовъ. Искусственное воспроизведеніе модели исландскаго шпата (см. сэръ В. Томсонъ, С. R., 109, 333, 1889).

Мы пришли теперь къ главному предмету этого мемуара.

28. Равенство двухъ коэффициентовъ сдвига ($n=n_1$) тѣлъ изотропныхъ и аналогичныя соотношенія для кристалловъ представляютъ слѣдствія теоріи Босковича только для однороднаго собранія одиночныхъ точекъ; но, если мы возьмемъ однородное собраніе группъ въ два или болѣе атома Босковича, то мы найдемъ теорію упругости, выводимую изъ однихъ условій симметріи (21 коэффициентъ Грина), во всей ея общности.

62—65. Можно построить твердое тѣло, изотропное по отношенію къ упругости, при помощи равносторонняго однороднаго собранія одиночныхъ точекъ, подчиняя лишь законъ силы нѣкоторому ограниченію; но это твердое тѣло будетъ подчинено соотношенію Пуассона ($3k=5n$).

66—71. *Осуществленіе несжимаемаго твердаго тѣла.* Оматерьялизуемъ взаимодействія Босковича, построивъ тетраэдръ изъ четырехъ шаровъ, соединенныхъ по двое шестью колѣнчатыми стержнями, несгибаемыми, но обладающими упругостью по длинѣ (какъ вѣсы, въ которыхъ пружина прикрѣплена къ двумъ трубкамъ, которыя могутъ свободно ходить одна въ другой, но не вращаясь и не сгибаясь); затѣмъ помѣстимъ въ

центр тетраэдра другой шаръ, снабженный четырьмя крѣпкими, но колѣнчатыми стержнями, примыкающими къ четыремъ вершинамъ тетраэдра. Послѣдній станетъ несжимаемымъ.

Вообразимъ теперь два однородныхъ тетраэдрическихъ собранія, расположенныхъ такъ, чтобы вершины одного находились въ центрѣ тетраэдровъ другого; предположимъ, что на разстояніи, равномъ сторонѣ тетраэдра, происходитъ слабое притяженіе; на разстояніи, нѣсколько большемъ, — ничтожное притяженіе; наконецъ, на разстояніи отъ центра до вершины — энергичное отталкиваніе. Построенное такимъ образомъ твердое тѣло изотропно по отношенію къ упругости, легко деформируемо и при томъ почти несжимаемо.

Въ этой статьѣ сэръ В. Томсонъ не даетъ примѣра, который имѣлъ бы рѣшающее значеніе, а именно примѣра тѣла, обладающаго 21 коэффициентомъ упругости. Изъ доказательства, которое дано, напр. у Пуанкаре, въ его *Théorie mathématique de la Lumière*, стр. 18—20, или въ его *Théorie de l'Élasticité*, стр. 47—50, и которое, повидимому, вполне справедливо, слѣдуетъ, что, когда внутреннія силы между двумя точками направлены по соединяющей ихъ прямой и зависятъ только отъ разстоянія этихъ точекъ и когда внѣшнія силы равны нулю, то получается 15 отдѣльныхъ коэффициентовъ. 21 коэффициентъ получается безъ внѣшнихъ силъ, если 1) внутреннія силы не центральны, — въ частности, если взаимодействие двухъ атомовъ не направлено по линіи соединенія, и 2) если это взаимодействие зависитъ не только отъ разстоянія этихъ двухъ атомовъ, но и отъ разстоянія сосѣднихъ атомовъ.

Поэтому представляетъ интересъ описать модель тѣла съ 21 коэффициентомъ, описанную сэромъ В. Томсономъ въ его *Molecular Dynamics* (стр. 217 и слѣдующія) въ 1884 г.

Разсмотримъ параллелепипедическое распредѣленіе; положимъ, что взаимодействия происходятъ только между непосредственно сосѣдними молекулами, и рассмотримъ, сколькими различными пружинами мы можемъ располагать для того, чтобы связать вершины одного изъ параллелепипедовъ, соблюдая при этомъ однородность:

- 1) пружинами на 12 ребрахъ, равными по 4, что составляетъ 3 различныя группы пружинъ (линейное расширеніе реберъ);
- 2) пружинами на 12 діагоналяхъ граней, причемъ па-

раллельныя пружины должны быть одинаковы; это даетъ 6 группъ (измѣненіе угла граней);

3) независимыми пружинами на 4 діагоналяхъ параллелепипеда (измѣненіе тѣлесныхъ угловъ).

Въ общемъ 13 пружинъ, — прибавивъ отношенія двухъ реберъ къ третьему, получимъ какъ разъ 15 независимыхъ данныхъ для построенія, указываемыхъ теоріей Навье и Пуассона. Легко видѣть, что изотропія сводитъ эти коэффициенты къ одному; не хватаетъ только возможности распорядиться кубической сжимаемостью (стр. 130): «я признаюсь, что это мнѣ казалось очень труднымъ, пока я не догадался обводить веревку два раза вокругъ 12 реберъ параллелепипеда. Здѣсь (показывая модель) вы видите рѣшеніе задачи при помощи этихъ веревокъ, идущихъ вдоль реберъ параллелепипеда и проходящихъ черезъ кольцо у каждой изъ 8 вершинъ. Это нельзя сдѣлать симметрично; это — математическая истина, — по крайней мѣрѣ, я такъ думаю. Прослѣдимъ эту веревку и мы увидимъ, какъ можно это сдѣлать; я самъ снова долженъ найти это. Вотъ порядокъ вершинъ, обозначенныхъ ихъ координатами, если идти по веревкѣ¹⁾:

(000) (001) (011) (010) (000) (010) (011) (101) (000) (100) (110) (010)
(110) (111) (011) (111) (101) (001) (101) (111) (110) (100) (101) (100).

¹⁾ Я измѣнилъ порядокъ, указанный Томсономъ, переставивъ 2-ю и 4-ю вершину, чтобы веревка проходила на своемъ пути по каждому ребру два раза по противоположнымъ направленіямъ. Въ первоначальномъ порядкѣ, ребро (000) (001) (011) (010) проходило два раза въ одномъ и томъ же направленіи. На рис. 58 изображена именно исправленная такимъ образомъ схема. Вотъ еще другое расположеніе, болѣе симметричное и

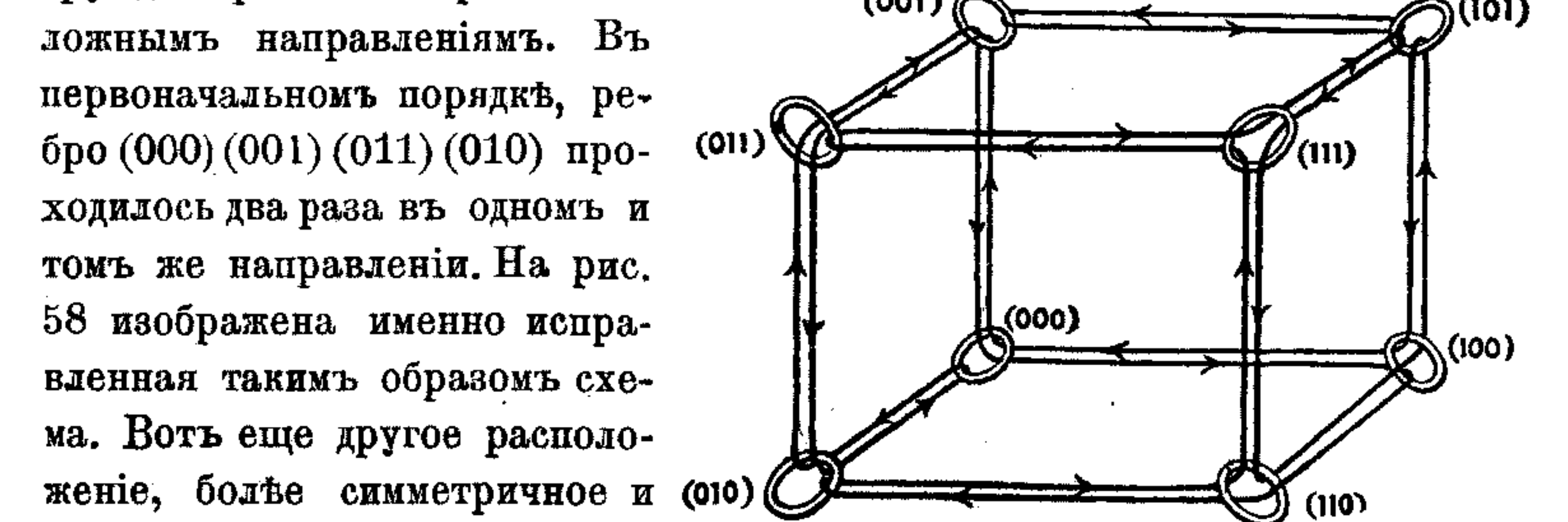


Рис. 58.

которое также хорошо проваиводитъ несжимаемость собранія смежныхъ параллелепипедовъ, при посредствѣ только двухъ веревокъ на каждомъ ребрѣ, тогда какъ въ расположеніи сэра В. Томсона каждое ребро

«Есть много способов сдѣлать это,—это одинъ изъ нихъ; мы заставили веревку пройти три раза черезъ каждую вершину и это все, что требуется».

«Если мы хотимъ устроить несжимаемость, возьмемъ нерастяжимую веревку. Но, скажутъ мнѣ, вы достигли успѣха только тогда, когда употребили гибкое тѣло; хотя это возраженіе меня не очень затрогиваетъ, потому что дѣло идетъ лишь о механической модели, но я могу его устранить и употребить только твердыя тѣла; у каждой вершины укрѣпимъ три звоночныхъ колѣнчатыхъ рычага и свяжемъ ихъ нерастяжимыми проволоками,—и тѣ же самыя условія будутъ удовлетворены. Условіе неизмѣяемости суммы сторонъ, если исходить отъ формы прямоугольнаго параллелепипеда, равносильно неизмѣяемости объема для небольшихъ деформаций».

«Вмѣсто крѣпкихъ проволокъ возьмемъ для связыванія звоночныхъ колѣнчатыхъ рычаговъ растяжимыя проволоки и подберемъ различныя упругости для трехъ направленій реберъ; это

собранія было бы проходимо четырьмя веревками, а именно (рис. 59):

(000) (100) (000) (010) (000) (001) (000),

или симметричное ему

(111) (011) (111) (101) (111) (110) (111).

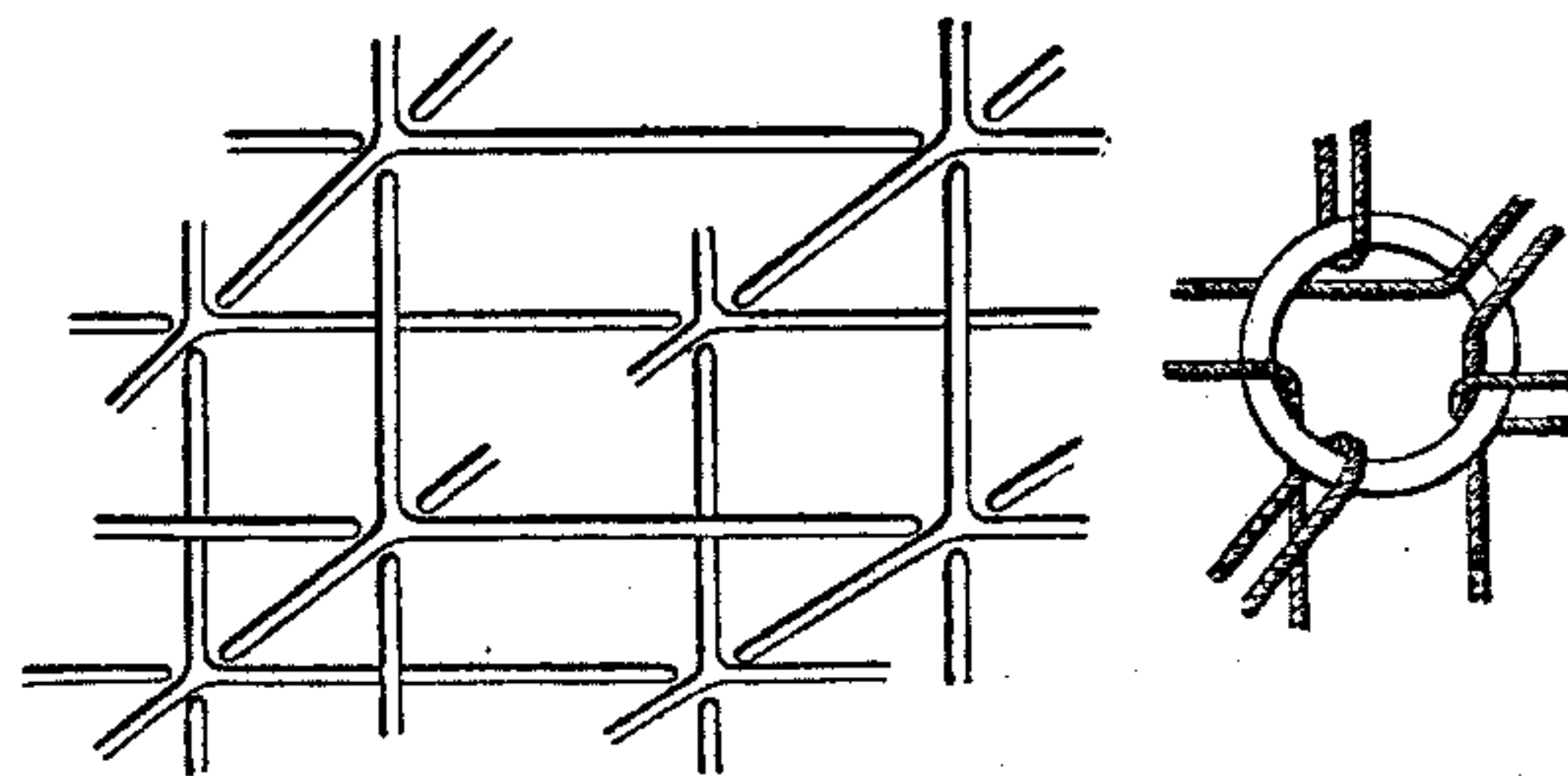


Рис. 59. У каждой вершины всѣ веревки проходятъ черезъ кольцо, такъ какъ указано направо.

Точно также можно было бы устроить отдѣльно неизмѣнность площади какой угодно грани или какой угодно діагональной плоскости.

[М. Бриллюэнъ].

даетъ 3 новыхъ независимыхъ данныхъ. Когда тѣло находится въ равновѣсіи, проволоки не испытываютъ никакого натяженія; но при самой общей деформации онѣ всѣ принимаютъ участіе и тогда получается всего 18 независимыхъ данныхъ, если относить деформацию къ ребрамъ параллелепипеда, какъ къ осямъ координатъ, и 21—когда оси координатъ произвольны».

Легко усмотрѣть въ веревкѣ сэра В. Томсона взаимодѣйствія двухъ точекъ, измѣняемая присутствіемъ сосѣднихъ точекъ, а въ двойныхъ проволокахъ со звоночными рычагами, прикрѣпленными къ пружинамъ, еще болѣе сложныя взаимодѣйствія, потому что они зависятъ отъ сосѣднихъ точекъ и, кромѣ того, не направлены по линіи соединенія двухъ атомовъ и состоятъ изъ силы и пары силъ. Такой примѣръ представляетъ, слѣд., собой прекрасную иллюстрацію этого классическаго предложенія Грина. И, только отказавшись отъ простыхъ взаимодѣйствій, можно продолжать такъ, какъ это дѣлаетъ сэръ В. Томсонъ.

«Замѣтимъ теперь, что Навье и Пуассонъ даютъ намъ возможность сдѣлать звоночный рычагъ, хотя они не могутъ дать намъ возможность сдѣлать желе (см. прим. 3 на стр. 168),—т. е. несжимаемое тѣло. Они даютъ намъ возможность сдѣлать упругую зигзагообразную пружину. Возьмемъ поэтому твердыя тѣла, удовлетворяющія ихъ теоріи, и изготовимъ изъ нихъ звоночные рычаги и пружины; присоединимъ ихъ другъ къ другу, возьмемъ ихъ достаточно небольшого размѣра и въ достаточно большомъ числѣ и мы получимъ однородное твердое тѣло, составленное изъ частей, удовлетворяющихъ ограниченіямъ Пуассона и Навье, но которое, въ цѣломъ, освобождено отъ нихъ».

Этотъ способъ разсматривать твердое тѣло, какъ составленное изъ молекулъ, каждая изъ которыхъ имѣетъ уже очень сложное строеніе, приводитъ сэра В. Томсона къ любопытному взгляду на желѣзные постройки нашихъ инженеровъ, какъ на элементы твердыхъ тѣлъ (*Molec. Dyn.*, стр. 214):

«Гетеротропное строеніе, вродѣ строенія ткани, металлической сѣтки, представляетъ, по моему мнѣнію, большой интересъ въ практической механикѣ. Теорія этой гетеротропности¹⁾ въ

¹⁾ Гетеротропнымъ, эолотропнымъ, анизотропнымъ, въ противоположность изотропному, называется такое строеніе, свойства котораго не одинаковы по всѣмъ направленіямъ вокругъ нѣкоторой точки.

сплошныхъ твердыхъ тѣлахъ ведетъ насъ къ важнымъ заключеніямъ относительно построекъ. Дѣйствительно, всѣ наши желѣзныя постройки, устои, стропила и т. д. таковы, что тысячи ихъ, присоединенные бокъ о бокъ, какъ кирпичи въ зданіи, составили бы эолотропное твердое тѣло. Нашъ нѣсколько отвлеченный вопросъ объ эолотропіи тѣсно связанъ съ важными практическими вопросами о томъ, какого рода деформации испытываетъ тѣло подъ вліяніемъ данныхъ силъ. Возьмемъ, напр., башню съ діагональными раскосами, какъ, напр., электрическій маякъ, освѣщающій Гельгэтскій [Hell-gate] проходъ въ Нью-Йоркскомъ заливѣ. Если помѣстить довольно тяжелый грузъ на его вершину, то онъ покажетъ намъ ту же боковую эолотропность по отношенію къ крѣпости, какая развивается въ проволоку при остающемся крученіи, превышающемъ предѣлъ

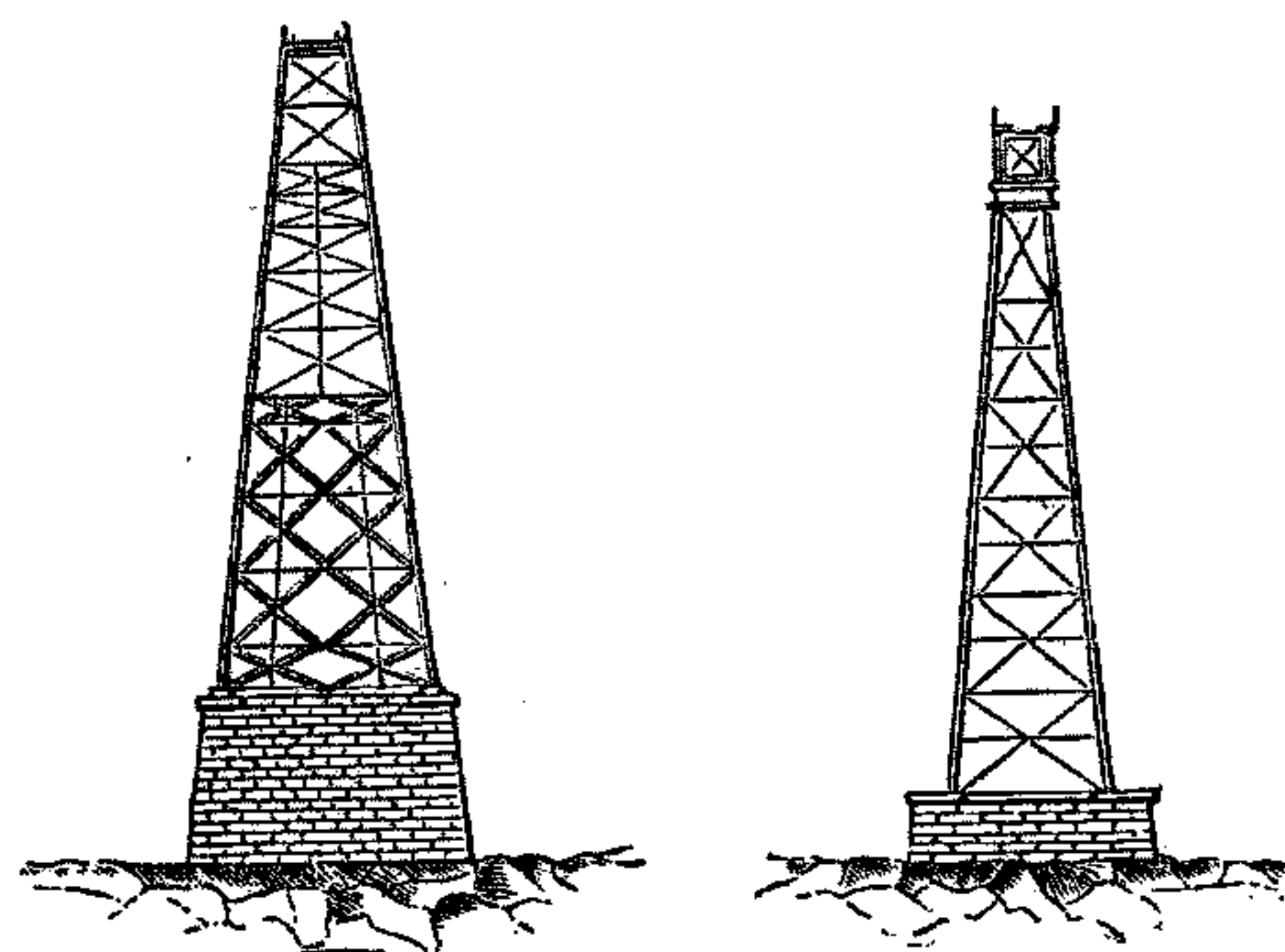


Рис. 60. Мостовые устои, имѣющіе двѣ вертикальныхъ взаимно перпендикулярныхъ плоскости симметріи.

ея упругости. Вообще, независимые раскосы башни помѣщаются всѣ симметрично, (рис. 60) такъ, что ничего подобнаго не должно было бы происходить; но въ башнѣ, поперечныя балки которой диссимметричны и всѣ діагональныя связи проходятъ въ одномъ и томъ же направленіи, мы найдемъ эту эолотропію. Я ограничусь упоминаніемъ этого довольно грубаго примѣра, только для того, чтобы указать вамъ, что теорія упругихъ сплошныхъ твердыхъ тѣлъ тѣсно связана съ вопросами, очень важными для строительнаго искусства».

Вышеуказанный родъ винтовой диссимметріи, правой или лѣвой,

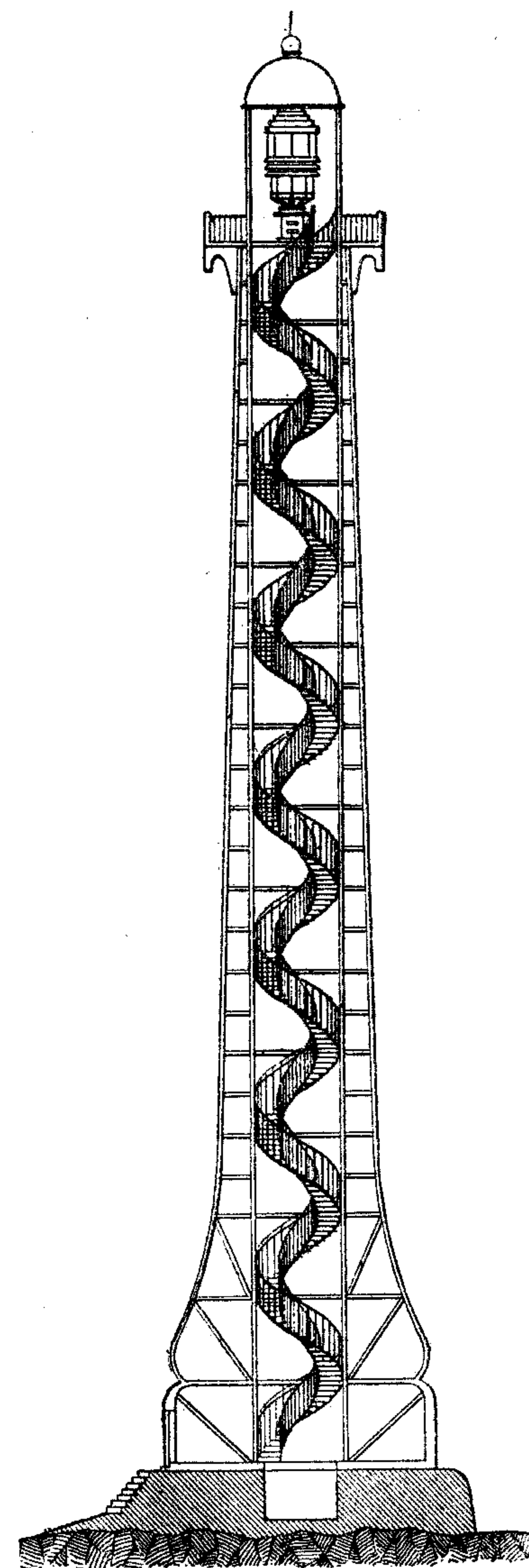


Рис. 61. Металлическій маякъ у Рошъ-Дувръ (Roches-Douvres), на сѣверѣ Бретани. Полная винтовая симметрія.

смотря по направленію недостающихъ діагоналей, почти всегда имѣетъ мѣсто въ маякахъ, не имѣющихъ важнаго значенія, даже построенныхъ симметрично (рис. 61); въ винтовой лѣстницѣ, ступеньки которой помѣщены вокругъ нѣкоторой полой трубки, грузъ, помѣщенный на ступеньки, производитъ сжатіе, изгибъ и крученіе, потому что двѣ первыхъ деформациі непременно сопровождаютъ третьей.

ПРИБАВЛЕНІЕ III.

Механическія изображенія магнитнаго поля.

Движеніе вязкой жидкости; равновѣсіе или движеніе упругаго твердаго тѣла; равновѣсіе или движеніе идеальнаго вещества, называемаго для краткости *эфиромъ*; механическое изображеніе магнитнаго поля.

[Статья сэра В. Томсона, напечатанная первый разъ въ Math. Phys. Pap. 3, ст. XCIX, 436—465,—въ сокращеніи М. Бриллюэна].

Напомнивъ извѣстныя уравненія, относящіяся къ вязкимъ жидкостямъ (§§ 1—11) и къ упругимъ твердымъ тѣламъ (§§ 12—13), сэръ В. Томсонъ переходитъ къ *гиростатическому эфиру* (§§ 14—20; стр. 166). Онъ опредѣляетъ его, какъ сплошное тѣло, которое оказываетъ безконечно-большое сопротивленіе измѣненію объема; которое оказываетъ сопротивленіе, но подчиняется парамъ силъ, стремящимся его поворачивать, и которое безъ всякаго сопротивленія поддается любой деформациі безъ вращенія. Упругое несжимаемое тѣло,—желе,—наоборотъ, оказываетъ сопротивленія деформациямъ, не сопровождаемымъ никакимъ вращеніемъ, и поддается безъ сопротивленія парамъ силъ. Если обозначить черезъ u , v , w перемѣщенія какой нибудь точки, то гиростатическія силы X , Y , Z , дѣйствующія на грани, перпендикулярныя къ x , y , z , даются (въ прямоугольныхъ координатахъ) слѣдующей таблицей

	X	Y	Z
Грань, нормальная къ Ox ,	$-p$	$n\left(\frac{dv}{dx} - \frac{du}{dy}\right)$	$n\left(\frac{dw}{dx} - \frac{du}{dz}\right)$
		22	

$$\begin{aligned} \text{Грань, нормальная къ } Oy, & \quad n\left(\frac{du}{dy} - \frac{dv}{dx}\right) - p \quad n\left(\frac{dw}{dy} - \frac{dv}{dz}\right) \\ \text{» } & \quad \text{»} \quad Oz, \quad n\left(\frac{du}{dz} - \frac{dw}{dx}\right) \quad n\left(\frac{dv}{dz} - \frac{dw}{dy}\right) - p \end{aligned}$$

Уравнения поступательнаго движенія элемента объема, подверженнаго дѣйствию силъ X , Y , Z , рассчитанныхъ на единицу массы, будутъ, какъ и для желе,

$$\begin{aligned} \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} + \frac{dw}{dz} &= 0, \\ \rho \frac{d^2u}{dt^2} &= n \Delta u - \frac{dp}{dx} + X. \end{aligned}$$

Слѣд., распространеніе поперечныхъ колебаній происходитъ въ немъ такъ же, какъ въ упругомъ желе.

На поверхности раздѣла двухъ средъ, у которыхъ коэффициентъ крѣпости n одинаковъ, но которыя отличаются только плотностью, условія непрерывности силы будутъ одинаковыми для желе и для эфира сэра В. Томсона; давленіе p , перемѣщенія u , v , w и девять первыхъ производныхъ отъ u , v , w по x , y , z непрерывны. Когда же коэффициенты крѣпости различны, то производныя отъ тангенціального перемѣщенія, взятая по направленію нормали, будутъ различны съ той и съ другой стороны поверхности; давленіе же непрерывно для эфира и представляетъ разрывъ непрерывности для желе ¹⁾.

Зависящая отъ данной деформаціи энергія единицы объема имѣетъ не одинаковыя выраженія для эфира и для несжимаемаго желе (§§ 21—28). Общая сумма — та же, когда объемъ ограниченъ неподвижными стѣнками, но распредѣленіе различно, и, кромѣ того, реакціи среды на стѣнки не одинаковы.

¹⁾ Въ грани, нормальной къ Ox , непрерывны u , v , w , а, слѣд., и $\frac{du}{dy}$, $\frac{du}{dz}$; $\frac{dv}{dy}$, $\frac{dv}{dz}$; $\frac{dw}{dy}$, $\frac{dw}{dz}$; и $\frac{du}{dx}$ — вслѣдствіе несжимаемости.

$$\text{Силы будутъ } \begin{cases} \text{въ желе} & -p + 2n\frac{du}{dx}, & n\left(\frac{dv}{dx} + \frac{du}{dy}\right), & n\left(\frac{du}{dz} + \frac{dw}{dx}\right), \\ \text{въ эфирѣ} & -p, & n\left(\frac{dv}{dx} - \frac{du}{dy}\right), & n\left(\frac{dw}{dx} - \frac{du}{dz}\right). \end{cases}$$

Разсмотримъ, напр. (§ 26), цилиндрическую деформацію, при которой часть, находящаяся внутри цилиндра радіуса a , повернулась, какъ неизмѣняемое твердое тѣло, на уголъ θ , а внѣшняя часть подалась за нею, безъ элементарныхъ вращеній, круговыми перемѣщеніями $\frac{\theta a^2}{r}$, обратно пропорціональными разстоянію до оси. Для желе вся энергія, $2\pi\theta^2 a^2$, находится внѣ цилиндра a и распредѣлена тамъ такъ же, какъ электромагнитная энергія постояннаго электрическаго тока, силою $\frac{1}{2} a^2\theta$, проходящаго по центральному цилиндру, причемъ перемѣщеніе представляетъ магнитную силу. Для *гиростатическаго эфира* та же общая сумма энергіи заключена цѣликомъ въ центральномъ цилиндрѣ и распредѣлена, какъ электромагнитная энергія поля, вызываемаго бесконечно-длиннымъ соленоидомъ, навитымъ на этотъ цилиндръ радіуса a , и въ которомъ плотность тока на единицу длины производящей равна $\frac{\theta}{2\pi}$; при этомъ вращеніе представляетъ магнитную силу ¹⁾.

¹⁾ Въ этой деформаціи перемѣщенія не представляютъ разрыва непрерывности на поверхности цилиндра радіуса a , но тангенціальныя слабаемыя силы, приложенныхъ къ поверхности цилиндра перпендикулярно къ производящимъ, имѣютъ различныя значенія съ той и съ другой стороны этой поверхности. Слѣдовательно, нужно представить себѣ приложенными къ этой поверхности тангенціальныя силы, равныя $2n\theta a^2$ на единицу поверхности и дающія пару силъ, равную $2n\theta a^3$ на единицу длины цилиндра и дѣйствующую по направленію вращенія θ (напр., можно представить себѣ цилиндръ изъ металлической сѣтки, погруженный въ желе и къ которому приложена эта пара). Эта пара непосредственно уравновѣшивается вращеніемъ внутри лежащаго цилиндра въ случаѣ гиростатическаго эфира; но въ случаѣ желе дѣйствіе ея цѣликомъ передается во внѣшнее пространство и должно быть уравновѣшено тангенціальными силами противоположнаго направленія, приложенными на очень большомъ разстояніи отъ цилиндра, — силами, которыя можно свести къ единицѣ поверхности, не мѣняя общей величины пары для какой нибудь замкнутой линіи, окружающей центральный цилиндръ. Сила, приложенная къ цилиндру a и рассчитываемая на единицу длины, изображаетъ ту электромагнитную силу, которую нѣкоторая внѣшняя электродвижущая сила должна поддерживать для того, чтобы было равновѣсіе въ случаѣ желе;

§§ 29—45. *Механическое изображение магнитной силы электромагнита.*

Сэр В. Томсонъ возвращается здѣсь къ сравненію, указанному имъ первый разъ въ 1847 г. ¹⁾ и въ которомъ электромагнитная сила изображается вращеніемъ $w'_y - v'_z, \dots$, плотность тока—выпуклостью, которую приобретаетъ плоскость, первоначально нормальная къ току (суммою величинъ, обратныхъ радіусамъ кривизны этой поверхности или $\Delta u, \Delta v, \Delta w$) и потенциалъ-векторъ—перемѣщеніемъ (u, v, w) . Онъ показываетъ, что такое изображение удовлетворительно для гиростатического эфира, но не для желе.

Для линейнаго тока, имѣющаго форму бесконечной веревки, — какъ бы ни были запутаны узлы (не затянутые), ею образуемые, эта деформация получается, если приложить къ веревкѣ извнѣ тангенціальную силу, имѣющую постоянную величину на единицу длины; каждая изъ слагаемыхъ перемѣщенія, u, v, w , можетъ быть вычислена, какъ потенциалъ нѣкотораго распределенія массъ, дѣйствующихъ согласно съ закономъ Ньютона и имѣющихъ плотности, измѣряемая соответствующими слагаемыми X, Y или Z внѣшней силы, дѣленными на $2\pi n$. Общнѣе, предположимъ, что мы приложимъ во всей средѣ силы X, Y, Z , отнесенныя къ единицѣ объема и такія, что можно раздѣлить весь объемъ на бесконечныя трубки, каса-

ту же роль въ случаѣ гиростатического эфира играетъ сила на единицу поверхности этого цилиндра.

Вмѣсто того, чтобы развивать далѣе параллельно эти двѣ аналогіи, принимая за изображение магнитной индукціи въ одномъ случаѣ перемѣщеніе, а въ другомъ случаѣ—вращеніе, сэр В. Томсонъ стремится показать, въ слѣдующихъ параграфахъ и статьяхъ, что, если изображать магнитную индукцію въ обоихъ случаяхъ вращеніемъ, то эфиръ-желе является неудовлетворительнымъ и, наоборотъ, гиростатическій эфиръ даетъ вѣрное изображение фактовъ. [М. Бриллюэнъ].

¹⁾ Сэр В. Томсонъ. *О механическомъ изображеніи электрической, магнитной и гальванической силъ.* [On a Mechanical Representation of Electric, Magnetic, and Galvanic Forces, *Cambr. Dubl. Math. Jour.*, 2, 1847, *Math. Phys. Pap.*, 1, 76—80]

тельные къ силѣ по всей своей длинѣ и нормальное сѣченіе которыхъ обратно пропорціонально силѣ ¹⁾; перемѣщенія u, v, w будутъ потенциалами распределенія

$$\frac{X}{4\pi n}, \frac{Y}{4\pi n}, \frac{Z}{4\pi n},$$

подчиняющагося закону Ньютона, какова бы ни была объемная сжимаемость среды, и это перемѣщеніе вполне соответствуетъ электромагнитному потенциалу-вектору токовъ силою X, Y, Z , въ средѣ съ магнитной проницаемостью n , если вращеніе $(w'_y - v'_z, \dots)$ соответствуетъ магнитной индукціи.

«44. Теперь мы закончимъ тѣ развитія, которыя я въ моей коротенькой статьѣ, написанной 43 года назадъ, «откладывалъ до будущей статьи». Все, въ этихъ развитіяхъ, приложимо безразлично и къ нашему идеальному веществу, которое мы назвали «эфиромъ», и къ обыкновенному несжимаемому упругому твердому тѣлу (желе). Отчего бы въ такомъ случаѣ не удовлетвориться для нашего механическаго изображенія обыкновеннымъ твердымъ тѣломъ? Своеобразное дѣйствіе на линіи магнитной силы, зависящее отъ «индуктированнаго намагничиванія», не разсматривалось въ моей статьѣ 1847 года. Можно было бы вообразить, что эти дѣйствія можно было бы включить въ эту аналогію, придавъ желе въ различныхъ мѣстахъ различныя крѣпости, чтобы это соответствовало ихъ различнымъ магнитнымъ проницаемостямъ. Но это не такъ: и именно эти то удивительныя требованія, которыя были предъявляемы попыткѣ включить индуктированное намагничиваніе въ это механическое изображеніе, и привели къ допущенію нѣкоторой quasi-упругой силы, зависящей отъ абсолютнаго вращенія и только такимъ образомъ отъ деформации; а это привело ко введенію того новаго идеальнаго вещества, которое мы называли здѣсь «эфиромъ».

Поверхностныя условія, которыя должны удовлетворяться

$$1) \quad \frac{dX}{dx} + \frac{dY}{dy} + \frac{dZ}{dz} = 0.$$

на поверхности раздѣла двухъ веществъ различной проницаемости, находящихся въ магнитномъ полѣ, заключаются въ томъ, что нормальныя слагаемыя магнитной силы равны съ обѣихъ сторонъ раздѣла, тогда какъ тангенціальныя слагаемыя относятся другъ къ другу, какъ магнитныя проницаемости веществъ, находящихся съ той и съ другой стороны, причемъ терминъ «магнитная сила» употребленъ здѣсь согласно съ тѣмъ опредѣленіемъ, которое я назвалъ электромагнитнымъ опредѣленіемъ ¹⁾). Такъ какъ магнитную силу въ нашей аналогіи представляетъ вращеніе желе или эфира, то изъ § 20 мы видимъ, что требуемое условіе на поверхности раздѣла между веществами различной крѣпости (n) не выполняется въ желе и выполняется въ эфирѣ.

«45. Теперь мы можемъ вполне понять въ нашемъ механическомъ изображеніи то обстоятельство, что энергія стержневого электромагнита съ сердечникомъ изъ мягкаго желѣза значительно больше энергіи равнаго и подобнаго стержневого электромагнита съ тою же силою тока, но безъ сердечника изъ мягкаго желѣза. Мы должны предположить, что эфиръ на мѣстѣ, занимаемомъ сердечникомъ изъ мягкаго желѣза, обладаетъ много меньшею крѣпостью, чѣмъ эфиръ въ остальномъ пространствѣ, будетъ ли тамъ мѣдь или воздухъ. Если мы предположимъ, что мѣдь, по которой идетъ электрическій токъ, образуетъ тонкую цилиндрическую трубку со среднимъ радіусомъ a , то механическая аналогія, для случая отсутствія сердечника изъ мягкаго желѣза, представляетъ собой случай, вполне изслѣдованный въ §§ 26—28. Теперь, чтобы изобразить случай сердечника изъ мягкаго желѣза съ проницае-

¹⁾ Т. е. магнитная сила въ воздухѣ въ идеальной полости, перпендикулярной къ линіямъ намагничиванія. Во избѣжаніе оговорокъ, я буду всегда употреблять терминъ «магнитная сила» согласно этому опредѣленію, если только не будетъ спеціально указано, что идетъ рѣчь о «полярномъ опредѣленіи» или магнитной силѣ въ воздухѣ въ идеальной полости, касательной къ линіямъ намагничиванія. См. Томсонъ, *Electrostatics and Magnetism*, прим. къ §§ 516 и 517 и конецъ *post-scriptum* 'a § 517.
(Прим. автора).

мостью 300, предположите, что значеніе n для эфира пространства, соответствующаго сердечнику изъ мягкаго желѣза, равно $\frac{1}{300}$ его значенія во всѣхъ другихъ мѣстахъ, и пусть вращательныя силы будутъ тѣ же, что и въ предыдущемъ случаѣ. Замѣтите, что внутри цилиндра и окружающемъ его съ внѣшней стороны пространствѣ на разстояніяхъ отъ оси, меньшихъ въ сравненіи съ разстояніями отъ концовъ, равновѣсіе эфира зависитъ просто отъ равновѣсія между суммой паръ силъ, оказывающихъ сопротивленіе вращенію эфира внутри цилиндрической оболочки, и вращательныхъ силъ въ оболочкѣ, причемъ въ эфирѣ, находящемся внѣ оболочки, нѣтъ вращенія и нѣтъ поэтому никакого отношенія къ уравниваемымъ силамъ, за исключеніемъ мѣстъ, близкихъ отъ концовъ. Поэтому, въ этомъ случаѣ, вращеніе, а, слѣдовательно, и энергія эфира внутри оболочки должны быть въ 300 разъ больше, чѣмъ они были въ предыдущемъ случаѣ, кромѣ мѣстъ около концовъ. По сосѣдству съ концами мы должны были бы рѣшить для эфира ту трансцендентную задачу, за которую Гринъ взялся и которую онъ рѣшилъ для магнитной индукціи съ довольно несовершеннымъ приближеніемъ [въ чемъ онъ открыто и сознается въ § 17 ¹⁾ его прославленнаго теперь этюда о приложеніи математическаго анализа къ теоріямъ электричества и магнетизма].

Противопоставимъ это тому, что мы получимъ, взявъ «желе» вмѣсто «эфира». Такъ какъ внутри цилиндра (за исключеніемъ мѣстъ, близкихъ къ концамъ) нѣтъ деформаций, то большая или меньшая крѣпость желе тамъ не дѣлаетъ никакой разницы въ результатѣ. Дѣйствительно, мы могли бы предположить, что желе вынута и внутри цилиндра осталось пустое пространство,—и движеніе безъ вращенія во всемъ желе снаружи (за исключеніемъ сосѣднихъ съ концами мѣстъ) было бы такимъ, какъ если бы все пространство было заполнено однороднымъ матерьяломъ. Мѣстонахожденіе энергіи будетъ цѣли-

¹⁾ См. собраніе математическихъ работъ Грина [Math. Pap., 107].

(Прим. автора).

комъ снаружи цилиндра, какъ это было указано выше (§ 27). Равновѣсіе желе въ этомъ случаѣ состоитъ въ уравновѣшиваніи вращательныхъ силъ, дѣйствующихъ на нашу оболочку, силами упругаго сопротивленія деформации всего окружающаго желе, и въ его перемѣщеніи безъ вращенія въ частяхъ, окружающихъ средину цилиндра, и вращательныхъ перемѣщеніяхъ, соответствующихъ линіямъ магнитной силы, по сосѣдству съ концами.

«46. Врядъ ли нужно говорить, что «эфиръ», который мы придумали, есть чисто идеальное вещество. Тѣмъ не менѣе мнѣ кажется въ высокой степени вѣроятнымъ, что принятая нами зависимость его силъ отъ абсолютнаго вращенія во всякомъ случаѣ похожа на то, что дѣйствительно соответствуетъ настоящему эфиру. Даже при простомъ допущеніи § 14, къ которому насъ привело одно разсмотрѣніе магнитной проницаемости, мы молча приняли свойство, которое прямо ведетъ къ объясненію Стоксовской теоріи абераціи ¹⁾, заключающейся въ томъ, что земля и другія небесныя тѣла своими движеніями черезъ эфиръ сообщаютъ ему только движенія безъ вращенія. Такъ, будетъ дѣйствительно, въ случаѣ безконечно-малыхъ движеній гладкихъ и твердыхъ или пластичныхъ твердыхъ тѣлъ, заполняющихъ пузырьчатыя пустоты въ нашемъ эфирѣ. Вообще нашъ «эфиръ», — будетъ ли онъ простирается въ безконечность во всѣхъ направленіяхъ, будетъ ли онъ имѣть пузырьчатыя или трубкообразныя пустоты, или же будетъ дана конечная часть его, заключенная въ оболочки какой угодно формы, лишь бы на нее дѣйствовали только нормальныя давленія, — принимаетъ, при какомъ угодно движеніи оболочки, то же самое движеніе, какое принимаетъ несжимаемая жидкость безъ тренія въ томъ же пространствѣ при томъ же движеніи оболочки. Мнѣ врядъ ли нужно напоминать лицамъ, знающимъ гидрокINETИКУ, что скорость какой нибудь части вещества будетъ всегда такой, которая для данныхъ нор-

¹⁾ Стоксъ, Math. Phys. Pap., I, 124, 153—156.

(Прим. автора).

мальныхъ слагаемыхъ скоростей всякой части оболочки даетъ минимумъ кинетической энергіи ¹⁾.

«47. До сихъ поръ наше изображеніе было чисто статическимъ. Изъ уравненій движенія § 12 получается очевидное кинетическое распространеніе его на любой случай, въ которомъ силы (X, Y, Z) приложены къ ограниченной части желе или эфира и представляютъ періодическую функцію времени. Такимъ образомъ мы прямо получаемъ *волновую теорію свѣта*, какъ неизбѣжное слѣдствіе предположенія, что перемѣщеніе упругаго твердаго тѣла, посредствомъ котораго я, въ моей прежней статьѣ, давалъ только «*изображеніе*» электрическихъ токовъ и соответствующихъ магнитныхъ силъ, представляетъ собою дѣйствительность. Но, чтобы дать что нибудь вродѣ удовлетворительнаго матеріальнаго осуществленія электромагнитной теоріи свѣта Максвелля, необходимо: показать соотношеніе *электростатической силы* къ силамъ X, Y, Z моихъ формулъ; объяснить выдѣленіе тепла, происходящее, согласно съ закономъ Джуля ²⁾, благодаря этимъ силамъ, когда онѣ заставляютъ электрическій токъ течь по проводнику; и показать, какимъ образомъ скорость свѣта *въ эфирѣ* равна или, можетъ быть, мы скорѣе должны сказать, *есть* число электростатическихъ единицъ количества электричества въ единицѣ электромагнитной. Все это существеннымъ образомъ влечетъ за собою разсмотрѣніе вѣсомой матеріи, проникаемой эфиромъ или погруженной въ него, и нѣкотораго *tertium quid*, которое мы можемъ назвать электричествомъ, — нѣкоторой жидкости-посредника, служащей для того, чтобы передавать силу между вѣсомой матеріей и эфиромъ, и вызывать своимъ теченіемъ тѣ молекулярныя движенія вѣсомой матеріи, которыя мы называемъ тепломъ. Я не вижу никакого пути, указывающаго свойства матеріи, электричества или эфира, которыя давали бы все это или нѣчто бѣльшее, чѣмъ очень слабое приближеніе къ

¹⁾ См. Томсонъ и Тэтъ, Natur. Phil., I, § 317. Примѣръ 3.

(Прим. автора).

²⁾ У Томсона по ошибкѣ сказано «Ома».

(Прим. перев.).

этому, и я думаю, мы должны чувствовать теперь, что тройственный союз, эфиръ, электричество и вѣсомая матерія, есть скорѣе результатъ недостатка нашихъ познаній и способности придумать что нибудь, выходящее за предѣлы теперешняго ограниченнаго горизонта физики, какъ науки,—чѣмъ нѣчто, дѣйствительно существующее въ природѣ».

Въ статьѣ «Эфиръ, электричество и вѣсомая матерія» (Приб. IV) есть параграфъ, посвященный этому тройственному союзу и который кстати привести здѣсь (Math. Phys. Pap., 3, 502, § 18):

«Пусть у насъ будетъ упругое твердое тѣло чрезвычайно малой плотности и пусть трубкообразная часть его будетъ пористой, но съ тѣмъ же среднимъ коэффициентомъ крѣпости, какъ и сплошная упругая матерія, ее окружающая. Пусть поры эти будутъ заполнены плотной вязкой жидкостью и пусть жидкость проталкивается черезъ трубку, при помощи поршня или какимъ нибудь другимъ способомъ. Увлекающая сила жидкости, дѣйствующая на пористое тѣло, вызоветъ статическое круговое смѣщеніе вокругъ осей, касательныхъ къ окружностямъ, имѣющимъ центры на оси трубки, и прямо пропорциональное продолжающемуся круговому движенію, такъ что вращеніе будетъ распределено совершенно такъ же, какъ магнитная сила вокругъ электрическаго тока. Нѣкоторыя изъ самыхъ интересныхъ практическихъ задачъ электромагнитной индукціи могутъ быть, такъ сказать, динамически осуществлены моделями, построенными согласно съ этой идеей,—и, дѣйствительно, если бы у насъ были только электричество и эфиръ, то все вышло бы, какъ нужно. И если бы не было этой грубой вѣсомой матеріи, которую намъ приходится разсматривать, то я былъ бы совершенно удовлетворенъ, по отношенію къ задачѣ электромагнитной индукціи, принявъ электричество за вязкую жидкость, а эфиръ за упругое твердое тѣло, пористое въ нѣкоторыхъ мѣстахъ и сплошное или непористое во всѣхъ другихъ».

ПРИБАВЛЕНІЕ IV.

Эфиръ, электричество и вѣсомая матерія.

(Часть предсѣдательской рѣчи, произнесенной 10 января 1889 г. въ Институтъ Электрическихъ Инженеровъ).

[Math. Phys. Pap., 3, 484—516].

(Въ сокращеніи М. Бриллюэна).

Первые параграфы этой очень интересной рѣчи посвящены различнымъ практическимъ вопросамъ электричества,—телеграфированію черезъ кабели, телефоніи, распределенію переменныхъ токовъ на поверхности проводниковъ и аналогіи диффузии переменнаго тока диффузии движенія въ вязкой жидкости или тепла въ проводящемъ тѣлѣ.

«§ 19. Вообразимъ, что постоянный токъ проходитъ по обыкновенной катушкѣ или по соленоиду, снабженному сердечникомъ изъ куска мѣди. Какова бы ни была природа электрическаго тока, я вѣрю, что *слѣдующее* соотвѣтствуетъ дѣйствительности: *токъ поворачиваетъ эфиръ вокругъ* внутри соленоида. Я не думаю, что это мечтанія электромагнитной теоріи; какъ ни трудна эта мысль, я вѣрю, что она соотвѣтствуетъ дѣйствительности.

Что бы эфиръ ни представлялъ собой, мы двигаемся черезъ него,—земля двигается черезъ него. Астрономы и оптики не кричатъ и не дѣлаютъ себѣ жизнь несчастной изъ за aberrации свѣта. Френель и профессоръ Стоксъ сдѣлали все, что могли сдѣлать люди, до 9-го января 1889 года, для механи-

ческого объяснения aberrации свѣта. Вѣроятно, полное рѣшеніе вопроса, какимъ образомъ земля можетъ проходить черезъ этотъ упругій твердый эфиръ, а свѣтоты волны могутъ между тѣмъ распространяться въ немъ такъ, какъ онѣ распространяются въ действительности,—не находится за предѣлами человеческого разсудка. Aberrация свѣта есть до сихъ поръ абсолютная тайна. И однако, нельзя ожидать, чтобы люди, занимающіеся оптикой и астрономіей, становились несчастными на всю жизнь изъ за того, что это затрудненіе находится у нихъ всегда передъ глазами. Ну, а мы тоже должны стать совершенно несчастными изъ за того, что, когда мы видимъ, что подвижная проволока, благодаря току, идущему по ней, приводится въ движеніе электромагнитной силой, то мы не можемъ усмотрѣть никакой возможности объяснить, какъ среда, могущая подвергаться «магнитному натяженію», можетъ позволять ей двигаться? Въ концѣ концовъ, какъ ни велика здѣсь тайна, есть тайна еще больше этой. Актъ свободной воли есть, по отношенію къ законамъ, управляющимъ матеріей, еще бѣлая тайна, чѣмъ что либо, что когда либо высказывали или воображали по отношенію къ механикѣ эфира, или электромагнетизму, или свѣту.

Такъ или иначе, эфиръ, какъ бы то ни было, поворачивается вокругъ, эфиръ получаетъ вращательное движеніе внутри соленоида; такъ или иначе, электрическій токъ, проходящій черезъ окружающую эфиръ проволоку, действительно, сообщаетъ вращательное движеніе эфиру въ нашемъ предполагаемомъ мѣдномъ сердечникѣ и въ воздухѣ, заключенномъ между нимъ и проволокой, несущей токъ».

«20. Но перейдемъ теперь къ желѣзу. Что можетъ сдѣлать постоянный токъ, проходящій черезъ катушку? Одно изъ двухъ: или этотъ постоянный токъ все время увлекаетъ за собой эфиръ внутри катушки, или же онъ увлекаетъ его на нѣкоторый уголъ, пропорціональный силѣ электрическаго тока и повернувъ его такимъ образомъ, приводитъ его къ статическому равновѣсію. Токъ дѣлаетъ или то, или другое.

Въ чемъ же *можетъ* желѣзо отличаться отъ мѣди, если

основываться на условіи, относящемся къ поверхности раздѣла? Наше пограничное условіе, основанное на равенствѣ вязкостей, вполне ясно, но, когда вы вводите желѣзо, вы вводите вмѣстѣ съ тѣмъ нѣкоторое, зависящее отъ вращенія, различіе на поверхности, не имѣя одного ничего такого, что бы могло, можетъ быть, быть причиной какого нибудь вязкаго дѣйствія или какого нибудь упругаго дѣйствія. Упругое дѣйствіе (исключая сжатія или разрѣженія, не входящія въ предметъ нашего настоящаго разсужденія) требуетъ деформаціи. Въ несжимаемомъ упругомъ тѣлѣ нѣтъ никакой упругости, если нѣтъ деформаціи. Если, прилагая тангенціальную силу по всей поверхности, окружающей пространство, заключенное внутри цилиндра, вы будете поддерживать вращеніе этой окружности, то вы будете поддерживать тѣмъ самымъ вращеніе всего содержимаго. На послѣдокъ, вся жидкость, заключающаяся внутри, будетъ вращаться съ тою же самою угловою скоростью, какъ и поверхность, касающаяся цилиндра. Такимъ образомъ наша аналогія съ вязкой жидкостью вполне соответствуетъ своему назначенію для магнитной силы внутри соленоида, заключающаго внутри себя любой немагнитный матерьялъ, и служить иллюстраціей факту, что эта сила одинакова для проводящаго и непроводящаго вещества. Но съ желѣзомъ будетъ нѣчто, совершенно иное. Наша аналогія съ вязкой жидкостью должна дать намъ бѣольшую постоянную вращательную скорость или бѣольшее статическое вращательное смѣщеніе въ пространствѣ, занимаемомъ желѣзомъ въ сравниваемой съ этою аналогіею магнитной системѣ, чѣмъ въ этомъ окружающемъ пространствѣ. Такимъ образомъ основное явленіе намагничиванія желѣзнаго стержня внутри катушки вполне превышаетъ наши средства, выбиваетъ у насъ всякую почву изъ подъ ногъ, будемъ ли мы держиваться нашей аналогіи съ вязкой жидкостью, или нашей аналогіи съ упругимъ твердымъ тѣломъ. Если это будетъ жидкость, все время вращающаяся и вращающаяся, то мы должны имѣть взаимодействіе между частями жидкости по обѣ стороны раздѣла, зависящее не отъ деформаціи, а отъ вращенія. Если же мы примемъ аналогію съ упругимъ твердымъ тѣломъ, то мы

должны имѣть статическое равновѣсіе упругаго цилиндра, у котораго внутренняя часть повернута на большій уголъ, чѣмъ вращательная часть перемѣщенія окружающаго вещества. Если прибавить къ этому круговое смѣщеніе безъ вращенія внѣшней части, то будетъ удовлетворено условіе *отсутствія скольженія* на поверхности раздѣла. Отсюда слѣдуетъ, что мы должны придумать такое устройство вещества, въ которомъ постоянная пара силъ производила бы постоянное угловое смѣщеніе въ тѣлѣ и не производила постоянного вращенія. Единственная вещь, которая можетъ дать этотъ результатъ, есть врожденное вращеніе, существующее въ молекулахъ вещества. Это вращеніе, повидимому, единственная вещь, могущая сдѣлать это, и оно, дѣйствительно, *можетъ* сдѣлать это. Но вспомните, что гиростатъ доставляетъ намъ какъ разъ достиженіе этого; и я закончу, съ вашего позволенія, однимъ простымъ гиростатическимъ опытомъ,—очень хорошо извѣстнымъ, старымъ опытомъ,—который я покажу вамъ потому, что мнѣ нужно выставить ясно на видъ его примѣненіе къ дальнѣйшему.

«21. Относя этотъ опытъ къ идеѣ о средѣ, я покажу вамъ, при помощи его, среду, имѣющую свойства несжимаемой жидкости и не имѣющую никакой крѣпости, кромѣ той, которая сообщается ей гиростатическими дѣйствіями. Вотъ, такъ сказать, молекулярный остовъ, который можетъ дать намъ такую жидкость; онъ состоитъ изъ ряда крѣпкихъ квадратовъ, сосѣдніе углы которыхъ соединены безконечными, гибкими, нерастяжимыми нитями, проходящими безъ тренія сквозь отверстія на углахъ или вокругъ блоковъ, укрѣпленныхъ на этихъ углахъ (рис. 62). Вотъ построенная такимъ образомъ модель,—25 крѣпкихъ квадратовъ и 36 безконечныхъ кусковъ веревки, соединяющихъ углы этой модели, представляющей родъ ткани. Если мы возьмемъ обыкновенную суконную ткань и потянемъ ее по различнымъ направленіямъ, то по направленію основы и по направленію утка вы не будете въ состояніи вытянуть ее; но подъ угломъ въ 45° къ основѣ и къ утку вы можете очень свободно ее растянуть. Мы всѣ понимаемъ это,—и вы знаете, какъ хирурги пользуются этимъ въ ихъ наискось

нарѣзанныхъ бинтахъ. Но предъ нами находится ткань, которая одинаково легко растяжима по всѣмъ направленіямъ и площадь которой однако постоянна,—постоянна для безконечно-малыхъ перемѣщеній, а не для очень большихъ. Периметръ каждаго крѣпкаго и каждаго гибкаго квадрата данъ; и если мы безконечно мало измѣнимъ квадратъ, превращая его въ неквадратный прямоугольникъ или въ ромбъ, то площадь его остается почти неизмѣнной. Первое измѣненіе площади есть уменьшеніе ее, въ какомъ бы мы направленіи ни растягивали ее; но это

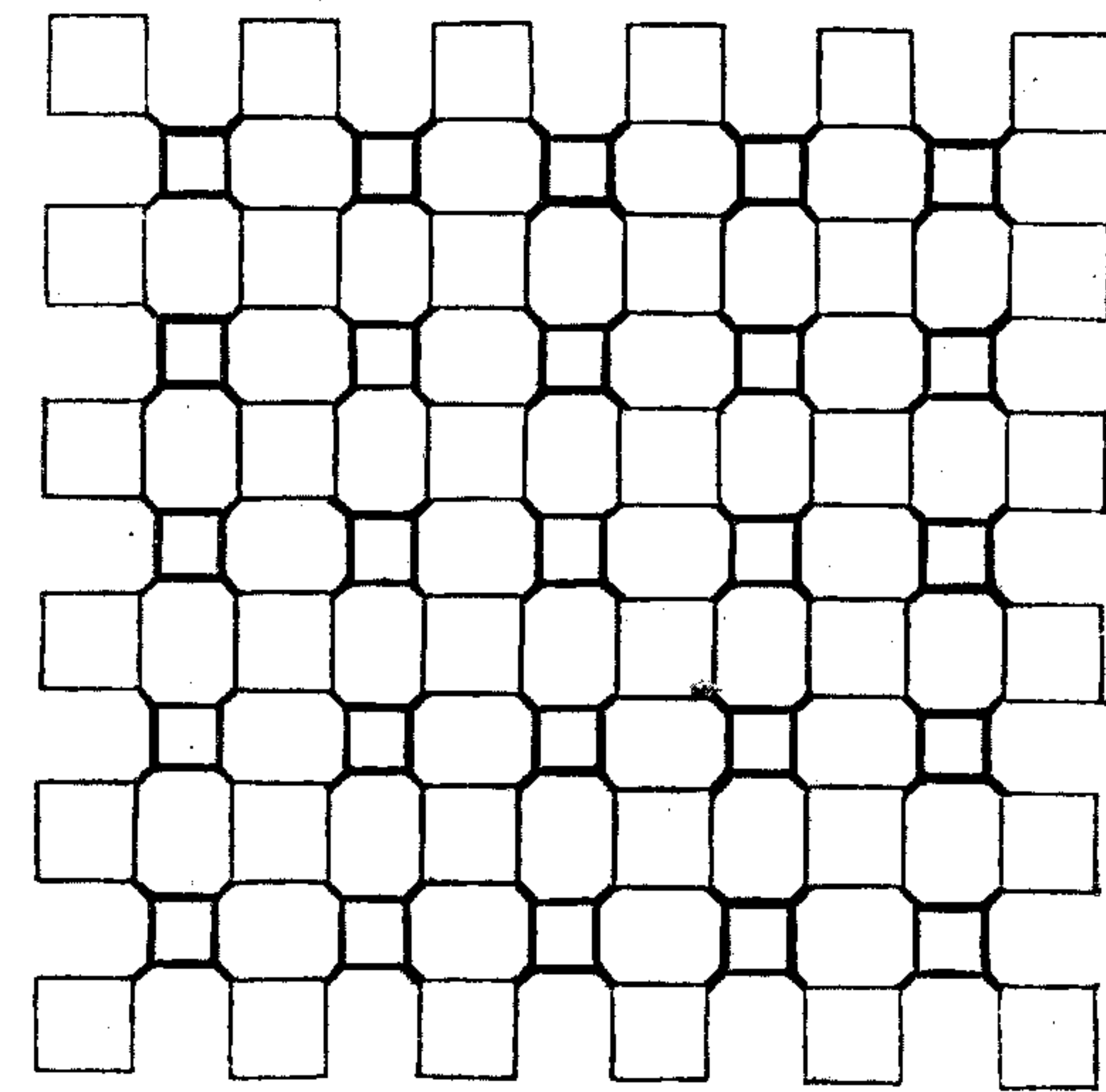


Рис. 62.

уменьшеніе пропорціонально квадрату растяженія, такъ что, выражаясь языкомъ безконечно-малыхъ величинъ, мы можемъ сказать, что площадь не измѣнилась. Слѣд., постоянство периметра каждой изъ этихъ фигуръ ведетъ за собой и вызываетъ условіе приблизительнаго постоянства площади. Такимъ образомъ, въ этомъ остовѣ мы имѣемъ, въ двухъ измѣреніяхъ, работающую модель среды, неизмѣняемой по площади, но легко растяжимой въ любомъ направленіи, если только вы дадите ей пропорціонально стянуться въ направленіи перпендикулярномъ.

«Помѣстимъ теперь въ каждый изъ этихъ квадратовъ по

гиростату (рис. 63),—и у васъ будетъ все, что требуется для того, чтобы осуществить то странное,—почти непостижимое,—условіе для механической модели электромагнитной индукціи въ желѣзѣ, которое я вамъ указалъ. Я сейчасъ сдѣлаю опытъ, иллюстрирующій это свойство, если только это не займетъ слишкомъ много времени (*сэръ В. Томсонъ пустилъ тогда гиростатъ*). Я вращаю по азимуту квадратную раму, за которую я держу этотъ гиростатъ, сначала въ одномъ направленіи, и тогда красный конецъ подставки оси махового колеса поднимается вверхъ; я вращаю въ другомъ направленіи,—

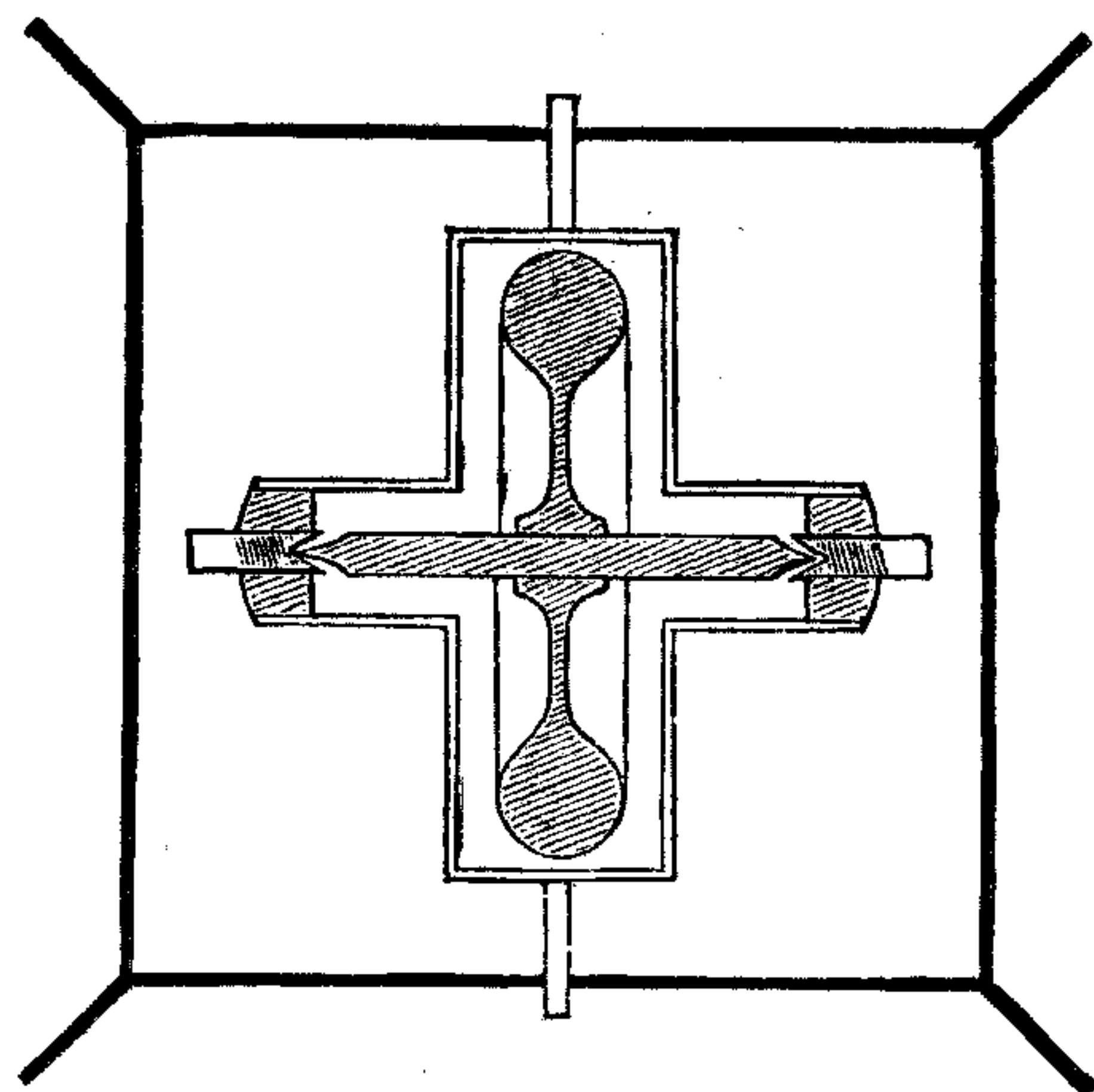


Рис. 63.

и вверхъ поднимается синій конецъ. Гиростатъ укрѣпленъ, какъ вы видите, въ квадратной рамкѣ, которую я держу въ рукѣ. Крѣпкая коробка, несущая ось махового колеса, можетъ, какъ вы видите, свободно вращаться вокругъ оси этихъ цапфъ укрѣпленной горизонтально въ подставкахъ на противоположныхъ сторонахъ квадратной рамы, которую я держу въ рукѣ. Ось этихъ цапфъ перпендикулярна къ оси махового колеса. Я долженъ все время идти кругомъ направо, чтобы удерживать красный конецъ въ верхнемъ положеніи; я пойду кругомъ налево,—и синій конецъ держится наверху. Это любопытный

и интересный опытъ. Вотъ три маленькихъ предмета на подносѣ, такъ сказать. Представьте себѣ, что это подносъ официанта съ рюмками, наполненными виномъ, которыя представлены этими каучуковыми пробками. Пока я, даже настолько медленно, поворачиваюсь налево, все идетъ благополучно; если я иду прямо впередъ, дѣло сомнительно; но, если я повернусь на бесконечно-малый уголъ направо, подносъ опрокидывается и все падаетъ съ него.

«22. Взгляните теперь на нашъ гиростатъ, находящійся въ покоѣ и опирающійся въ этомъ положеніи на свои цапфы, причемъ оси цапфъ и махового колеса обѣ горизонтальны въ настоящее время. Внешнюю квадратную раму, повидимому, нельзя сдвинуть по азимуту. Когда я прилагаю пару силъ, стремящуюся сдвинуть ее по азимуту, она остается неподвижной. Она не движется по азимуту, пока гиростатъ поворачиваетъ вокругъ ось своихъ цапфъ и стремится поставить ось махового колеса перпендикулярно къ плоскости, въ которой я теперь пытаюсь сдвинуть квадратную рамку. И, чтобы перевести гиростатъ изъ положенія, при которомъ синій конецъ находится наверху, въ положеніе, при которомъ наверху находится красный конецъ, я долженъ приложить такую пару силъ, которой интегралъ по времени равенъ удвоенному моменту количества движенія махового колеса.

«23. Эта закрытая латунная коробка, заключающая въ себѣ быстро вращающееся маховое колесо, укрѣпленное на оси внутри ея, называется гиростатомъ¹⁾, потому что благодаря вращенію она стоитъ, какъ бы вы ее ни помѣстили, ставя любымъ краемъ на твердый, гладкій столъ. Вы видите, я ставлю ее, какъ хочу, и она не падаетъ. Если я помѣщаю ее такъ, что ея центръ тяжести находится надъ точкой опоры, она стоитъ въ покоѣ. Если же ея центръ находится выше точки опоры, но *не* на проходящей черезъ нее вертикальной линіи, то она вращается по азимуту, *но не падаетъ*.

«24. Теперь вообразите, что въ каждомъ изъ крѣпкихъ

¹⁾ (См. прим. 1 стр. 325.)

квадратовъ этой ткани укрѣпленъ гиростатъ, точно такъ, какъ этотъ гиростатъ въ той квадратной рамѣ, которую я держу въ рукахъ. Если скорость вращенія маховыхъ колесъ будетъ достаточно велика, то каждый изъ этихъ крѣпкихъ квадратовъ практически нельзя сдвинуть по азимуту. Я не говорю, что его вовсе нельзя сдвинуть, но я говорю, что вы можете сдѣлать, чтобы его практически нельзя было сдвинуть,—дѣлая скорость махового колеса достаточно большой.

«25. Такимъ образомъ мы получили остовъ модели особеннаго упругаго твердаго тѣла со строеніемъ, крѣпость котораго опредѣляется существеннымъ образомъ гиростатическими дѣйствіями. И не думайте, что строеніе такого рода, какъ оно ни грубо, будетъ непремѣнно не поучительно. Посмотрите на строеніе живыхъ существъ, посмотрите на все то, что намъ нужно объяснить въ электричествѣ и магнетизмѣ,—и допустите, по крайней мѣрѣ, что послѣднія молекулы проводниковъ, непроводниковъ, магнитныхъ и немагнитныхъ тѣлъ должны имѣть нѣкотораго рода строеніе, которымъ бы объяснялись ихъ чудесныя свойства, извѣстныя намъ теперь, но не объясненныя. Мы не можемъ предположить, что вся мертвая матерія безформенна, пуста и лишена всякаго строенія; ея молекулы должны имѣть нѣкоторый видъ; онѣ должны стоять въ нѣкоторомъ отношеніи другъ къ другу.

«26. Итакъ я не признаю, что, если при помощи модели, какъ бы она ни была груба и неудобноисполнима, мы показываемъ, что можно воспроизвести такое строеніе, которое соответствуетъ несжимаемой и лишенной тренія жидкости, когда въ немъ нѣтъ никакихъ гиростатическихъ приспособленій, и которое пріобрѣтаетъ особенную вращательную упругость или крѣпость, какъ слѣдствіе введенія въ эти квадраты гиростатовъ,—то это будетъ простой игрой въ теорію, а не средствомъ, помогающимъ нашему разуму представлять себѣ различныя возможности. Вообразите соответственную модель въ пространствѣ трехъ измѣреній, съ крѣпкими кубами вмѣсто крѣпкихъ квадратовъ, которые вы видите въ находящейся предъ вами модели. Вмѣсто безконечныхъ веревокъ, которыя вы видите,

вы можете представить себѣ упругія нити, натянутыя между сосѣдними углами кубовъ. Въ каждомъ кубѣ укрѣплено три гиростата, оси цапфъ которыхъ перпендикулярны къ тремъ парамъ граней куба. Устроенное такимъ образомъ гиростатическое управленіе заставляеть кубы быть практически неподвижными для вращеній, но оставляетъ имъ полную свободу поступательнаго движенія. Вы, слѣд., имѣете здѣсь тѣло, которое вы не могли бы отличить отъ обыкновеннаго упругаго твердаго тѣла по отношенію къ какой угодно деформации безъ вращенія или по отношенію къ поступательному движенію всего тѣла, но которое, если вы попытаете повернуть его, окажетъ сопротивленіе этому. Оно не будетъ неподвижно по отношенію къ вращенію, но оно будетъ уравниваться постоянной парой силъ при постоянномъ вращательномъ смѣщеніи. Такимъ образомъ дѣйствіе постоянной силы на это твердое тѣло будетъ состоять не въ произведеніи постояннаго вращенія, а въ произведеніи и уравниваніи нѣкотораго постояннаго смѣщенія; и это равновѣсіе можетъ длиться сколь угодно долгое время, если только моментъ вращенія маховыхъ колесъ достаточно великъ.

«27. Теперь, на послѣдокъ, я вкратцѣ объясню только, что эта вращательная крѣпость эфира должна быть равна въ мѣди и всѣхъ другихъ немагнитныхъ металлахъ и въ воздухѣ и другихъ непроводникахъ, но что она должна быть очень значительно меньше въ желѣзѣ. Эти условія соответствуютъ какъ разъ тому, что намъ требуется для состоянія эфира между воздухомъ и желѣзомъ внутри катушки электромагнита¹⁾. Но увы! это только приводитъ насъ къ неразрѣшимымъ затрудненіямъ. Насколько же наше упругое твердое тѣло приближается къ объясненію явленій, когда самъ основной фактъ тѣхъ относительныхъ движеній, которыми обнаруживаются для насъ электромагнитныя силы, даетъ силу (подобную силѣ деформированнаго твердаго тѣла) между тѣлами,—магнитами

¹⁾ См. ст. XCIX, Прибавленіе III, § 45, стр. 342—344.

(Прим. автора).

или проводниками,—движенія которыхъ обнаружили Эрстеду и Амперу существованіе электромагнитной силы? Почему же эти деформации не уравниваются просто другъ друга въ твердомъ тѣлѣ? Какъ можетъ существовать твердое тѣло, могущее породить то удивительное состояніе, которое мы имѣемъ въ воздухѣ между полюсами электромагнита,—такое, напр., что кусокъ мѣди будетъ падать черезъ этотъ воздухъ со скоростью, можетъ быть, четверти сантиметра въ секунду? Взгляните на этотъ предметъ глазами инженеровъ и подумайте о «сопротивленіи матерьяловъ», требующемся для эфира въ воздухѣ, молекулы котораго проскакиваютъ сквозь него во всѣхъ направленіяхъ со скоростями, равными, въ среднемъ, метрамъ 500 въ секунду, или бѣльшими, или меньшими этой величины, смотря по температурѣ. И подумайте о доходящихъ до 110 килограммовъ вѣса на квадратный сантиметръ силахъ, съ которыми влекутся другъ къ другу два желѣзныхъ стержня, намагниченныхъ до 1,700 *C. G. S.* единицъ, съ основаніями, раздѣленными тонкимъ слоемъ воздуха, и съ 46,000 *C. G. S.* единицъ магнитной силы, которыя наблюдалъ Юингъ въ воздухѣ, окружающемъ эти стержни. Какъ можетъ быть, чтобы эти чудесныя силы проявлялись въ эфирѣ, упругомъ твердомъ тѣлѣ, и вмѣстѣ съ тѣмъ вѣсомыя тѣла могли вполнѣ свободно двигаться черезъ это твердое тѣло? Я скажу просто, что всѣ попытки обсудить этотъ предметъ дали намъ только механическую теорію одной части его. Я совершенно—не игнорировалъ, потому что я раза два-три говорилъ объ этомъ,—но оставлялъ въ сторонѣ, электростатическую часть, — то, что было извѣстно раньше всего. Электростатика была нашей первой страстью. Мы теперь совершенно оставили ее въ сторонѣ; мы не касаемся ея. Мы не приближаемся къ объясненію взаимодѣйствія между двумя наэлектризованными тѣлами ни въ одной изъ этихъ иллюстрацій или попытокъ объясненій; мы даже не приближаемся къ объясненію взаимнаго притяженія между желѣзомъ электромагнита или сталью постоянного магнита и его арматурой; мы не приближаемся къ объясненію возможности движениій тѣлъ, которыми обнаруживаются эти силы. Мы только пы-

таемся объяснить для находящейся въ покоѣ системы проводниковъ и изоляторовъ переменное распредѣленіе электрическихъ токовъ, въ существованіи которыхъ мы убѣждаемся изъ математической теоріи и экспериментальныхъ наблюденій.

«28. А теперь, я боюсь, я долженъ закончить признаніемъ, что трудности на пути составленія чего нибудь вродѣ понятной теоріи такъ велики, что мы не можемъ даже представить себѣ руку съ указательнымъ перстомъ, указывающимъ на путь, который могъ бы привести насъ къ объясненію. Я не выражаюсь слишкомъ сильно. Я только говорю, что мы теперь не можемъ вообразить это. Но черезъ годъ,—черезъ десять лѣтъ,—черезъ сто лѣтъ,—это, вѣроятно, будетъ такъ же легко, какъ намъ теперь кажется легко понять стаканъ воды, который намъ кажется такимъ яснымъ и простымъ. Я не сомнѣваюсь, что эти вещи, которыя теперь кажутся намъ такими танственными, не будутъ вовсе тайнами; что чешуя спадетъ у насъ съ глазъ; что мы научимся смотрѣть на вещи другимъ образомъ,—и что тогда то, что теперь представляется трудностью, будетъ лишь здравомысленнымъ и понятнымъ взглядомъ на предметъ.

«Я прошу васъ извинить меня, что я привелъ васъ къ заключенію о столь дѣйствительномъ безсиліи нашемъ проникнуть сколько нибудь подъ поверхность того великаго предмета, который составляетъ область Института Электрическихъ Инженеровъ.

ПРИБАВЛЕНИЕ V.

О гиостатическомъ адинамическомъ строеніи для „эфира“.

(§ 1—6, C. R., 109, 453, 1889; § 7—15, Proc. Roy. Soc. Ed., 17 марта 1890; Math. Phys. Pap., 3, 466—472).

«1. Разсмотримъ двойное собраніе черныхъ и бѣлыхъ атомовъ, составленное слѣдующимъ образомъ: бѣлые атомы составляютъ правильное тетраэдрическое собраніе, какъ центры равныхъ сферъ, расположенныхъ въ кучи ядеръ, какъ можно болѣе плотныя; черные атомы составляютъ собраніе, подобное и параллельное, причемъ каждый изъ черныхъ атомовъ за-

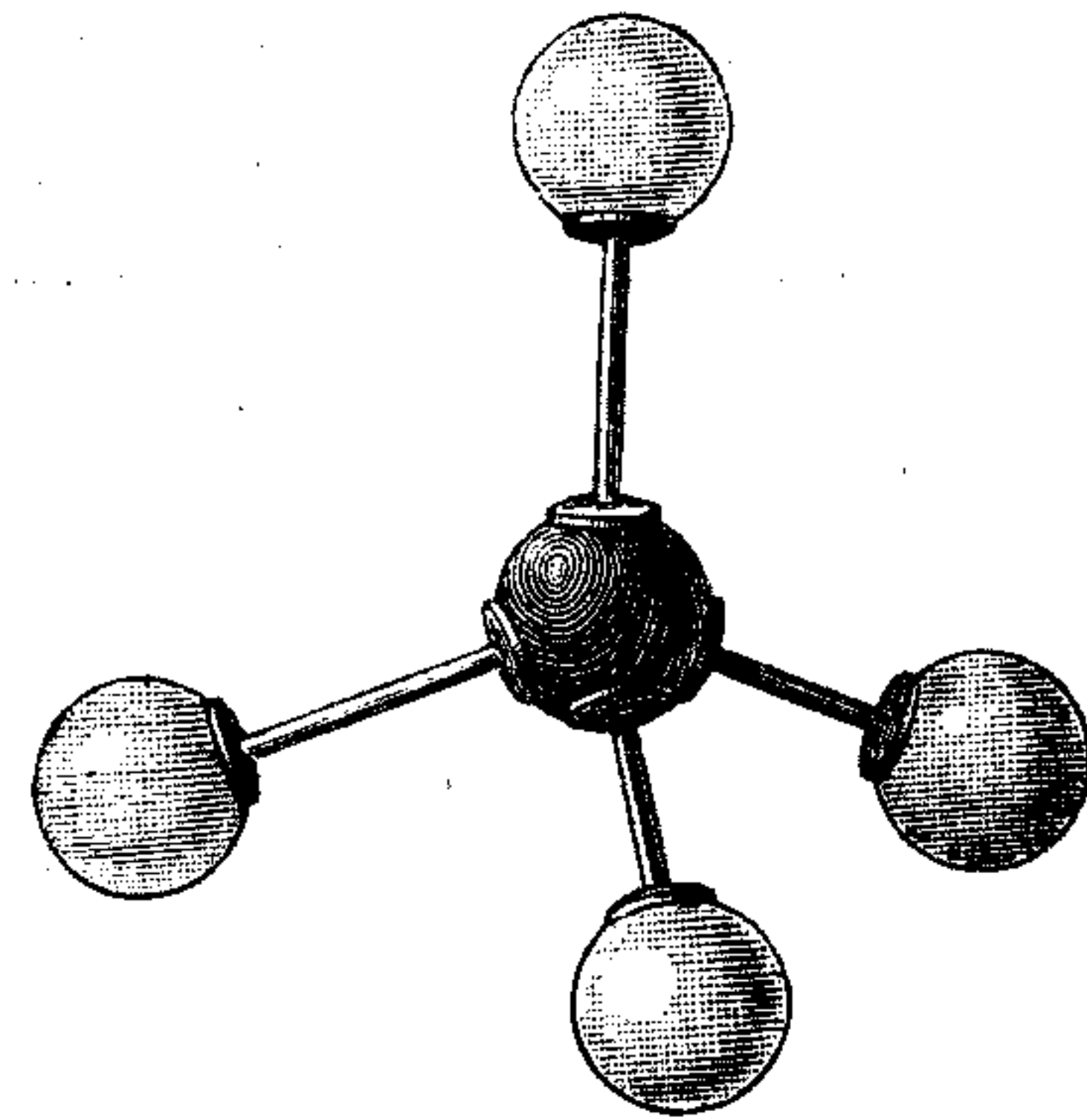


Рис. 64.

нимаетъ центръ тяжести тетраэдра сосѣднихъ бѣлыхъ атомовъ и обратно. Сдѣлаемъ равными нулю всѣ силы притяженія и отталкиванія между атомами. Соединимъ каждый черный атомъ съ сосѣднимъ бѣлымъ крѣпкимъ стержнемъ, какъ на небольшой модели, изображенной на рис. 64. Мы получимъ, такимъ образомъ, четыре примыкающіе къ каждому черному атому и къ каж-

дому бѣлому атому стержня, составляющихъ между собой тупые углы, равные, каждый,

$$\pi - \arccos \frac{1}{3}.$$

«2. Положимъ, что каждый атомъ вмѣсто точки представляетъ собой небольшую сферу; что каждый стержень снабженъ, на концахъ, сферическими чашками, которыя накрѣпко къ нему прикрѣплены и опираются на поверхность сферъ такъ, что онѣ могутъ свободно скользить по этимъ поверхностямъ, но не могутъ сойти съ нихъ. Мы бы осуществили такимъ образомъ молекулярное суставчатое строеніе, которое, въ массѣ, составляетъ quasi совершенную и несжимаемую жидкость. Но деформации должны быть бесконечно-малыми; а такія деформации вызываютъ пропорціональныя ихъ квадратамъ уменьшенія объема,—т. е. бесконечно-малыя второго порядка, которыми мы пренебрегаемъ. Вслѣдствіе этого ограниченія мы и не получаемъ совершенной и несжимаемой жидкости безъ наименованія «quasi». Но это ограниченіе не измѣняетъ ни въ чемъ совершенства нашего эфира по отношенію къ его способности передавать свѣтотыя волны.

«3. Теперь, чтобы придать нашему строенію ту quasi упругость, которая нужна ему для совершенія колебаній, составляющихъ свѣтотыя волны, прикрѣпимъ къ каждому стержню двойной гиостатической приборъ, состоящій изъ двухъ гиоскоповъ Фуко, установленныхъ по нижеслѣдующимъ указаніямъ.

«4. Вмѣсто простого стержня, возьмемъ стержень, центральная часть котораго, на протяженіи, напр., трети его длины, состоитъ изъ двухъ колецъ, плоскости которыхъ взаимно перпендикулярны, причемъ центръ и одинъ изъ діаметровъ каждого кольца находятся на оси этого стержня. Примемъ эти два кольца за внѣшнія кольца гиоскоповъ (рис. 63) и поставимъ оси внутреннихъ колецъ перпендикулярно къ оси стержня. Помѣстимъ, далѣе, внутреннія кольца такъ, чтобы ихъ плоскости лежали въ плоскостяхъ внѣшнихъ колецъ и чтобы, слѣдовательно, оси ихъ маховыхъ колецъ лежали по оси стержня. Придадимъ этимъ двумъ маховымъ колесамъ скорости вращенія, равныя, но противоположнаго направленія.

«5. Построенный такимъ образомъ (т. е. такимъ образомъ построенный и такимъ образомъ приведенный въ движеніе) двойной гиостатической приборъ обладаетъ тѣмъ особеннымъ

свойствомъ, что для того, чтобы удерживать стержень въ покоѣ въ нѣкоторомъ положеніи, наклоненномъ къ первоначально данному направленію его, нужно приложить въ плоскости, заключающей въ себѣ ось стержня, пару Пуансо. Моментъ этой пары, L , остается замѣтно постояннымъ, пока оси маховыхъ колесъ не повернулись на значительный уголъ по отношенію къ ихъ первоначальному направленію по оси стержня; величину этого момента даетъ слѣдующая формула, которую легко вывести изъ теоріи гироскопа,—а именно

$$L = \frac{(mk^2\omega)^2}{\mu} i,$$

гдѣ i означаетъ уголъ,—предполагаемый безконечно-малымъ,— между направленіемъ стержня въ его смѣщенномъ положеніи и въ его первоначальномъ положеніи, m —масса одного изъ маховыхъ колесъ, mk^2 —его моментъ инерціи, ω —его угловая скорость, а μ —моментъ инерціи, относительно оси цапфъ внутренняго кольца, всей массы (кольца и маховыхъ колесъ), которую эти цапфы поддерживаютъ.

«6. Наше суставчатое строеніе со стержнями между черными и бѣлыми атомами, снабженными гиростатическими приборами, болѣе не представляется лишеннымъ, какъ прежде, крѣпости,—а обладаетъ теперь совершенно особенной крѣпостью, не похожей на крѣпость обыкновенныхъ твердыхъ тѣлъ, силы упругости которыхъ зависятъ лишь отъ деформаций, ими претерпѣваемыхъ. Наоборотъ, его силы зависятъ прямо отъ абсолютныхъ вращеній стержней и зависятъ отъ деформаций только потому, что эти послѣднія суть кинематическія слѣдствія вращеній стержней. Это соотношеніе между quasi-упругими силами и абсолютнымъ вращеніемъ и есть именно то, какое намъ нужно для эфира,—въ особенности для объясненія явленій электродинамики и магнетизма.

«7. Хотя составленное такимъ образомъ строеніе имѣетъ нѣкоторый интересъ, какъ строеніе, показывающее особый родъ quasi-твердой упругости, зависящей отъ вращенія матеріи, кромѣ твердости и инерціи не имѣющей другихъ свойствъ, но

оно не удовлетворяетъ условіямъ § 14 статьи ХСІХ (Прибавленіе III). Деформація безъ вращенія вещества или строенія, разсматриваемаго, какъ однородное собраніе двойныхъ точекъ, непременно влечетъ за собой вращеніе нѣкоторыхъ изъ соединительныхъ стержней и требуетъ поэтому уравнивающихъ силовыхъ дѣйствій. Для «эфира» статьи ХСІХ не требуется никакихъ силовыхъ дѣйствій, чтобы вызвать какую либо деформацию безъ вращенія, и любое перемѣщеніе, будетъ ли оно просто вращательнымъ, или же вращательнымъ и деформационнымъ, требуетъ приложенія постоянной пары силы, прямо пропорціональной вращенію и вокругъ той же оси. Въ сообщеніи, сдѣланномъ мною годъ тому назадъ Королевскому Эдинбургскому Обществу, я поставилъ задачу построенія суставчатой модели съ гиростатическимъ управленіемъ, которая бы выполняла условія не имѣть крѣпости противъ деформаций безъ вращенія и противодѣйствовать вращенію или вращательной деформации quasi-упругими силовыми дѣйствіями, прямо пропорціональными вращенію. Я далъ рѣшеніе и иллюстрировалъ его моделью для случая точекъ, которыя находятся всѣ въ одной плоскости; но я не усматривалъ тогда никакого весьма простаго рѣшенія для трехъ измѣреній. Послѣ многихъ безплодныхъ усилій, я въ настоящее время нашелъ слѣдующее рѣшеніе.

«8. Возьмите шесть тонкихъ прямыхъ стержней и шесть прямыхъ трубокъ, всѣ одинаковой длины, причемъ внутренній діаметръ трубокъ какъ разъ равенъ внѣшнему діаметру стержней. Соедините всѣ двѣнадцать концами въ одной точкѣ P ; механически это можно было бы сдѣлать (но это не стоитъ дѣлать) при посредствѣ механизмовъ изъ шара съ двѣнадцатью чашечками; условіе, которое нужно выполнить, заключается просто въ томъ, чтобы оси шести стержней и шести трубокъ проходили всѣ чрезъ одну точку P . Сдѣлайте большое число такихъ пучковъ изъ шести трубокъ и шести стержней и, для начала, соедините ихъ концами такъ, чтобы они образовали равностороннее однородное собраніе точекъ P, P', \dots , присоединенныхъ каждая къ ея двѣнадцати ближайшимъ сосѣдямъ такъ, что

стержень отъ одной изъ нихъ скользитъ въ трубкѣ отъ другой. Это собраніе точекъ назовемъ нашимъ первоначальнымъ собраніемъ. Эти механическія соединенія между точками не налагаютъ на нихъ никакого стѣсненія: каждая точка собранія можетъ быть двинута произвольно въ любомъ направленіи, причемъ всѣ остальные останутся въ покоѣ. Эти механическія соединенія существуютъ только для того, чтобы снабдить насъ крѣпкими линиями, соединяющими эти точки, или, вѣрнѣе, крѣпкими цилиндрическими поверхностями, оси которыхъ расположены по соединительнымъ линиямъ. Сдѣлайте далѣе крѣпкую раму G (рис. 65) изъ трехъ стержней, скрѣпленныхъ перпендикулярно другъ къ другу въ одной точкѣ O . Помѣстите ее такъ, чтобы три стержня ея прикасались къ тремъ парамъ крѣпкихъ сторонъ какое нибудь тетраэдра

$$(PP', P''P'''), (PP'', P'''P'), (PP''', P''P')$$

въ нашемъ первоначальномъ собраніи. Помѣстите подобнымъ же образомъ подобныя крѣпкія рамы G, G', G'' и т. д. на ребра всѣхъ тетраэдровъ, соответствующихъ тому, который мы первый выбрали; центры этихъ рамъ образуютъ второе однородное собраніе, расположенное такъ по отношенію къ точкамъ P , какъ бѣлые атомы по отношенію къ чернымъ (§ 1).

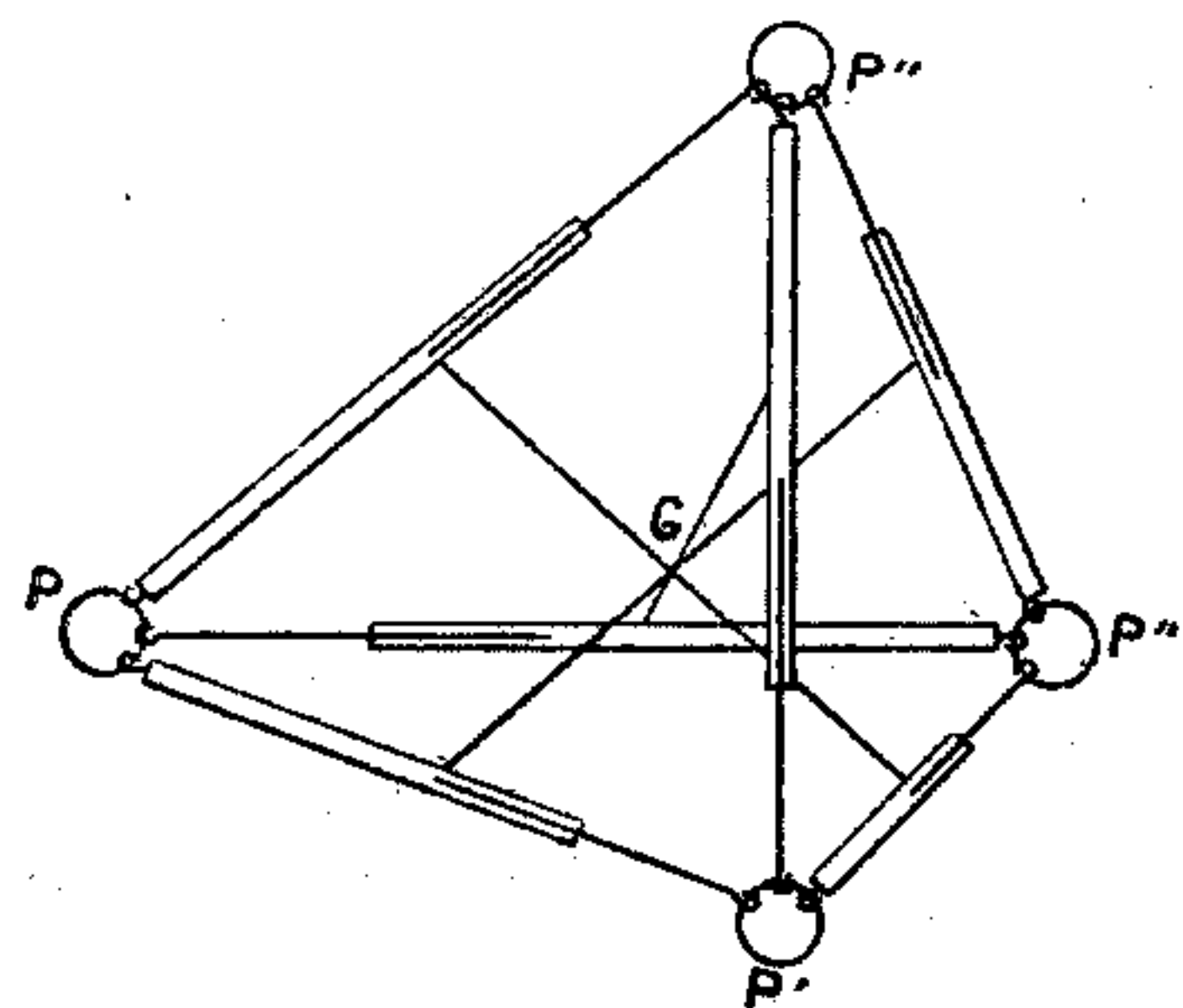


Рис. 65

«9. Положеніе этой рамы G , т. е. направленіе ея стержней и положеніе ея центра (шесть величинъ, которыми можно располагать), вполне опредѣляется четырьмя точками P, P', P'' и P''' (Томсонъ и Тэтъ, *Natural Philosophy*, § 198). Если бы ея стержни могли оторваться отъ трехъ паръ реберъ тетраэдровъ, то мы могли бы выбрать за шесть координатъ рамы шесть разстояній трехъ стержней отъ трехъ паръ реберъ; но мы предполагаемъ, что они связаны условіемъ оста-

ваться въ соприкосновеніи съ ними. И если теперь какая нибудь изъ точекъ P, P', P'', P''' или всѣ они будутъ какимъ либо образомъ сдвинуты, положеніе рамы G всегда вполне опредѣлено. Это иллюстрируется моделью, сопровождающей настоящее сообщеніе и изображающей одинъ тетраэдръ первоначального собранія и одну раму G . Ребра тетраэдра сдѣланы изъ мѣдныхъ проволокъ, скользящихъ въ стеклянныхъ трубкахъ. Проволоки и трубки снабжены, каждая, скобочкой, черезъ которую проходитъ кольцо, удерживающее три конца вмѣстѣ на углахъ. На два изъ этихъ колецъ такимъ образомъ надѣто на каждое по двѣ стеклянныхъ трубки и одной мѣдной проволоки, а на другіе два—по двѣ мѣдныхъ проволоки и одной стеклянной трубкѣ.

«10. Возвратимся теперь къ нашему сложному собранію. Пусть оно будетъ смѣщено натяженіемъ всѣхъ реберъ, параллельныхъ PP' , безъ вращенія реберъ PP' или $P''P'''$. Это будетъ однородной деформаціей безъ вращенія этого первоначального собранія. Рамы G, G', \dots испытываютъ лишь поступательныя движенія безъ всякаго вращенія, въ чемъ мы легко убѣждаемся, обращая наше вниманіе на G и тетраэдръ $PP', P''P'''$. Разсмотрите такимъ же образомъ пять другихъ перемѣщеній, производимыхъ вытягиваніемъ, параллельнымъ пяти другимъ ребрамъ тетраэдра. Какая угодно бесконечно-малая однородная деформація первоначального собранія (§ 8) можетъ быть опредѣленнымъ образомъ разложена на шесть такихъ простыхъ вытягиваній и всякія бесконечно-малыя вращательныя деформаціи могутъ быть произведены наложеніемъ нѣкотораго вращенія безъ деформаціи на эту деформацію безъ вращенія. Отсюда слѣдуетъ, что бесконечно-малая однородная деформація первоначального собранія безъ вращенія производитъ только поступательное движеніе, безъ вращенія, рамъ G ; и какое бы то ни было бесконечно-малое однородное смѣщеніе первоначального собранія производитъ вращеніе каждой рамы, равное вращательной составляющей этого смѣщенія и направленное по той же оси.

«11. Теперь остается только придать рамамъ устойчивость

по отношенію къ вращенію. Это можно сдѣлать, помѣстивъ подходящимъ образомъ на нихъ гиростаты, на основаніи принциповъ, изложенныхъ выше въ §§ 3—5 и въ §§ 21—26 статьи СII (Прибавленіе IV). Достаточно было бы трехъ гиростатовъ, но для симметріи и для уничтоженія всякаго окончательнаго момента количествъ движенія всѣхъ вращающихся частей, помѣщенныхъ на одной рамѣ, можно взять ихъ двѣнадцать. Въмѣсто обыкновенныхъ гиростатовъ съ крѣпкими маховыми колесами мы можемъ взять жидкіе гиростаты, какъ описано ниже (§ 12), и сдѣлать такимъ образомъ небольшой шагъ по направленію къ уничтоженію грубаго механизма маховыхъ колесъ и осей и цапфъ съ масломъ, но я выбираю теперь жидкій гиростатъ только потому, что его легче описать.

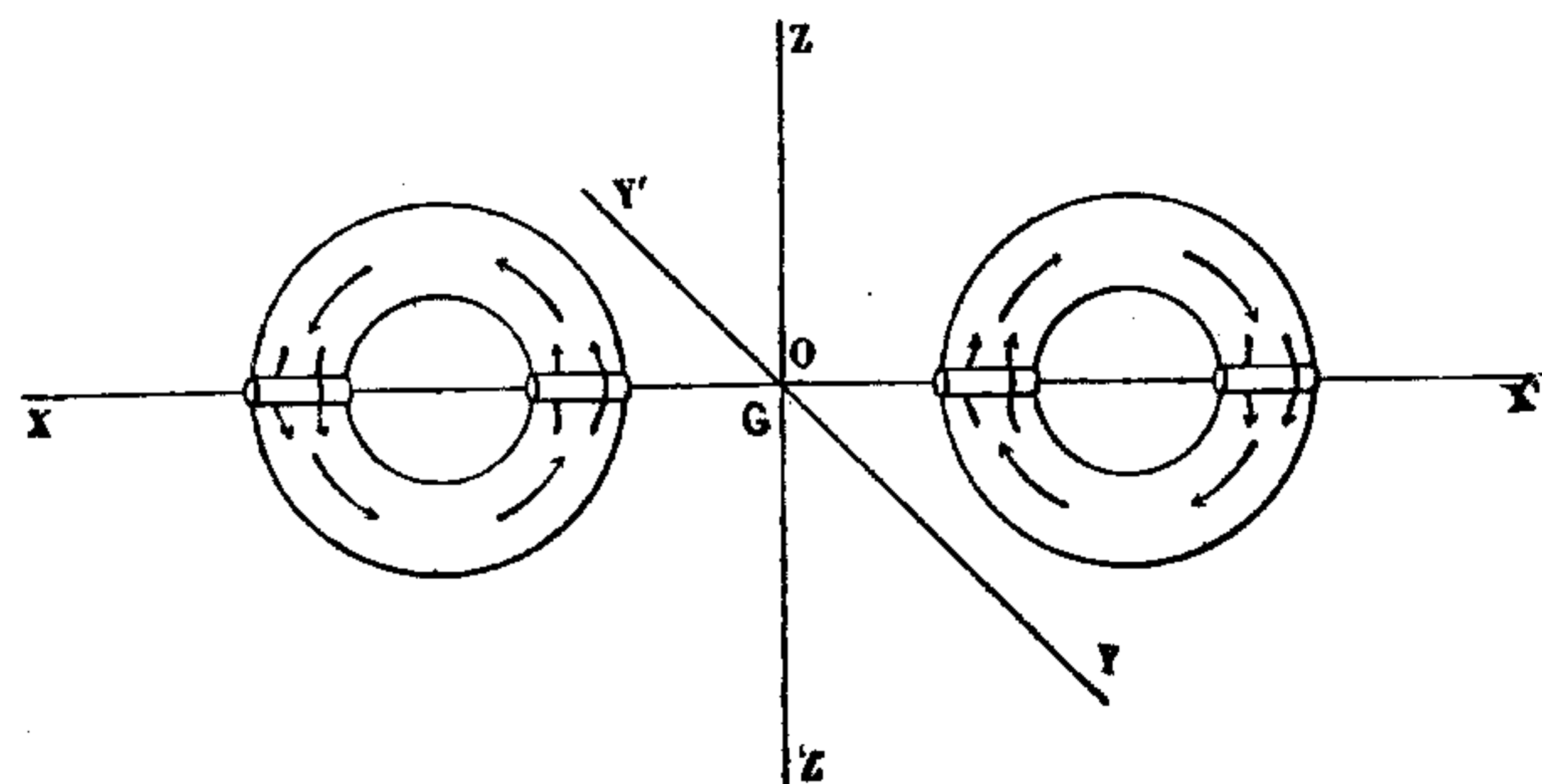


Рис. 66.

«12. Вообразите пустое якорное кольцо или торъ, т. е. бесконечную круговую трубку съ круговымъ сѣченіемъ. Просверлите его по діаметру и укрѣпите тамъ трубки, чтобы закрыть просверленные отверстія, какъ показано на рис. 66. Наполните его жидкостью, лишенной тренія, и дайте этой жидкости круговое движеніе безъ вращенія ¹⁾, какъ показано стрѣлками на рисункѣ. Это устройство представляетъ гидрокINETическую замѣну нашего механическаго махового колеса.

¹⁾ Для этого линейная скорость жидкости должна быть обратно пропорціональна разстоянію отъ оси вращенія тора.

[М. Бриллюэнъ].

Укрѣпите его на твердомъ стержнѣ, проходящемъ черезъ діаметральныя отверстія, и оно станетъ закрѣпленнымъ гиростатомъ или гироскопомъ Фуко, требующимся для нашей модели. Обратившись обратно къ § 3—4, мы увидимъ, насколько его употребленіе могло упростить и сократить данныя тамъ описанія, которыя были однако нарочно даны такъ, какъ есть, потому что они описываютъ дѣйствительный механизмъ, который практически осуществляетъ требованія, предъявляемыя нашей модели, очень интереснымъ и поучительнымъ образомъ, какъ можно видѣть изъ §§ 21—23 статьи СII (Прибавленіе IV).

«13. Пусть XOX' , YOY' , ZOZ' будутъ три стержня рамы G . Помѣстите на каждый изъ нихъ по четыре нашихъ жидкихъ гиростата, расположивъ ихъ на XOX' такъ, какъ сейчасъ будетъ описано, и соответственнымъ образомъ на остальныхъ стержняхъ. Изъ четырехъ колець, расположенныхъ на XOX' , два нужно помѣстить въ плоскости YOY' , XOX' , а другіе два въ плоскости ZOZ' , XOX' . Круговыя движенія жидкости должны быть противоположно направлены въ каждой парѣ.

«14. Примѣняя гиростатическій принципъ, изложенный выше въ § 5, къ нашей рамѣ G , съ двѣнадцатью жидкими гиростатами, прикрѣпленными такимъ образомъ на ней, мы увидимъ, что, если, изъ положенія, въ которомъ она дана, со всѣми кольцами въ покоѣ, повернуть ее на бесконечно-малый уголъ i вокругъ какой нибудь оси, то для того, чтобы удержать ее въ покоѣ въ этомъ измѣненномъ положеніи, требуется пара силъ, прямо пропорціональная i , и что эта пара остается почти постоянной, пока плоскости всѣхъ гиростатовъ отклоняются лишь на очень небольшіе углы отъ параллельности своимъ первоначальнымъ направленіямъ. Итакъ, съ этимъ ограниченіемъ по отношенію ко времени, наше первоначальное однородное собраніе точекъ, контролируемое управляемыми гиростатами рамами $G, G' \dots$, точно выполняетъ условія, поставленныя въ § 14 статьи XCIX (Прибавленіе III). Если скорость движенія жидкости въ каждомъ гиростатѣ бесконечно-велика, система оказываетъ бесконечное сопротивленіе вращенію вокругъ любой оси; и если стержни и трубки, составляющіе ребра тетра-

эдра и стержни рамы G , всё совершенно крѣпки, то первоначальное собраніе неспособно на вращеніе или на вращательную деформацию; но, если ребра тетраэдра или стержни рамы G , или всё они, хоть немного упруго поддаются гнутію, то первоначальное собраніе выполняетъ условія, опредѣляющія гиростатическую крѣпость § 14 статьи ХСІХ, безъ всякаго ограниченія по отношенію ко времени, т. е. съ совершенной длительною его quasi-упругой крѣпости.

«15. Однородное собраніе точекъ съ гиростатической quasi-крѣпостью, сообщаемой ему такъ, какъ описано въ §§ 8—14, передавало бы, если бы построить его въ достаточно маломъ масштабѣ, свѣтовые колебанія совершенно такъ, какъ передасть ихъ эфиръ въ природѣ: и оно было бы не способно передавать волны сгущенія и разрѣженія, потому что оно абсолютно свободно отъ сопротивленія сгущенію и разрѣженію. Оно представляетъ собой, на дѣлѣ, механическое осуществленіе той среды, къ которой я, полтора года тому назадъ, исходя изъ оригинальной теоріи Грина, пришелъ изъ чисто оптическихъ причинъ, для объясненія результатовъ наблюденій надъ преломленіемъ и отраженіемъ свѣта ¹⁾).

¹⁾ Phil. Mag., ноябрь 1838 ²⁾; Объ отраженіи и преломленіи свѣта, сэра В. Томсона [On the reflection and refraction of light].

(Прим. автора).

²⁾ 21, 414, 500.

(Прим. перев.).

ПРИБАВЛЕНІЕ VI.

Опроверженіе ученія Максвелля-Больтцманна, относящагося къ распредѣленію кинетической энергіи. Рѣшающій примѣръ.

Лорда Кельвина.

(Сэра В. Томсона).

[Proc. Roy. Soc., 51, 397, 28 апрѣля 1892].

«Ученіе, о которомъ идетъ рѣчь, есть то, которое было высказано Максвеллемъ въ слѣдующихъ словахъ:

«*Въ окончателномъ состояніи системы, средняя кинетическая энергія двухъ данныхъ частей системы будутъ относиться другъ къ другу, какъ числа степеней свободы этихъ двухъ частей (числа отдѣльныхъ геометрическихъ переменныхъ, необходимыхъ для опредѣленія ихъ формы)*». [О среднемъ распредѣленіи энергіи въ системѣ материальныхъ точекъ (Cambr. Phil. Soc. Trans., 6 мая 1878); перепечатано во II томѣ *Научныхъ работъ Максвелля*].

«Предположимъ, что система составлена изъ трехъ тѣлъ, A , B , C , могущихъ двигаться по одной и той же прямой KHL :

«Тѣло B колеблется подъ вліяніемъ пружины, достаточно крѣпкой, чтобы амплитуда колебаній оставалась небольшою, если даже случится, что тамъ скопится вся энергія системы;

«Тѣла A и C имѣютъ равныя массы;

«Тѣло C не подвержено вліянію никакихъ силъ, за исключеніемъ тѣхъ случаевъ, когда оно ударяетъ неподвижную стѣнку L или когда оно ударяетъ тѣло B или получаетъ отъ него ударъ;

«Тѣло A не подвержено вліянію никакихъ силъ, за исключеніемъ тѣхъ моментовъ, когда оно ударяетъ тѣло B или когда оно приближается къ неподвижной стѣнкѣ K ; послѣдняя оказываетъ нѣкоторое отталкивательное дѣйствіе, постоянное или не постоянное на всемъ промежуткѣ NK , но которое становится безконечно большимъ, когда тѣло A приближается безконечно близко къ этой стѣнкѣ.

«Положимъ, что всѣ эти тѣла движутся туда и обратно, *Соударенія между тѣломъ B и равными тѣлами A и C вызовутъ и будутъ поддерживать равенство средняго значенія кинетической энергіи тѣла A , измѣряемой или непосредственно до соударенія, или тотчасъ послѣ соударенія, и средней кинетической энергіи тѣла C .* Тогда, если принимать въ расчетъ время, проведенное тѣломъ A въ области NK , среднее значеніе суммы потенциальной и кинетической энергіи тѣла A равно средней кинетической энергіи тѣла C . Но потенциальная энергія тѣла A положительна во всѣхъ точкахъ пространства NK ; ибо, вслѣдствіе нашего предположенія объ отталкивательныхъ дѣйствіяхъ,

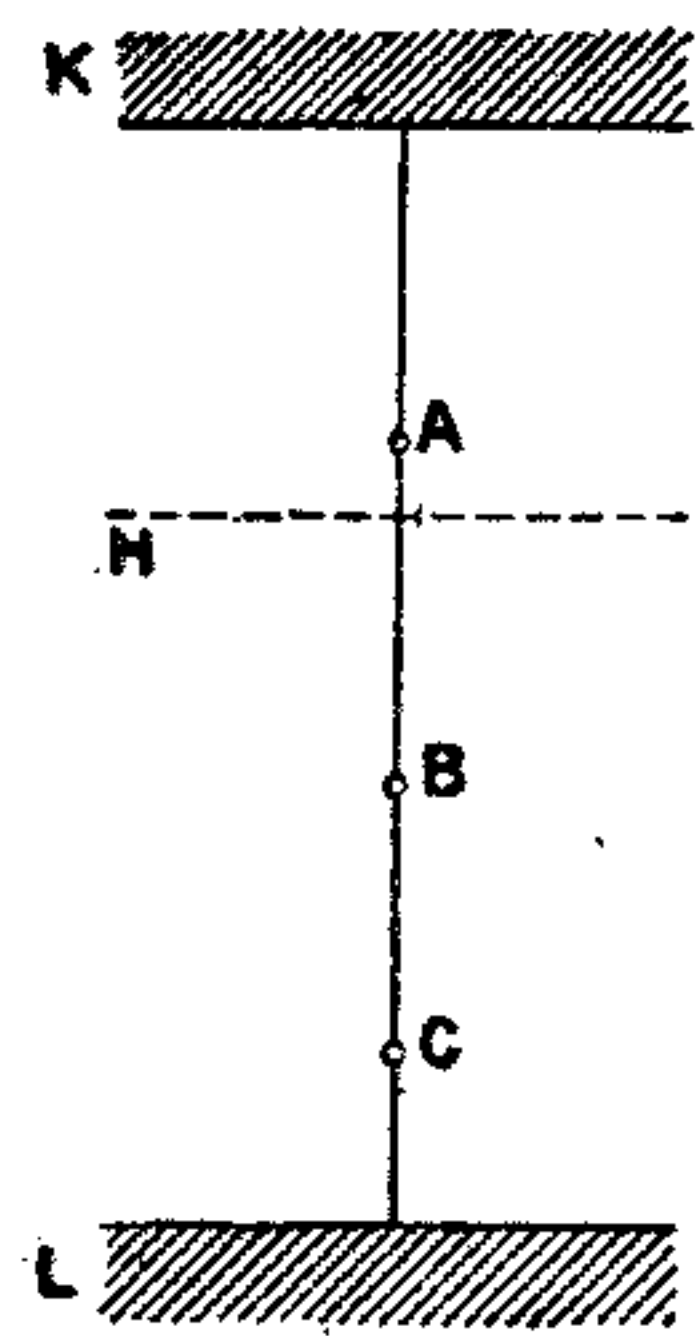


Рис. 67.

скорость тѣла A уменьшается въ то время, какъ движеніе направлено отъ N къ K , и увеличивается во время обратнаго движенія. Средняя кинетическая энергія тѣла A меньше, слѣд., средней кинетической энергіи тѣла C .

«Этотъ примѣръ очень характеристиченъ для теоріи температуры и соотвѣтствуетъ предположенію, что температура твердаго или жидкаго тѣла равна средней кинетической энергіи каждаго атома: это—гипотеза, которую Максвелль принималъ за слѣдствіе его мнимой теоремы и которую, якобы установленную такимъ образомъ, всѣ разсматривали и несправедливо употребляли, какъ основное предположеніе Термодинамики.

«Только для газа, достаточно совершеннаго, т. е. для собранія молекулъ, каждая изъ которыхъ движется втеченіе сравнительно долгаго времени по линіи, достаточно прямой, и испытываетъ измѣненія въ направленіи и въ скорости вслѣдствіе ударовъ, чрезвычайно недолго длящихся, и только по отношенію къ кинетической энергіи *поступательныхъ* движеній молекулъ совершеннаго газа, температура равна средней кинетической энергіи каждой молекулы, какъ предполагали сначала Уатерстонъ, затѣмъ Джуль и какъ первый доказалъ Максвелль».

Я счелъ нужнымъ присоединить къ книгѣ эту самую послѣднюю замѣтку лорда Кельвина, относящуюся къ этому, столь интересному, вопросу о механическомъ опредѣленіи температуры. Въ настоящее время мнѣнія очень раздѣляются относительно этого важнаго предложенія Максвелля-Больцманна, самая формулировка котораго, безъ всякаго сомнѣнія, недостаточно точна по отношенію къ перечисленію необходимыхъ условій. Мы видимъ, что лордъ Кельвинъ становится рѣшительнымъ образомъ въ ряды ея противниковъ, а лордъ Рэлэй откладываетъ свое сужденіе, оставаясь скорѣе сочувствующимъ. Фраза, напечатанная здѣсь курсивомъ, кажется мнѣ немного быстрымъ заключеніемъ, и мнѣ не кажется очевиднымъ, что должно установиться нѣкоторое среднее постоянное состояніе, не зависящее отъ начальнаго состоянія. Предположимъ, дѣйствительно, что точка C будетъ въ покоѣ гдѣ нибудь между L и B , а точка A въ движеніи; можетъ установиться нѣкоторое постоянное состояніе, въ которомъ тѣло B будетъ болѣе или менѣе правильно колебаться вокругъ нѣкотораго средняго положенія, отличнаго отъ его положенія равновѣсія, и въ которомъ пружина, его поддерживающая, будетъ натянута подъ вліяніемъ одностороннихъ ударовъ, имъ испытываемыхъ. Это тѣло B не играетъ роли уравнивателя энергіи, которую приписываетъ ему лордъ Кельвинъ. Если эти двѣ точки A и C имѣютъ неравныя начальныя энергіи, но изъ условія постоянства мы получаемъ только, что пружина, поддерживающая тѣло B , натянется такимъ образомъ, чтобы величина отдѣльныхъ толчковъ могла быть неодинаковой и чтобы произведеніе числа ударовъ на среднюю живую силу въ моментъ удара получило опредѣленную величину для каждой изъ двухъ точекъ A и C .

Но можно сказать точнѣе: каково бы ни было начальное состояніе, можно всегда найти такое, соотвѣтствующее данному положенію стѣнки K , положенію стѣнки L , чтобы число ударовъ C и A о B было одно и то же и чтобы тѣло B колебалось около естественнаго

его положенія равновѣсія безъ *интѣи пружины* и играло роль свободнаго и проводящаго тепло поршня, находящагося между газообразной и жидкой массой. Тогда средняя кинетическая энергія тѣлъ *C* и *A* около *B* будетъ одинакова,—и вся остальная часть разсужденія лорда Кельвина остается въ силѣ и его заключенія нисколько не теряютъ своей убѣдительности.

Средній путь *A* очевидно короче средняго пути *C* и тѣмъ короче, чѣмъ болѣе область *НК* приближается къ *B* и чѣмъ энергичнѣе тамъ отталкивательная сила.

Что касается до меня, то я остаюсь при убѣжденіи, что опредѣленіе температуры, какъ количества энергіи, потенциальной или кинетической, полной или частной, одной обыкновенной матеріи представляется ошибочнымъ. Температура, опредѣляемая такимъ образомъ, будучи довольно просто связанной съ термодинамическими свойствами газовъ, не имѣетъ, повидимому, никакой связи съ условіями равновѣсія при излученіи въ пространство, свободное отъ матеріи. Въ этомъ послѣднемъ случаѣ, неизбѣжное вмѣшательство эфира привело г. Буссинеска къ совершенно иному опредѣленію температуры,—опредѣленію, которое очень мало извѣстно, но кажется мнѣ гораздо болѣе удовлетворительнымъ и плодотворнымъ: «для того, чтобы опредѣлить температуру въ какой нибудь точкѣ тѣла, вообразимъ, что мы удалимъ матерію вокругъ этой точки: температурой будетъ живая сила, на единицу объема, эфира пустоты, который занимаетъ эту выемку». Вотъ это опредѣленіе *температуры*, вполне удовлетворительное съ точки зрѣнія излученія, мнѣ казалось бы очень важнымъ дополнить и связать съ принципомъ Карно болѣе опредѣленно, чѣмъ сдѣлалъ это г. Буссинескъ ¹⁾.

[М. Бриллюэнъ].

Конецъ.

¹⁾ См. Буссинескъ. *Изслѣдованія принциповъ механики, молекулярнаго строенія тѣлъ и новой теоріи совершенныхъ газовъ* (Recherches sur les principes de la Mécanique, sur la Constitution moléculaire des corps et sur une nouvelle théorie des gaz parfaits, *Journal de Liouville*, 1873, 18, 337). «Можно назвать абсолютной температурой небольшого объема эфира половину живой силы, которой онъ обладаетъ при единицѣ массы, или количество, пропорціональное ей. Тѣло считается имѣющимъ нѣкоторую абсолютную температуру, когда его колебанія не увеличиваются и не уменьшаются при помѣщеніи его въ эфиръ, имѣющій ту же температуру».

См. также отчетъ Бриана о принципѣ Карно въ Rep. Brit. Ass., 1891, 85—122.

АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ.

Аберрація свѣта, 344, 347—348.

Абнэй [Abney], 202.

Абсолютная система единицъ, 60—68, 84—88.

Амперъ [Ampère], 55, 58, 59, 304, 356.

Ангстрёмъ [Ångström], 224 прим. 1, 248 прим. 1, 249 прим. 3, 250 прим. 2, 252 прим. 1, 254 прим. 2, 255 прим. 2, 259 прим. 1, 261 прим. 2, 265 прим. 1, 267 прим. 1, 268 прим. 1, 276 прим. 3.

Анизотропныя тѣла, 333—336.

Аномальная дисперсія, 319—325.

Атомическая теорія, 41, 43.

Атомы,

- » опредѣленіе размѣровъ атомовъ, основанное на волновой теоріи свѣта, 106—112, 121—122, 125—149.
- » капиллярномъ притяженіи, 116—121, 122—125.
- » кинетической теоріи газовъ, 149—152.
- » явленіяхъ электричества при соприкосновеніи, 112—115, 122—125.
- » величина ихъ, 48, 103—153.
- » разстояніе между ними, 48.

Ауэрбахъ [Auerbach], 55 прим. 1.

Баденъ Пауэлль [Baden Powell], 128 прим. 1 (129).

Баркеръ [Barker], 235.

Бернулли [Daniel Bernoulli], Даниилъ, 100, 155, 158.

Бетховенъ [Beethoven], глухота его, 185—186.

Бирмингэмъ [Birmingham], 58, 179, 191, 199, 390.

Блондло [Blondlot], 203 прим. 1.

Болль [Ball], 262 прим. 1, 285.

Болометръ, 222, 225.

Больцманъ [Boltzmann], 177, 178, 367, 369, 391.
 Босковичъ [Boscovich], 41, 161, 327, 329.
 Бостонъ [Boston], 157 прим. 1.
 Боттомлей [Bottomley, J. T.], Дж. Т., 156 прим. 2.
 Бойль [Robert Boyle], Робертъ, 100 прим. 1, 101, 155, 198.
 Бойсъ [Boys], 2 прим. 1, 27 прим. 1.
 Бравэ [Bravais], 329.
 Бранде [Brande], 121.
 Брайтъ [Sir Charles Bright], сэръ Чарльзъ. 62, 79, 89.
 Бриллюэнъ [M. Brillouin], М., VII, 319, 322 прим. 1 (323),
 325 прим. 2, 326, 331 прим. 1 (332), 337, 339 прим. 1 (340),
 347, 364 прим. 1, 370, 391.
 Британской ассоціаціи, единица, 61—62, 64—65, 93—94,
 312—313.
 » комитетъ для электрическихъ эталоновъ, 61,
 65, 84, 90, 92, 312.
 Брианъ [Bryan], 370 прим. 1.
 Брюстеръ [Sir David Brewster], сэръ Дэвидъ, 146 прим. 1 (147).
 Бунянъ [John Bunyan], Джонъ, «Врата Познанія», 179, 186, 189,
 199.
 Буссинескъ [Boussinesq], 319—370.
 Бутиньи [Boutigny], 14.
 Бэккерель [Edmond Becquerel], Эдмондъ, 148, 198.
 Бэйли [Baily], 72.
 Бунзенъ [Bunsen], 249.
 Варлэй [Cromwell F. Varley], Кромвэлль Ф., 40, 65, 183.
 «v» (отношеніе электростатической единицы къ электромагнитной
 единицѣ счета), 60, 79, 83—84, 88, 93, 309—311.
 Вашингтонъ [Washington], 281.
 Веберъ [Weber], 55, 59, 60, 62, 304, 305, 309, 310, 312.
 Взаимодѣйствіе сталкивающихся частицъ, 158—163, 174—175,
 328—329.
 Виоль [Violle], 322 прим. 1.
 Видманштеттенъ [Widmanstätten], 295 прим. 3 (296).
 Вильямсонъ [Williamson], 165.
 Вильсонъ [Dr. George Wilson], д-ръ Джоржъ, о чувствахъ, 179.
 Винеръ [Wiener], 122 прим. 1, 123 прим. 1.
 Вихревое движеніе, 167—177.
 Возрастъ солнечнаго тепла, 243—259.
 Волна, см. длина волны.
 Вольтовъ [Volta] конденсаторъ, 123, 124.
 Газы, диффузія ихъ, 156—157.

Газы, измѣненіе температуры съ давленіемъ, 281.
 » кинетическая теорія ихъ, 154—165.
 Гаррисъ [Sir Wm. Snow Harris], сэръ Вил. Сно, 301.
 Гартингъ [Harting], 136 прим. 1.
 Гауссъ [Gauss], 4, 5, 7, 55, 58, 59, 60, 65, 67, 304, 305.
 Гайдингеръ [Haidinger], 233.
 Гельмгольтцъ [Helmholtz], 175, 176, 193 прим. 1 (194), 203
 прим. 1, 251, 257, 262, 276.
 Генричи [Henrici], 191.
 Герцогъ Девоншайрскій [Duke of Devonshire], 300.
 Герцъ [Hertz], 55 прим. 1, 203 прим. 1.
 Гершель, [prof. A. S. Herschel], проф. А. С., 297.
 Гершель [Sir John Herschel], сэръ Джонъ, 146 прим. 1 (147),
 224, 248, 249, 263, 275, 293, 322 прим. 1.
 Геттингенское Магнитное Общество [Goettingen], 59.
 Гиккъ [Hicks], 175 прим. 1.
 Гильомъ [Guillaume], 27 прим. 1.
 Гиостатическій эфиръ, 336—346, 358—366.
 Гиостаты, 164—170, 325, 350—354, 359—361, 364—365.
 Глазго [Glasgow], I, IV, V, 35, 39, 66, 80 прим. 2, 191,
 248, 207, 295 прим. 1, 296, 314 прим. 1, 315, 389
 Гладстонъ [Gladstone], 135.
 Глазбрукъ [Glazebrooke], 319.
 Гоккинъ [Hockin], 65.
 Гоксби [Hawkesbee], 4.
 Голубое небо, цвѣтъ его, 238—240.
 » Тиндалля, 138—143, 240.
 Гопкинсъ [John Hopkins], Джонъ, 319, 391.
 Гопкинсонъ [Hopkinson], 135.
 Грагамъ [Graham], 45.
 Графическій способъ рѣшенія уравненія капиллярныхъ поверх-
 ностей, 20—25.
 Графическія изображенія и ихъ значеніе, 191—193.
 Гринъ [Green], 55, 166 прим. 1, 329, 333, 343, 366.
 Грэй [Gray], 60 прим. 3.
 Гунтеръ [Hunter], 295 прим. 1 (296).
 Гуттонъ [Hutton], 4 прим. 1.
 Гюйгенсъ [Huygens], построеніе для передней части волны, 127.
 Давленіе на поверхности жидкости, 11.
 Даниэль [Daniell], 57, 94, 123 прим. 2, 124.
 Дарвинъ [Darwin], 206, 253.
 Движеніе вихревое, 171—177.

- Движеніе, отталкивательное Дэви, 158, 161, 269, 277.
 Движенія, зависящія отъ капиллярности, 34 — 38, 39 — 41, 49—52.
 » камфары, 49—52,
 Девильтъ [Saint Clair Deville], Сенъ Клэръ, 164, 165.
 Девоншайрскій [Duke of Devonshire], герцогъ, 300.
 Деламбръ [Delambre], 74.
 Де Ла Рю [De La Rue], 146.
 Демокритъ [Democritus], 154.
 Демонъ-распределитель Максвелла, 96—99, 159, 160 прим. 1.
 Дженкинъ [Fleeming Jenkin], Флимингъ, 61 прим. 2, 91, 312.
 Жильбертъ [Gilbert], 1.
 Джуль [Joule], 55, 93, 94, 100, 114, 124 прим. 1, 155, 158, 159, 160, 254 прим. 1, 258, 313, 345, 369.
 » измѣреніе ома, 93—94, 312—313.
 Дисперсія, см. свѣторазсѣяніе и аномальная дисперсія.
 Диссоціація, 164—165.
 Диффракціонныя рѣшетки, 76—78, 138, 234—238.
 Диффузионныя способности, 156 прим. 2 и 4.
 Длина волны звука, 215—217.
 » свѣта, 106—108, 217—219, 222—224, 227, 234—238.
 » модель, изображающая ее, 108—111.
 » рисунки, изображающіе ее, 130—133.
 Дорнъ [Dorn], 64 прим. 1, 94 прим. 1.
 Дюбуа [Dubois], 206 прим. 1.
 Дѣлимость матеріи, 103—105.
 Дэви [Sir Humphry Davy], сэръ Гемфри, 157, 158, 161, 269, 277.
 Дэль [Dale], 135.
 Дьюаръ [Dewar], 100, 125, 156.
 Единица Британской Ассоціаціи, 61—62, 64—65, 312—313.
 » времени, 78—84.
 » длины, 74—78, 106.
 » массы и силы, въ системѣ всемірнаго тяготѣнія 66, 68—73.
 » проводимости, 89—93.
 » Сименса, 63—65, 78, 94, 311—312.
 » сопротивленія, 61—65, 78, 86—88, 93—95.
 Единицы, абсолютная система ихъ, 60—68, 84—85, 304—313.
 » воспроизведеніе ихъ, 74—84.
 » для электрическихъ измѣреній, 54—95.
 » Q. G. S., 85—86.

- Единицы, практическая система электрическихъ ед-цъ, 84—86.
 » C. G. S., 67—68, 73—86.
 Звукъ, 185—196, 212—218.
 » длина волны его, 215—217.
 » распространеніе его, 212—218.
 » частота колебаній въ немъ, 194—196, 213—216, 219—220.
 » сила въ его колебаніяхъ, 213, 227—228.
 » скорость его, 214.
 Зодіакальный свѣтъ, 246.
 Жамень [Jamin], 117 прим. 4 (118).
 Желе, 101, 108, 238—240, 336—345.
 Излученіе солнца, 248—255, 275—276.
 » » опредѣленіе Лэнгля, 276.
 » » опредѣленіе Пулье, 248—249, 258, 276.
 » » опредѣленіе Форбеса, 276.
 Изотропное тѣло, 326—327.
 Инерція, электромагнитная, 80—83.
 Исландскій шпатъ, 230—232.
 Камфара, движеніе ея по поверхности воды, 49—52.
 Кантъ [Kant], 257 прим. 2.
 Капиллярное притяженіе, 1—39.
 » работа, совершаемая имъ, 7—10.
 » молекулярная теорія его, 3—7.
 Капиллярныя поверхности, 15—16, 18—19, 23, 25—30.
 Капля воды, 23, 25, 26—33.
 Карно [Carnot], 370.
 Квинке [Quinke], 5, 53.
 Кельвинъ [Lord Kelvin], лордъ, I, 367, 369, 370, 391, см. сэръ Вилльямъ Томсонъ.
 Кеплеръ [Kepler], 68.
 Кинетическая теорія газовъ, 154—165.
 » матеріи, 100—102, 154—178.
 Кирхгофъ [Kirchhoff], 249.
 Клаузиусъ [Clausius], 45, 48, 100, 152, 155, 156, 158, 162, 165, 279 прим. 1, 327.
 Клеркъ Максвелль [Clerk-Maxwell], см. Максвелль.
 Клэркъ [Latimer Clark], Латимеръ, 62, 79, 89, 312.
 Колебаніе массы воды, 11—12.
 Колебанія въ упругой средѣ, 194—196, 238—240.
 » звуковыя, см. звукъ.
 » свѣтovyя, см. свѣтъ.

Колебания, электрическая, 80—84, 203 прим. 1.
 Кольраушъ [Kohlrausch], 60, 313.
 Комитетъ Британской Ассоціаціи объ электрическихъ эталонахъ
 61, 65, 84, 90, 92, 312.
 Корню [Cornu], 72 прим. 1.
 Коши [Cauchy], 128, 134, 136, 137, 166 прим. 1, 169.
 Коэффициенты упругости твердаго тѣла, 329—333.
 Кривая, показывающая изменение одной переменнѣй, 191—194.
 Крова [Crova], 322 прим. 1.
 Крофордъ [Lord Crawford], лордъ, 183.
 Круксъ [Crookes], 100, 155.
 Крѣпость твердыхъ тѣлъ, 55.
 Кулонъ [Coulomb], 55, 58, 59, 86, 299, 300, 301, 302,
 303, 304.
 Куперъ [Cooper], 22 прим. 1.
 Кэвендишъ [Cavendish], 2, 41, 55, 58, 59, 72, 300, 301,
 302, 303, 304, 308.
 Кэлэй [Cauley], 191, 192, 194.
 Кэмбриджъ [Cambridge], I, III, 141, 178, 300.
 Лагъ, см. счисленіе по лагу.
 Лапласъ [Laplace], 4, 5, 7, 47, 287 прим. 2, 293.
 Латимеръ Клэркъ [Latimer Clark], 62, 79, 89, 312.
 Ле-Веррье [Le Verrier], 246.
 Ленцъ [Lenz], 55.
 Ле-Сажъ [Le Sage], 102.
 Лесли [Sir J. Leslie], сэръ Дж., 48, 223 прим. 1.
 Лейденфростъ [Leidenfrost], 14.
 Лейпцигъ [Leipzig], 60.
 Либихъ [Liebig], 235.
 Ливерпуль [Liverpool], 191.
 Линдсэй [Lord Lindsay], лордъ, 183.
 Логика, 199—201.
 Лоджъ [Lodge], 203 прим. 1.
 Локьеръ [Lockyer], III, 272.
 Лондонъ [London], 66, 178, 191,
 Лошадиная сила, 254 прим. 1 и 2.
 Лошмидтъ [Loschmidt], 136 прим. 1, 152, 156 прим. 2.
 Лукрецій [Lucretius], 100, 154.
 Лунная теплота, 224—225.
 Лэнглэй [Langley], 202, 222, 223, 225, 248 прим. 1, 249
 прим. 3, 250 прим. 2, 252 прим. 1, 254 прим. 2, 255 прим. 2,

259 прим. 1, 261 прим. 2, 265 прим. 1, 267 прим. 1, 268 прим. 1,
 275, 276, 322 прим. 1.
 Лэнфайнъ [Lanfine] 295 прим. 1 (296).
 Лэнь [J. Homer Lane], Дж. Гомеръ, 262 прим. 1, 281, 282,
 283, 285.
 Люголь [P. Lugol], II, VII.
 Магнетизмъ, 59—60.
 Магнитная проницаемость, 342—343.
 Маклеодъ [Macleod], 75.
 Максвэлль [Clerk Maxwell], Клеркъ, 36, 37, 45, 48, 60, 69,
 80, 81 прим. 1, 96, 100, 152, 155, 156, 157, 158, 159 прим. 3,
 160 прим. 1, 162, 177, 178, 203 прим. 1, 300, 303, 312, 327,
 345, 367, 368, 369, 389, 391.
 Малевраншъ [Malebranche], о вихряхъ, 154.
 Манчестеръ [Manchester], 191.
 Марриотъ [Marriot], 155.
 Маскелинъ [Maskelyne], 41.
 Математика, 190—194.
 Матерія, диффузія ея, 156 прим. 2.
 » дѣлимость ея, 103—105.
 » кинетическая теорія ея, 100—102, 154—178.
 » крупно-зернистость ея, 153.
 » объясненіе ея свойствъ, 163—165.
 » теорія коренной ея однородности, 4, 7—12.
 » тяжесть ея, 1, 2.
 Маттиссенъ [Matthiessen], 65.
 Майеръ [Mayer], 257.
 Менсбрюггъ [van der Mensbrugghe], фанъ-дербъ-, 49.
 Металлы, ихъ прозрачность, 125—126.
 Метеориты, 294—298.
 Метрическая система, 105—106, 213—214, 264—265, 308.
 Механическая модель, вещества, обладающаго крѣпостью благодаря
 вращенію, 353—354.
 » волнообразныхъ колебаній, 108—111.
 » газа (гидрокинетическая), 175—177.
 » изображающая флуоресценцію и фосфоресцен-
 цію, 144—146.
 » индуктированнаго намагничиванія въ желѣзѣ,
 350—355.
 » quasi-совершенной жидкости, 358—359.
 » несжимаемаго твердаго тѣла, 329—330.
 » полезность ихъ, 354.

- Механическая модель, свѣтового эфира, 239—240,
 » солнца, 265—271.
 » среды, подобной свѣтовому эфиру, 361—366.
 » твердаго тѣла, обладающаго 21 коэффициентомъ упругости, 330—333.
 » упругаго сопротивленія газа, 277—280.
 » упругаго твердаго тѣла (гидрокинетическая), 171—175.
 » упругаго твердаго тѣла (гиростатическая), 166—170.
 » упругости quasi-твердаго тѣла, 359—360.
 Механическое изображение, магнитной силы въ электромагнитѣ, 340—346.
 » электромагнитной теоріи свѣта, 345.
 Миддльбургъ [Middlesboug], 297.
 Молекулы, см. атомы
 «Мо»-«омъ», 89—93.
 Мортонъ [Morton], 211.
 Мыльные пленки, 6—7, 47, 116—121.
 Мэшенъ [Méchain], 74.
 Мэшь [Maiche], 90 прим. 1.
 Навье [Navier], 166 прим. 1, 169, 327, 331, 333.
 Направление свѣтовыхъ колебаній, 139—143.
 Натяженіе поверхности раздѣла, 13—17.
 Натяженіе свободной поверхности, 13—17.
 Неоднородность матеріи, 3—6, 41—43, 127—128, 196 прим. 1.
 Непонятность большихъ чиселъ, 103, 220—221.
 Нейманъ [Neumann], 4.
 Николева [Nicol] призма, 139, 140, 143, 231.
 Нобертъ [Nobert], 136.
 Нью-Йоркъ [New York], 207, 334.
 Ньюкомбъ [Newcomb], 262 прим. 1, 274, 285.
 Ньютоновскій законъ притяженія, 2—6, 41—42, 171.
 Ньютоновы кольца, 109—111, 116, 138.
 Ньютонъ [Sir Isaac Newton], сэръ Исаакъ, 1, 2, 3, 6, 68, 70 прим. 3, 73, 101, 109, 116, 117, 138, 171, 226, 227, 327, 340, 341.
 Обоняніе, 203—205.
 Омъ [Ohm], 55, 312, 345 прим. 2.
 » единица, 61—65, 86—88, 93—95, 312—313.
 Органныя трубы, 214—215.

- Отношеніе электростатической и электромагнитной единицы, 60, 79, 83—84, 88, 93, 309—311.
 «Отталкивательное движеніе» Дэви, 158, 161, 269, 277.
 Пальмерстонъ [Lord Palmerston], лордъ, 314, 316, 317.
 Парижскій [Paris] международный съѣздъ относительно электрическихъ единицъ, 62—63, 65, 86.
 Пауэлль [Powell], см. Баденъ Пауэлль.
 Плато [Plateau], 117 прим. 1.
 Пленка, идеальная, 10—12.
 » осуществленіе ея, 26—31.
 » работа, совершаемая ею соотвѣтственно уменьшенію поверхности воды, 10—12.
 Пленки, мыльные, 6—7, 47, 116—121.
 Плотность земли, 72—73.
 » эфира, 322 прим. 1.
 Поверхностное натяженіе, 10, 13, 20, 22, 32—37, 39—40, 45—47, 49—53.
 » дѣйствіе на него тепла, 36—37.
 Поверхность раздѣла, ея натяженіе, 13—17.
 » ея сморщиваніе, 13, 37.
 Показатели преломленія, 135.
 Поляризація свѣта, 139—143, 230—234, 238—240.
 » плоскость ея, 139—143, 232, 239—240.
 » магнитное вращеніе плоскости ея, 170.
 Практическія примѣненія науки, 58.
 Притяженіе, зависящее отъ тяготѣнія, 1—3.
 » капиллярное, 1—39.
 » «коренная» теорія его, 4, 7—12.
 » между двумя различными жидкостями, 12—13, 17—20, 33—38.
 » между различными частями одной и той же жидкости, 7—12.
 » между твердымъ тѣломъ и жидкостью, 13—17, 20—30.
 » работа, совершаемая капиллярнымъ притяженіемъ, 7—10.
 Проводимость, единица электрической п—сти, 89—93.
 Пуанкаре [Poincarré], 319, 330.
 Пуансо [Poinsot], 360.
 Пуассонъ [Poisson], 55, 166 прим. 1, 169, 304, 327, 329, 331, 333.
 Пузыри, мыльные, 6, 27, 47.

- Пульс [Pouillet], 248, 249, 251, 255 прим. 2, 258, 275, 276, 332 прим. 1.
- Пучки Гайдингера [Haidinger's brushes], 233—234.
- Пэрри [John Perry], Джонъ, 22.
- Работа, совершаемая измѣненіемъ формы, 11—12.
- » » капиллярнымъ притяженіемъ, 7—10.
- » » капиллярнымъ притяженіемъ въ связи съ поверхностнымъ натяженіемъ, 13—14.
- Равновѣсіе двухъ несмѣшивающихся жидкостей, 17—20.
- » жидкости, соприкасающейся съ твердымъ тѣломъ, 20—30.
- » отдѣльной массы жидкости, 11—12.
- » пара на кривой поверхности жидкости, 43—49.
- Разсѣяніе энергіи, 96—99, 162—163, 177—178, 243.
- Разстояніе молекулъ, 48, 53, 153, 325 прим. 2.
- » столкновенія, 174,
- Расширяемость солнца, 250—252.
- Ренкинъ [Rankine], 255.
- Рейдъ [Dr. Thomas Reid], д-ръ Томасъ, о чувствахъ, 180, 181, 207.
- Рейнольдъ [Reinold], 6, 52, 117 прим. 1 и 4.
- Робинсонъ [Robinson] 299, 300, 301, 303, 304.
- Рубенсъ [Rubens], 101.
- Румкорфъ [Rumkorf], 224 прим. 1,
- Румфордъ [Count Rumford], графъ, 157.
- Рутерфордскія [Rutherford] рѣшетки, 138.
- Рюккеръ [Rücker], 6, 52, 117 прим. 1 и 4.
- Рэлэй [Lord Rayleigh], лордъ У, 12 прим. 1, 49, 53, 64, 65, 75, 78, 93, 94, 107 прим. 1, 212, 369, 389.
- » движеніе камфары по водѣ, 49—53.
- » исправленіе ома Британской ассоціаціи, 64—65.
- Сванъ [Swan], 90.
- Свѣтоносный эфиръ, 217, 228—230, 240—241.
- Свѣторазсѣвательная молекула, 320—322.
- Свѣторазсѣяніе, теорія Коши, 128—136.
- » » Томсона, 319—325.
- Свѣтъ, 197—203, 205—207, 211—242.
- » волновая теорія его, 211—245.
- » длины волны его, 106—108, 218—219, 223, 224 прим. 1, 227, 234—238.
- » измѣреніе длинъ волнъ его, 76—78, 234—238.
- » направленіе его колебаній, 139—143.
- » поляризація его, 139—143, 230—234, 238—240.
- » преломляемость его, 126—137, 139 прим. 1.

- Свѣтъ, распространеніе его, 212, 218—220.
- » сила въ его колебаніяхъ, 227—228.
- » скорость его, 126—135, 238.
- » частота колебаній въ немъ, 197—198, 220—224, 227—228, 238.
- » «фотографовъ», 223—224, 226.
- Сень Кларъ Девилю, см. Девилю.
- Сиджвикъ [Mrs. Sidgwick], г-жа, 64, 78, 94.
- Сила, 203—205.
- » въ звуковыхъ и свѣтовыхъ колебаніяхъ, 227—228.
- » лошадиная, 254 прим. 1 и 2.
- Сименсовская единица сопротивленія, 63—65, 78, 94, 311—312.
- Сименсъ [Dr. Werner Siemens], д-ръ Вернеръ, 63, 64, 299, 311, 312.
- Сименсъ [Sir William Siemens], сэръ Вилльямъ, 63, 78, 86, 87, 90, 91, 94, 311 прим. 1, 312.
- Системы единицъ, см. единицы.
- Скорость звука, 214.
- » какъ мѣра сопротивленія въ электромагнитной системѣ, 65, 78, 86—87, 304—306.
- » какъ мѣра проводимости въ электростатической системѣ, 87—88, 306—309.
- » свѣта, 126—135, 238, 310.
- «Слезы крѣпкаго вина», 35—36, 39—40.
- Солнце, вѣковое его охлажденіе, 245—253.
- » вѣроятные его предшественники, 285—298.
- » дѣйствіе на него уплотненія, зависящаго отъ тяготѣнія 250—251, 258—259, 262—263, 271—275, 276—277.
- » конвенціонные потоки въ немъ, 263—264, 269—272, 285.
- » механическая аналогія его, 265—271.
- » настоящая его температура, 254—255, 283—285, 290—291.
- » плотность его, 274—275, 282—293.
- » ранняя (туманная) исторія его, 285—293.
- » расширяемость его, 250—252.
- » теплоемкость его, 249, 252—253.
- » термическая дѣятельность его, 264—265.
- Солнечное излученіе, 248—255, 275—276.
- » опредѣленіе Лэнгленъ, 276.
- » опредѣленіе Пулье, 248—249, 258, 276.

- Солнечное тепло, опредѣленіе Форбеса, 276.
 Солнечное тепло, 243—298.
 » возрастъ его, 243—335.
 » метеорная теорія его, 245—247, 257—258, 262—298.
 » туманная теорія его, 285—293.
 » химическая теорія его, 247 прим. 1, 271—272.
 » происхожденіе и количество его, 254—259.
 Соудареніе молекулъ, 158—163, 174—175, 279, 328—329, 367—369.
 Сно Гаррисъ [Sir Wm. Snow Harris], сэръ Вил., 301.
 Спектръ, 138, 225—227, 234—238.
 Спиритизмъ, 182—183.
 Спонъ [Spon], 61 прим. 2.
 Стоксъ [Stokes], 134, 139, 143, 144, 145, 146, 147, 148, 198, 204, 248, 249, 319, 344, 347.
 Студень (несжимаемое упругое твердое тѣло), см. Желе.
 Стюартъ [Balfour Stewart], Бальфуръ, 312.
 Сцѣпленіе, 41—43.
 Счисленіе по лагу, 200—201.
 Сфероидальное состояніе жидкости, 15.
 Твердость, опредѣленія и измѣренія ея, 54—55.
 Температура и кинетическая энергія, 159—160, 369—370.
 » солнца, 254—255, 283—285, 290—291.
 Теорія, кинетическая т—я газовъ, 154—165.
 » кинетическая т—я матеріи, 100—102, 154—178.
 » коренной однородности матеріи, 4, 7—12.
 » происхожденія солнечнаго тепла, 285—293.
 Тепло, диффузія его, 156 прим. 2.
 » дѣйствіе его на поверхностное натяженіе, 36—37.
 » какъ движеніе, 100, 157—158.
 » лучистое, 198—199, 201—203, 205—207, 221—224.
 » отъ луны, 224—225.
 » солнца, см. солнечное тепло.
 Теплоемкость, 249 прим. 1.
 Тиндалль [Tyndall], 100, 138, 139, 147, 211.
 Тихо де Брагэ [Tycho Brahe], 287 прим. 2.
 Томлинсонъ [Tomlinson], 49.
 Томсонъ [J. J. Thomson], Дж. Дж., 176 прим. 1, 389.
 Томсонъ [James Thomson], Джемсъ, 35, 36 прим. 1, 39.
 Томсонъ [Sir William Thomson], сэръ Вилльямъ, I, III, IV, VII, 12 прим. 2., 13 прим. 2, 27 прим. 1, 36 прим. 4, 53, 71 прим. 1, 81

- прим. 2, 83 прим. 1, 107 прим. 1, 108 прим. 3, 113 прим. 1, 119 прим. 1, 123 прим. 2, 159 прим. 1, 165 прим. 1, 166, 169 прим. 1, 175 прим. 1, 176 прим. 1, 180 прим. 1, 200 прим. 1, 203 прим. 1, 215 прим. 1, 241 прим. 2 (242), 248 прим. 1, 253 прим. 2, 265 прим. 2, 281 прим. 1, 287 прим. 3, 291 прим. 1, 319, 320, 321, 322 прим. 1, 323, 325, 326, 329, 330, 331 прим. 1, 333, 337, 338, 340, 342 прим. 1, 345 прим. 1 и 2, 352, 362, 366 прим. 1, 367, 391.
 Туманная теорія солнца, 285—293.
 Тяготѣніе всемірное, 1—2.
 » единицы массы и силы въ системѣ всемірнаго тяготѣнія, 66—73.
 » какъ причина сцѣпленія, 42—43.
 Тяжесть, 41—43.
 Тяжесть матеріи, 1—2.
 Тэтъ [Tait], 71 прим. 1, 100, 113 прим. 1, 156, 165 прим. 1, 166, 315, 326 прим. 1, 327, 345 прим. 1, 362.
 Уатерстонъ [Waterston], 257, 369.
 Уаттъ [Watt], 254 прим. 1 и 2.
 Уайтъ [White], 315.
 Уголь соприкосновенія, 14—15, 20.
 Упругій свѣтоносный эфиръ, 228—230.
 Упругое сопротивленіе газа, 163.
 » механическое подобіе его, 277—280.
 Упругое твердое тѣло, вихревое движеніе, 175—177.
 » » гидрокинетическая модель его, 171—175.
 » » гиристатическая модель его, 166—170.
 » » несжимаемое, см. желе.
 Упругость газа, 163—165, 174—177.
 » какъ родъ движенія, 100—102, 166—170.
 » коэффициенты γ -сти, 329—333.
 Уравненіе капиллярныхъ поверхностей, 20—23.
 Урановое стекло, 146, 197—198.
 Уэльшь [Welsh], 280.
 Ванъ-деръ-Менсбрюггэ [van der Mensbrugghe], 49.
 Фарадей [Faraday], 6, 55, 170, 171, 183, 303, 304, 305.
 Фаренгейтъ [Fahrenheit], 97, 214 прим. 1.
 Феддерсенъ [Feddersen], 82.
 Фиккъ [Fick], 156 прим. 2.
 Филадельфія [Philadelphia], 211, 214, 233, 390.
 Флуоресценція, 146—149, 198, 323.
 » механическая модель ея, 144—146.

- Форбесъ [Forbes], 275, 276.
 Фосфоресценція, 146—149, 198, 323.
 » механическая модель ея, 144—146.
 Франклинъ [Franklin], 243, 390.
 Фраунгоферовы линіи, 227.
 Фраунгоферъ [Fraunhofer], 108, 138, 227.
 Френель [Fresnel], 166 прим. 1, 347.
 Фуко [Foucault], 78, 183, 365.
 Фурье [Fourier], 69.
 Христиансенъ [Christiansen], 319.
 Хукъ [Hooke], 327.
 Цельзій [Celsius], 114, 120, 121, 214 прим. 1, 248, 249, 250, 252, 253, 254 прим. 1, 290.
 Частота колебаній, 107, 212.
 Черное пятно на пленкѣ, 6, 47, 116—119.
 » въ центрѣ Ньютоновыхъ колець, 111—112, 118 прим. 1.
 Чувства, «Шесть вратъ познанія», 179—210.
 Чувство вкуса, 203—205.
 » запаха, 203—205,
 » зрѣнія, 197—203.
 » магнитное, 182—184.
 » мускульное, 207—210.
 » осязанія, 181—182, 205—210.
 » силы, 182, 207—210.
 » слуха, 185—196.
 » тепла, 181, 205—207.
 » электрическое, 184—185.
 Шиллеръ [Schiller], 82.
 Шуманъ [Schuman], 202 прим. 1, 224 прим. 1.
 Эбердинъ [Aberdeen], 314.
 Эвереттъ [Everett], 70, 80, 84.
 Эдинбургъ [Edinburgh], I, 299, 361, 389, 391.
 Эдисонъ [Edison], 90.
 Эккъ [Aske], 295 прим. 1 (296).
 Электрическая проводимость, 89—93, 193, 305—309, 310—313.
 Электрическія единицы, 54—95, 301
 » измѣренія, 54—95, 299—318.
 » колебанія, 80—84, 203 прим. 1.
 Электрическое сопротивленіе, 65, 78, 86—87, 305—306.
 Электромагнетизмъ, 59.

- Электромагнитная инерція, 80—83.
 Электромагнитныя измѣренія, 303—306.
 Электрометры, 313—318.
 Электростатическая емкость, 301—309.
 Электростатическія измѣренія, 299—309.
 » » Кэвендиша, 300—303, 308.
 » » Кулона, 299.
 » » Робинсона, 299.
 Золотропія, 333.
 Эпикуръ [Epicurus], 154.
 Эрстедъ [Ørsted], 304, 306, 356.
 Эфиръ, 217, 228—230, 240—241, 261, 320—325, 336—366, 370.
 » гиростатическій, 336—346, 358—366.
 » движеніе его въ мѣди и желѣзѣ, 347—350.
 » плотность его, 322 прим. 1.
 Юингъ [Bishop Ewing], епископъ, 298.
 Юингъ [Ewing], проф., 356.
 Юнгъ [Young], 39.
 Явленія при соприкосновеніи двухъ различныхъ жидкостей, 17—20, 33—38, 39—40,

ВАЖНѢЙШІЯ ОПЕЧАТКИ.

Стран.	Строка.	Напечатано:	Должно быть:
5	2 снизу	Entlarmung	Entfernung
13	3 снизу	resultis	result is
49	1 сверху	<i>Прибавленіе С.</i>	<i>Прибавленіе D.</i>
50	14, 20 и 25 сверху	камфоры	камфары
55	4 сверху	коэффициента	коэффициента
57	10 снизу	который	которой
88	8 »	косростью.	скоростью
101	6 »	выбрасываемыя	выпускаемыя
105	4 сверху	непостимою	непостижимую
108	5 »	Фраунгоферомъ	Фраунгоферомъ
117	18 »	0.119×10^{-2}	0.119×10^{-5}
134	12 »	критическаго	критическаго
138	15 снизу	Фраунгоферъ	Фраунгоферъ
147	12 и 11 снизу	способности преломленія	преломляемости
155	13 сверху	Мариотта	Мариотта
158	5 »	центробъжнаа	центробъжная
159	18 »	близко	вблизи
164	14 »	матерій	матери
169	8 снизу	Adinamic	Adynamic
172	5 сверху	образующіеся	образующееся
173	7 »	гидрокинетической	гидрокинетической
175	19 »	Гельмгольцевской	Гельмгольцевской
176	10 »	Гельмгольцев-	Гельмгольцев-
198	10 снизу	Эдмундъ	Эдмондъ
202	6 »	Schumann	Schuman
212	18 »	школы	шкалы
217	3 сверху	двигается	движется
227	18 »	фраунгоферовыми	фраунгоферовыми
240	15 снизу	Такъ, вы	Такимъ образомъ вы
247	1 »	должны	то мы должны

257	8 сверху	Ватерстономъ	Уатерстономъ.
—	19 »	тепла	солнечнаго тепла.
266	9 »	самое	само
270	1 »	сраженіяхъ	движеніяхъ
276	11 »	Гельмгольцевскихъ	Гельмгольтцевскихъ
277	13 снизу	Гѳри	Гѳри
283	2 сверху	и, кажется, въ	и кажется въ
—	3 »	вѳроятно,	вѳроятнымъ,
287	10 снизу	въ 1572 году	Тихо де Брагѳ въ 1572 году.
295	2 сверху	шее—	шее—
296	6 »	камня,	камня и
299	4 »	Collection	Collection
301	12 »	насадъ	назадъ
304	19 »	токи и	токи и,
311	5 »	припомнить	припомнить,
312	12 »	измѳрить	измѳрить
315	16 »	электрометра	электрометра
325	6 »	потому	потому
331	18 »	(100)	(001)
341	18 »	изобрѳеніе	изобрѳеніа
343	5 сверху	и	и въ
344	16 снизу	Такъ,	Такъ
»	6 »	простанствѳ	пространствѳ
349	5 сверху	одного	однако
353	8 »	подаеть	падаетъ
362	14 »	какое	какого

О Г Л А В Л Е Н І Е.

	Стр.
Предисловіе къ первому изданію	II
Предисловіе ко второму изданію	V
Предисловіе переводчика	VI
Капиллярное притяженіе.	1
Пятничное вечернее чтеніе въ Королевскомъ Институтѳ 29 Января 1886.	
Прибавленіе А. О нѳкоторыхъ любопытныхъ движеніяхъ, наблю- даемыхъ на поверхностяхъ вина и другихъ спиртныхъ напитковъ .	39
Сообщеніе, сдѳланное профессоромъ Джемсомъ Томсономъ въ секціи А Британской Ассоціаціи на съѳздѳ въ Глазго въ 1855 г.	
Прибавленіе В. Замѳтка о тяготѳни и сдѳвленіи.	41
Сообщеніе, сдѳланное въ Единбургскомъ Королевскомъ Об- ществѳ 21 Апрѳля 1862.	
Прибавленіе С. О равновѳсіи пара на кривой поверхности жид- кости	43
Сообщеніе, сдѳланное въ Единбургскомъ Королевскомъ Об- ществѳ 7 Февраля 1870.	
Прибавленіе D. Объ измѳреніи количества масла, достаточнаго для прекращенія движенія камфары на водѳ.	49
Сообщеніе, сдѳланное лордомъ Рѳлеемъ въ Королевскомъ Обществѳ 27 Марта 1890 и перепечатанное здѳсь съ его разрѳшенія.	
Единицы для электрическихъ измѳреній	54
Лекціа въ Институтѳ Гражданскихъ Инженеровъ, 3 Мая 1883.	

	Стр.
Демонъ-распределитель Максвелля	96
Извлечение изъ пятничнаго вечерняго чтенія въ Королевскомъ Великобританскомъ Институтѣ 28 Февраля 1879.	
Упругость, разсматриваемая, какъ возможный родъ движенія. 100	
Извлечение изъ пятничнаго вечерняго чтенія въ Королевскомъ Великобританскомъ Институтѣ 4 Марта 1881.	
Величина атомовъ	103
Пятничное вечернее чтеніе въ Королевскомъ Великобританскомъ Институтѣ 3 Февраля 1883.	
Шаги къ кинетической теоріи матеріи	154
Рѣчь при открытіи секціи математики и физики Британской Ассоціаціи на сѣздѣ въ Монреалѣ въ 1884 г.	
Прибавленіе къ статьѣ „Шаги къ кинетической теоріи матеріи“	
	177
Шесть вратъ познанія	179
Предсѣдательская рѣчь въ Бирмингемскомъ и Мидлэндскомъ Институтѣ 3 Октября 1883.	
Волновая теорія свѣта	211
Лекція, прочитанная по предложенію Франклиновскаго Института въ Академіи Музыки въ Филадельфіи 29 Сентября 1886.	
О возрастѣ солнечнаго тепла	243
Перепечатано изъ «Macmillan's Magazine» за Мартъ 1862.	
Часть I. О вѣковомъ охлажденіи солнца	
	244
Часть II. О настоящей температурѣ солнца.	
	254
Часть III. О происхожденіи и общей суммѣ солнечнаго тепла	
	256
О солнечномъ теплѣ	260
Пятничное вечернее чтеніе въ Королевскомъ Великобританскомъ Институтѣ 21 Января 1887.	
Электрическія измѣренія.	299
Рѣчь, произнесенная 17 Мая 1876 года передъ секціей механики на собраніяхъ, засѣдавшихъ по случаю специальной выставки коллекціи научныхъ приборовъ Лона (the Special Loan Collection of Scientific Apparatus) въ Саусъ-Кенсингтонскомъ музеѣ.	

ПРИБАВЛЕНІЯ.

	Стр.
I.—Молекулярная механика.	319
Двадцать лекцій, прочитанныхъ сэромъ В. Томсономъ въ университетѣ Джона Гопкинса; записаны и изложены М. Бриллюэномъ.	
II.—Молекулярное строеніе матеріи.	326
Сообщеніе сэра В. Томсона въ Единбургскомъ Королевскомъ Обществѣ; въ сокращеніи и съ примѣчаніями М. Бриллюэна.	
III.—Механическія изображенія магнитнаго поля. (Движенія вязкой жидкости; равновѣсіе или движеніе упругаго твердаго тѣла; равновѣсіе или движеніе идеальнаго вещества, называемаго для краткости <i>эфиромъ</i> ; механическое изображеніе магнитной силы)	337
Статья сэра В. Томсона, въ сокращеніи М. Бриллюэна.	
IV.—Эфиръ, электричество и вѣсомая матерія	347
Рѣчь сэра В. Томсона въ Институтѣ Электрическихъ Инженеровъ; въ сокращеніи М. Бриллюэна.	
V.—О гиростатическомъ адиамическомъ строеніи для «эфира»	358
Статья сэра В. Томсона.	
VI.—Опроверженіе ученія Максвелля-Больцмана, относящагося къ распределенію кинетической энергіи. Рѣшающій примѣръ.	367
Статья лорда Кельвина (сэра В. Томсона).	
Алфавитный указатель	371
Важнѣйшія опечатки	387
Оглавленіе	389