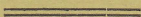


Дж. ПОЙНТИНГЪ

Профессоръ Бирмингемскаго университета

ДАВЛЕНІЕ СВѢТА



Переводъ съ англ. подъ редакціей „Вѣстника Опытной
Физики и Элементарной Математики“



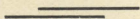
Одесса 1912.

<http://mathesis.ru>

Дж. ПОЙНТИНГЪ.

Профессоръ Бирмингамскаго университета

ДАВЛЕНИЕ СВѢТА



Переводъ подъ редакціей „Вѣстника Опытной Физики
и Элементарной Математики“.



<http://mathesis.ru>

Тип. Акц. Южно-Русского
Общества Печатного Дѣла,
Одесса, Пушкинская, № 18

<http://mathesis.ru>

1912.

ПРЕДИСЛОВІЕ.

За послѣдніе нѣсколько лѣтъ авторъ читалъ во многихъ мѣстахъ рефераты о давленіи свѣта. Нѣкоторые изъ нихъ были уже опубликованы въ полномъ или сокращенномъ видѣ. Въ этой книгѣ сюжетъ этихъ лекцій излагается полнѣе и съ бѣльшими деталями, чѣмъ это можно сдѣлать въ устной бесѣдѣ.

Въ концѣ помѣщенъ рядъ примѣчаній для читателей, которые пожелаютъ ознакомиться съ математическими вычисленіями, относящимися къ теоріи трактруемаго вопроса.



ДАВЛЕНИЕ СВѢТА

I.

Какимъ образомъ свѣтъ производитъ давленіе.

Когда мы наблюдаемъ, какъ плотина размывается во время шторма, намъ легко вѣриться, что морскія волны производятъ давленіе на берегъ, о который онѣ ударяются. Но намъ трудно повѣрить, что микроскопическія свѣтовые волны также давятъ на всякій предметъ, на который онѣ падаютъ, что зажженная лампа, напримѣръ, посылаетъ волны, производящія давленіе на самый источникъ свѣта и на всякую поверхность, которую онѣ освѣщаютъ. А между тѣмъ намъ теперь достовѣрно извѣстно, что свѣтъ производитъ подобнаго рода давленіе. Оно слишкомъ слабо, чтобы оно могло быть ощутимо для насъ даже тогда, когда оно достигаетъ своей

наибольшей силы; оно может быть обнаружено лишь при помощи чрезвычайно чувствительных приборовъ.

Въ настоящей главѣ я постараюсь дать нѣкоторое понятіе о тѣхъ разсужденіяхъ, посредствомъ которыхъ было предсказано существованіе свѣтового давленія, а затѣмъ опишу опыты, при помощи которыхъ много лѣтъ спустя оно дѣйствительно было открыто и измѣрено. Я укажу еще на нѣкоторыя слѣдствія, вытекающія изъ этого явленія которыя можно провѣрить астрономическими наблюденіями.

Лѣтъ сто тому назадъ было бы легче объяснить, какимъ образомъ свѣтъ производитъ давленіе, чѣмъ теперъ. Тогда всѣ почти думали, что свѣтъ состоитъ изъ неистощимо малыхъ частичекъ, выбрасываемыхъ съ громадной скоростью всякой раскаленной поверхностью. Каждая молекула или атомъ разсматривался, какъ маленькая пушечная батарея, поддерживающая непрерывный огонь; при этомъ принималось, что атомъ чрезвычайно великъ въ сравненіи съ ядрами, которыми онъ стрѣляетъ. Всякая выставленная свѣту поверхность подвергалась, по мнѣнію тогдашнихъ ученыхъ, бомбардировкѣ такихъ частичекъ, и поэтому было совершенно естественно допустить, что эта поверхность испытывала давленіе.

Иллюстрацію подібного рода дѣйствія мы можемъ дать при помощи слѣдующаго приспособленія. Прикрѣпимъ вертикальный тонкій дискъ къ концу стержня и подвѣсимъ послѣдній на тонкой проволоцѣ такъ, чтобы онъ могъ свободно вращаться (рис. 1).

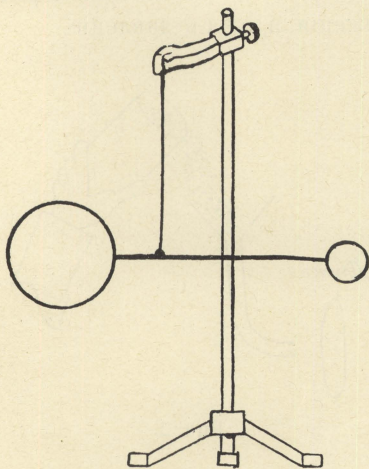


Рис. 1.

Теперь возьмемъ воронку и металлическую трубку и расположимъ ихъ, какъ показано на рис. 2; на послѣднемъ видно ребро диска, подвѣсь же не показанъ.

Будемъ понемногу сыпать въ воронку мелкую дробь, которая будетъ катиться внизъ по трубкѣ и бомбардировать дискъ, производя на него давленіе. Дробь пріобрѣтаетъ нѣкоторое количество движенія, которое она переноситъ съ собою до тѣхъ поръ, пока не передаетъ его диску при встрѣчѣ съ нимъ. Эта передача количества движенія и есть давленіе.

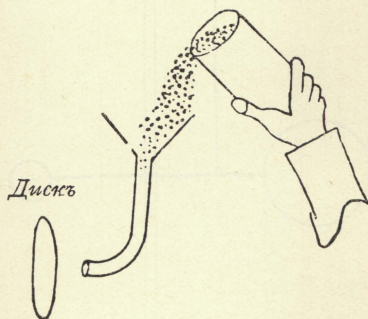


Рис. 2.

Въ восемнадцатомъ столѣтіи, когда господствовала корпускулярная теорія свѣта, было сдѣлано много опытовъ съ цѣлью обнаружить это давленіе; въ однихъ опытахъ свѣтъ падаетъ на дискъ, прикрѣпленный къ небольшому стержню, который помѣщался на тонкомъ подвѣсѣ то въ воздухѣ, то въ пустотѣ. Иногда дискъ дѣйствительно

сдвигался назадъ, иногда впередъ; но ни одному наблюдателю не удалось получить окончательныхъ или хотя бы постоянныхъ результатовъ.

Если бы эти экспериментаторы знали о принципѣ сохраненія энергіи, они были бы въ состояніи вычислить величину давленія, которую они искали*; но на основаніи своей ложной теоріи они должны были бы удвоить дѣйствительную величину, которая намъ извѣстна въ настоящее время. Однако, даже эта двойная величина слишкомъ мала, чтобы ее можно было обнаружить средствами, которыми располагали физики въ то время.

Ихъ непостоянные результаты — то притяженіе, то отталкиваніе — получались, несомнѣнно, вслѣдствіе двухъ побочныхъ явленій, которыя всегда были причиной чрезвычайной трудности всѣхъ опытовъ, касающихся этого вопроса. Когда экспериментировали въ воздухѣ, дискъ поглощалъ падающій свѣтъ, и его температура повышалась. Дискъ, въ свою очередь, нагревалъ окружающій воздухъ, который приходилъ въ движеніе и поднимался вверхъ, образуя потоки, извѣстные подъ названіемъ „конвекціонныхъ токовъ“, — получался, словомъ, маленькій вѣтерокъ, направленный вверхъ. Если нагревъ плоскую

* Примѣчаніе 1.

желѣзную пластинку и затѣмъ помѣстить ее передъ фонаремъ, то эти струи воздуха даютъ на экранѣ слабыя тѣни, и можно видѣть, какъ онѣ поднимаются вверхъ подобно дыму. Отъ положенія пластинки всецѣло зависитъ, будутъ ли эти поднимающіеся вверхъ воздушные потоки толкать пла-

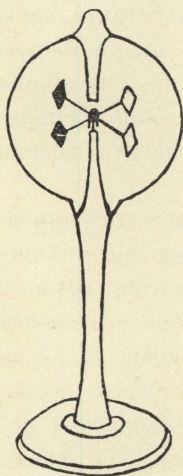


Рис. 3.

стинку назадъ или будутъ увлекать ее впередъ. Дѣйствіе воздушныхъ теченій на дискъ, нагрѣтый пучкомъ свѣтовыхъ лучей, можетъ легко достигнуть величины, во много разъ большей, чѣмъ давленіе свѣта.

Когда же экспериментировали въ пустотѣ, то приходилось, по видимому, имѣть дѣло съ другимъ дѣйствіемъ, открытымъ и изслѣдованнымъ Виліамомъ Круксомъ (William Crookes), который изобрѣлъ изящный аппаратикъ, чтобы показать это дѣйствіе; приборъ этотъ онъ назвалъ радиометромъ. Въ своей простѣйшей формѣ послѣдній состоитъ изъ четырехъ небольшихъ дисковъ изъ слюды, прикрѣпленныхъ къ четыремъ концамъ горизонтальнаго креста (рис. 3). Крестъ свободно вращается, насколько возможно безъ тренія, на

остріѣ и содержится въ чрезвычайно разрѣженномъ пространствѣ шара, діаметръ котораго равенъ 7 — 8 см. Каждый дискъ покрашенъ съ одной стороны въ черный цвѣтъ. Когда къ шару подносятъ близко свѣчу или зажженную спичку, черныя стороны удаляются отъ источника свѣта, тогда какъ свѣтлыя движутся по направлению къ нему. Прежде думали, что непосредственной причиной этого движенія является давленіе свѣта; но легко убѣдиться, что послѣднее должно производить какъ разъ противоположное дѣйствіе. Лучи, падающіе на свѣтлыя поверхности, частью отражаются и поэтому даютъ не только при паденіи на поверхность, но еще отдають назадъ при отраженіи; между тѣмъ свѣтъ, падающій на черную поверхность, давитъ лишь при паденіи на нее, ибо въ данномъ случаѣ онъ поглощается, но не отражается. Такимъ образомъ, отъ источника свѣта должны были бы удаляться свѣтлыя поверхности, а не черныя.

Вскорѣ было обнаружено, что причиной движенія радіометра является воздухъ, который всегда остается въ нѣкоторомъ количествѣ въ томъ, что мы называемъ пустотой. Черныя поверхности поглощаютъ свѣтъ и нагрѣваются поэтому больше, чѣмъ свѣтлыя. Частички воздуха, находящагося въ приборѣ, движутся во всѣ

стороны, и тѣ изъ нихъ, которыя ударяются о нагрѣтую черную поверхность, получаютъ отъ нея небольшой излишекъ энергіи и удаляются быстрѣе, чѣмъ приближаются; ихъ отдача поэтому сильнѣе, чѣмъ она была бы, если бы онѣ отскакивали съ тою же скоростью. Тѣ же частицы, которыя ударяются о другую, ненагрѣтую поверхность, отскакиваютъ съ той же скоростью, съ которой онѣ приближаются, и сила отдачи поэтому не возрастаетъ. Такимъ образомъ, остаточный воздухъ давитъ сильнѣе на черную поверхность, и крылышки вращаются.

По причинамъ, на которыхъ мы здѣсь останавливаться не можемъ, это такъ называемое „радіометрическое дѣйствіе“ имѣетъ лишь тогда серьезное значеніе, когда воздухъ сильно разрѣженъ. Но это дѣйствіе, несомнѣнно, имѣло мѣсто въ первыхъ попыткахъ, которыя были сдѣланы съ цѣлью обнаружить давленіе свѣта на дискъ, заключенный въ сосудъ съ разрѣженнымъ воздухомъ.

Итакъ, конвекціонные потоки производили возмущающее дѣйствіе, когда опыты производились въ воздухѣ; когда же экспериментировали въ безвоздушномъ пространствѣ, то то же вліяніе оказывало радіометрическое дѣйствіе. Мы увидимъ ниже, какъ можно благополучно пройти

между Сциллою и Харибдой и обнаружить дѣйствительное давленіе свѣта.

Прошло ровно сто лѣтъ съ тѣхъ поръ, какъ Томасъ Юнгъ (Thomas Young) разрушилъ корпускулярную теорію свѣта и замѣнилъ ее теоріей, по которой свѣтъ есть волнообразное движеніе ээира, теоріей, которая вскорѣ была принята всѣмъ ученымъ міромъ. Но въ то время не было никакихъ основаній допускать, что такія волны могутъ производить давленіе, и, такимъ образомъ, опыты, имѣющіе цѣлью обнаружить давленіе свѣта, не дѣлались въ теченіе цѣлаго почти столѣтія.

Въ 1873 году Кларкъ Максвеллъ (Clerk Maxwell) выступилъ съ электромагнитной теоріей свѣта, которая въ настоящее время получила всеобщее признаніе. И эта теорія рассматриваетъ свѣтъ, какъ волнообразное движеніе, которое возникаетъ вслѣдствіе электрическаго и магнитнаго возмущеній; волны эти совершенно подобны тѣмъ, которыми пользуются въ беспроволочной телеграфіи, но разстоянія между однимъ гребнемъ и другимъ въ этомъ случаѣ измѣряются не метрами и километрами, а имѣютъ микроскопическую длину. Максвеллъ также доказалъ, что такого рода волны должны производить да-

влѣніе, величина котораго какъ разъ вдвое меньше величины, получаемой на основаніи оставленной корпускулярной теоріи. Онъ вычислилъ на основаніи сдѣланныхъ имъ допущеній, что яркій солнечный свѣтъ, падающій перпендикулярно на черную поверхность, производитъ давленіе, немного меньшее одной двадцатитысячной миллиграмма на квадратный сантиметръ.

Намъ удастся, можетъ быть, уяснить себѣ идеи Максвелла слѣдующимъ образомъ. Если мы будемъ тереть кусокъ сургуча фланелью, то онъ наэлектризуется отрицательно. Если мы приблизимъ его къ проводнику, — напримѣръ, къ диску на рис. 1, — то послѣдній получить черезъ вліяніе положительный зарядъ, сургучъ и проводникъ будутъ притягиваться другъ къ другу. У насъ имѣются достаточныя основанія допустить, что состояніе воздуха или среды между обѣими поверхностями, наэлектризованными положительно и отрицательно, измѣняется. Можетъ быть, атомы этой среды соединяютъ оба предмета и образуютъ натянутыя между обѣими поверхностями атомныя цѣпи, которыя стремятся сократиться и такимъ образомъ притягиваютъ поверхности другъ къ другу. Но какова бы ни была дѣйствительная деформация среды между обоими разноименно наэлектризованными тѣлами, мы можемъ симво-

лично представить ихъ такъ, что между отрицательно наэлектризованнымъ сургучомъ и положительно наэлектризованномъ проводникомъ возникли „силовые линіи“ или „силовые трубки“ (рис. 4), которыя сокращаются и притягиваютъ тѣла другъ къ другу. Дѣйствіе ихъ подобно тому, которое имѣло

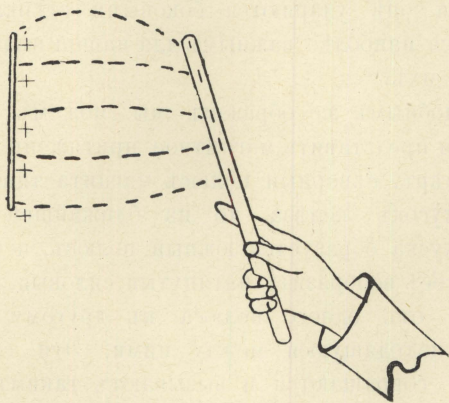


Рис. 4.

бы мѣсто, если бы каждая силовая трубка представляла изъ себя натянутый каучуковый шнурокъ съ концами, прикрѣпленными къ обѣимъ поверхностямъ. Вообразимъ себѣ теперь связку такихъ натянутыхъ каучуковыхъ шнурковъ. Сокращаясь вдоль, они вздуваются поперекъ и да-

вать другъ на друга. Почти такимъ же образомъ и силовыя трубки деформированной среды производятъ другъ на друга боковое давленіе, какъ будто бы и онѣ вздуваются въ поперечномъ направленіи; одновременно съ этимъ имѣетъ мѣсто притяженіе концовъ. Именно это боковое давленіе силовыхъ трубокъ другъ на друга и на тѣла, о которыя онѣ ударяются боковыми стѣнками, и является наиболѣе важнымъ для нашей цѣли свойствомъ ихъ.

Подобнымъ же образомъ мы можемъ символически представить магнитное притяженіе. Если, на примѣръ, сѣверный полюсъ магнита тянетъ къ себѣ кусокъ желѣза, то на ближайшей части этого куска образуется южный полюсъ, и мы можемъ себѣ вообразить натянутыя силовыя трубки, идущія отъ одного полюса къ другому черезъ среду, находящуюся между ними. Эти силовыя трубки сокращаются и вызываютъ такимъ образомъ взаимное притяженіе магнита и желѣза. У насъ имѣется достаточно оснований допустить, что въ данномъ случаѣ приходится имѣть дѣло съ вращательнымъ движеніемъ составныхъ частей среды вокругъ силовой линіи, проходящей черезъ нихъ; можетъ быть, — съ вращательнымъ движеніемъ атомовъ, а всего вѣроятнѣе, съ вращеніемъ корпускулъ вокругъ атомовъ.

Вращающееся, какъ земля, тѣло стремится расширяться вдоль оси вращенія и сжаться у экватора. Точно такъ же среда, вращающаяся вокругъ магнитной силовой линіи, стремится сжаться вдоль нея и вздувается перпендикулярно къ ней; такимъ образомъ получается боковое давленіе однѣхъ магнитныхъ силовыхъ линій на другія совершенно такъ же, какъ это происходитъ съ электрическими, хотя въ данномъ случаѣ это осуществляется другимъ путемъ.

Теперь посмотримъ, каковы должны быть электрическое и магнитное состояніе въ рядѣ свѣтовыхъ волнъ. Вообразимъ себѣ, что мы можемъ перемѣщаться вмѣстѣ съ волнами съ ихъ же скоростью, такъ что у насъ есть возможность постоянно наблюдать однѣ и тѣ же волны и представимъ ихъ по обыкновенію кривой линіей *ABCDE* (рис. 5).

Дѣйствительное электрическое состояніе между *A* и *B* будетъ такое же, какъ между положительно наэлектризованной пластинкой *P* и отрицательно наэлектризованной пластинкой *Q*, тогда какъ между *B* и *C* оно соотвѣтствуетъ состоянію между положительной пластинкой *R* и отрицательной *S*; *CD* будетъ сходно съ *AB*, а *DE* съ *BC*.

Само собою разумѣется, что въ дѣйствительныхъ волнахъ нѣтъ ничего такого, что соотвѣтствовало бы наэлектризованнымъ пластинкамъ; но среда видоизмѣняется по пути ихъ слѣдованія точно такъ же, какъ между послѣдовательными парами пластинокъ. Длина волны заключаетъ въ себѣ двѣ направленные въ противоположныя

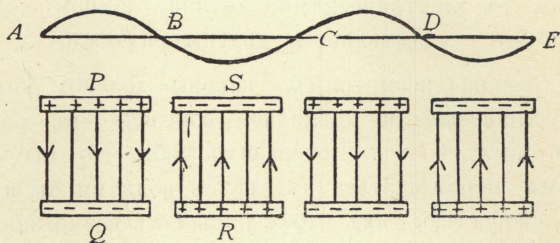


Рис. 5.

стороны половины, т. е. тянется отъ *A* до *C*, и для обыкновеннаго свѣта она равна приблизительно одной двухтысячной миллиметра.

Эти волны продвигаются слѣва направо, и измѣняющееся состояніе среды, представленное силовыми линіями, передается по пути ихъ слѣдованія отъ одной точки къ другой. Но для распространенія извѣстнаго состоянія должно существовать движеніе механизма, посредствомъ котораго это состояніе передается.

Это движеніе поддерживается вращеніемъ вокругъ магнитныхъ силовыхъ линій, которымъ должны сопровождаться электрическія линіи, чтобы было возможнымъ ихъ распространеніе. Разные опыты показываютъ, что магнитныя линіи должны составлять прямые углы съ электрическими, а также съ направлениемъ распространенія волнъ, т. е. должны быть перпендикулярны къ плоскости рисунка 5.

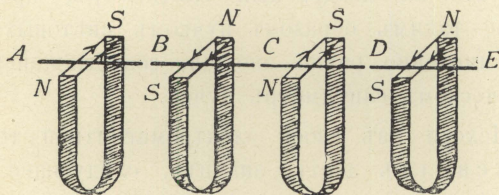


Рис. 6.

Если мы возьмемъ подковообразный магнитъ, плоскость котораго перпендикулярна къ AB (рис. 6), то магнитныя линіи въ той части среды, которая находится между A и B , будутъ имѣть такое же направленіе, какъ линіи между полюсами магнита, когда сѣверный полюсъ находится спереди. Линіи между B и C будутъ того же направленія, какъ линіи магнита съ южнымъ полюсомъ спереди, и т. д.

Итакъ, въ этихъ электромагнитныхъ волнахъ имѣются силовыя трубки двухъ родовъ, электрическія и магнитныя, которыя образуютъ прямые углы другъ съ другомъ и съ направлениемъ распространения волны. И тѣ и другія, вздуваясь поперечно, производятъ давленіе другъ на друга и на всякую поверхность, отъ которой онѣ исходятъ и на которую онѣ падаютъ.

Максвеллъ показалъ, что по его теоріи давленіе на квадратный сантиметръ, производимое такимъ образомъ пучкомъ свѣтовыхъ лучей, численно равно энергіи, содержащейся въ кубическомъ сантиметрѣ пучка.

Исходя изъ своей электромагнитной теоріи, Максвеллъ даетъ, значитъ, слѣдующее объясненіе свѣтового давленія. Свѣтъ состоитъ изъ электрическихъ и магнитныхъ силовыхъ трубокъ, которыя расширяются въ стороны по всей длинѣ пучка и производятъ боковое давленіе другъ на друга и на всякую поверхность, которую встрѣчаетъ пучекъ свѣтовыхъ лучей.

Хотя мы всѣ теперь принимаемъ электромагнитную теорію и хотя намъ очень трудно представить себѣ, чтобы отъ нея можно было когда-нибудь отказаться, мы все же должны помнить, какая судьба постигла корпускулярную теорію; нужно быть готовымъ къ тому, что и

электромагнитная теорія, можетъ быть, уступить свое мѣсто другой, если послѣдняя будетъ въ состояніи объяснять наблюдаемыя явленія полнѣе и правильнѣе, хотя въ настоящее время такой нельзя себѣ даже вообразить.

Интересно еще замѣтить, что, какого бы рода волны ни были, разъ онѣ обладаютъ тѣми особенностями, которыя наблюдаются въ свѣтовыхъ явленіяхъ, онѣ должны производить давленіе на поверхность, у которой онѣ берутъ начало и на которую онѣ падаютъ. Въ самомъ дѣлѣ, онѣ должны переносить съ собой количество движенія совершенно такъ же, какъ если бы онѣ представляли изъ себя движущіяся частички старой корпускулярной теоріи. Первымъ указалъ на это въ 1875 году Бартоли (Bartoli); доказательство же было облечено въ точную и простую форму Джозефомъ Ларморомъ (Sir Joseph Larmor).

Основная мысль доказательства заключается въ томъ, что рядъ волнъ представляетъ изъ себя нѣчто въ родѣ сжатой спиральной пружины. Волны обладаютъ энергіей. Если мы укорачиваемъ ихъ посредствомъ сжиманія, онѣ должны обладать бѣльшей энергіей, какъ это бываетъ съ сжатой спиральной пружиной. Концы послѣдней производятъ давленіе во внѣ; если же мы ее

сжимаемъ, мы совершаемъ работу противъ этого давленія и такимъ образомъ увеличиваемъ энергію пружины. Точно такъ же, укорачивая волны, мы увеличиваемъ ихъ энергію и поэтому каждый конецъ производитъ внѣшнее давленіе на всякую сжимающую ихъ поверхность.

Энергія волнъ — двоякаго рода: она зависитъ, во-первыхъ, отъ формы волнъ и, во-вторыхъ, отъ движенія частицъ, изъ которыхъ волны состоятъ.

Чтобы дать понятіе объ энергіи, обусловленной формой волны, и о ея зависимости отъ длины волны, возьмемъ частный случай зигзагообразныхъ волнъ въ натянутомъ шнуркѣ, сдѣланномъ, напримѣръ, изъ каучука.

Пусть AB (рис. 7а) будетъ натянутый шнурокъ, C его середина, а D и E среднія точки частей AC и CB . Предположимъ, что мѣсто D поднято вверхъ на небольшое разстояніе DM , а E оттянуто внизъ на такое же разстояніе EN внизъ (рис. 7б), такъ что точка C остается на первоначальной линіи. Въ такомъ случаѣ затрачивается работа на то, чтобы вывести точки D и E изъ ихъ начального положенія; иначе говоря, шнурокъ приобретаетъ энергію, когда онъ принимаетъ форму зигзагообразной волны $ADCEB$, длина которой есть AB . Теперь пусть шнурокъ снова приметъ форму прямой линіи,

какъ на рис. (а). Раздѣливъ пополамъ AD въ F , DC въ G и т. д., снова выведемъ шнурокъ изъ положенія равновѣсія; теперь, однако, на протяжении AB образуются двѣ волны (рис. 7с). Поднимемъ F на высоту $FP = DM$ въ (b), а G оттянемъ внизъ на такое же разстояние; то же самое сдѣлаемъ съ точками H и K . Тогда точки D, C, E останутся на первоначальной линіи. Точка F въ

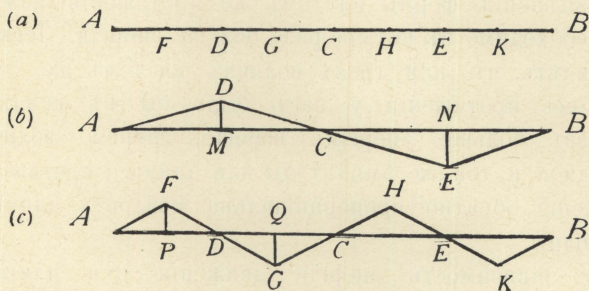


Рис. 7.

положеніи (с) притягивается съ большей силой, чѣмъ точка D въ положеніи (b), такъ какъ наклонъ шнурка больше и поэтому его натяженіе болѣе наклонено къ FP . Если, какъ мы допускаемъ, смѣщеніе невелико, то наклонъ въ (с) вдвое больше, чѣмъ въ (b), и притяженіе вдоль FP въ два раза больше, чѣмъ вдоль DM . Въ

такомъ случаѣ въ точкѣ F при расположеніи (с) затрачивается вдвое больше работы, чѣмъ въ точкѣ D въ расположеніи (b). Кромѣ того, въ (с) вдвое больше смѣщенныхъ точекъ. Съ двойнымъ количествомъ точекъ и съ двойной работой для каждой изъ нихъ мы должны всего затратить въ четыре раза больше работы; иными словами, если мы дѣлимъ длину волны пополамъ, сохраняя при этомъ ту же самую амплитуду, то для измѣненія формы на томъ же протяженіи намъ необходимо въ четыре раза больше энергіи. Легко видѣть, что при трехъ волнахъ на томъ же самомъ протяженіи у насъ было бы въ девять разъ больше энергіи; вообще, энергія волнъ одной и той же амплитуды для даннаго протяженія обратно пропорціональна квадрату длины волны.

Зависимость энергіи движенія отъ длины волны видна при разсмотрѣніи рисунка 8, на которомъ представлены два ряда волнъ одинаковой амплитуды. Длина волны нижняго ряда въ два раза меньше длины верхняго. Допустимъ, что онѣ идутъ слѣва направо съ одинаковою скоростью. Какая-нибудь частичка—напримѣръ, D —поднимается и опускается, когда волны проходятъ черезъ нее, и каждый разъ на одинаковую высоту. Но въ нижней волнѣ частичка дол-

жна въ одно и то же время совершать вдвое больше колебаній; ея средняя скорость должна быть поэтому въ два раза больше скорости частички верхней волны. Но энергія движенія пропорціональна квадрату скорости. Слѣдовательно, энергія нижней волны въ четыре раза больше энергіи верхней. И въ этомъ случаѣ, значитъ, для даннаго протяженія энергія волнъ одной и той же амплитуды обратно пропорціональна ква-

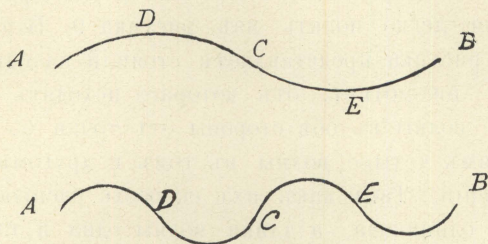


Рис. 8.

драту длины волны. Такъ какъ оба вида энергіи слѣдуютъ одному и тому же закону, то и вся энергія обратно пропорціональна квадрату длины волны, если амплитуда остается той же самой.

Телерь посмотримъ, какимъ образомъ волны могутъ сжиматься и растягиваться. Когда источникъ испускаетъ колебанія и въ то же время движется, длина волны измѣняется: она умень-

шается, если источник движется по направлению распространения волны, и увеличивается, если источник перемещается въ обратную сторону. Это явление было открыто впервые Допплеромъ (Doppler) въ 1842 г. Это легко наблюдать со звукомъ, который издаетъ локомотивъ, когда онъ со свистомъ проходитъ мимо васъ. Нота, которую вы слышите, выше, когда онъ приближается къ вамъ, чѣмъ тогда, когда онъ удаляется отъ васъ. Это можно замѣтить даже съ моторомъ. Причину явления легко понять изъ рисунка 9. Верхняя часть рисунка представляетъ стоящій на одномъ мѣстѣ локомотивъ, отъ котораго исходятъ звуковыя волны въ обѣ стороны отъ точки *C*. Разсмотримъ четыре волны въ томъ и другомъ направленіи. Такъ какъ ихъ скорость распространения одинакова, а длина волны одна и та же, то до наблюдателя въ *A* дойдетъ въ секунду столько же волнъ, сколько до наблюдателя въ *B*. Оба услышатъ поэтому ноту той же высоты, такъ какъ высота зависитъ только отъ числа волнъ, доходящихъ до уха въ секунду. Въ нижней части рисунка локомотивъ движется со свистомъ слѣва направо. Допустимъ, что въ извѣстный моментъ онъ находится въ *C* и что въ слѣдующій моментъ, когда онъ успѣлъ испустить четыре волны, онъ уже въ *D*. Первая волна пройдетъ въ одномъ направленіи до *A*₀ и въ другомъ до *B*₀ то же

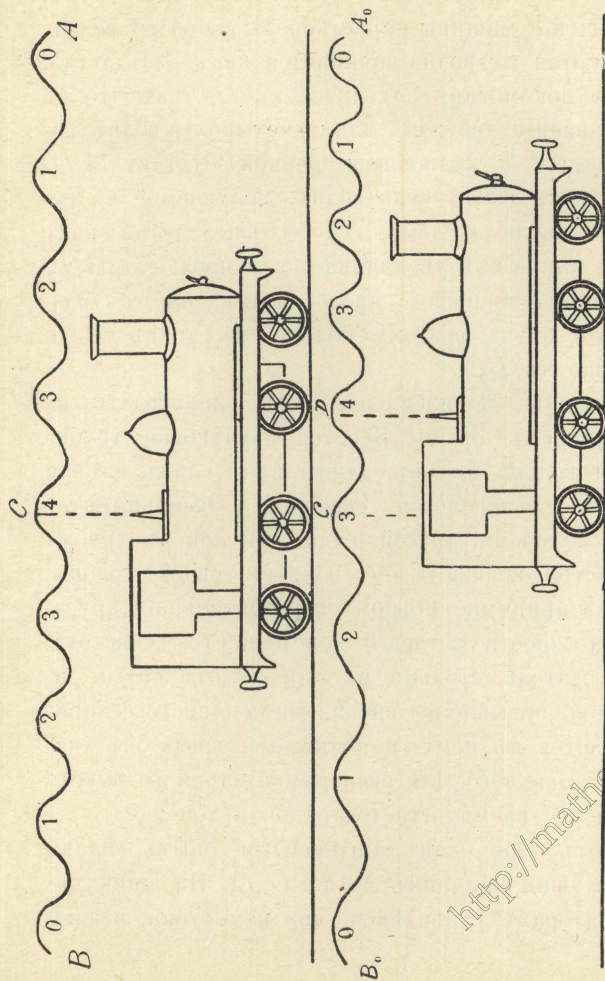


Рис. 9.

самое разстояніе, что и раньше, потому что перемѣщеніе машины не измѣняетъ скорости волнъ. Четвертая же волна начинается какъ разъ тогда, когда локомотивъ находится въ D , такъ что въ направленіи движенія длина четырехъ волнъ сокращается и становится равной отрѣзку A_0D ; вмѣстѣ съ тѣмъ число волнъ, получаемое въ секунду наблюдателемъ A_0 , больше, тогда какъ сзади длина ихъ увеличивается и наблюдатель B_0 получаетъ меньшее число волнъ въ секунду. Высота звука поэтому больше въ точкѣ A_0 и меньше въ B_0 .

Явленіе Допплера легко наблюдать на слѣдующемъ опытѣ. Берется каучуковая трубка въ нѣсколько футовъ длины и въ одинъ изъ ея концовъ вставляется свистокъ. Экспериментаторъ дуетъ въ другой, открытый конецъ трубки и быстро вращаетъ ее вокругъ своей головы; трубка принимаетъ форму горизонтальнаго круга, по окружности котораго перемѣщается свистокъ. Наблюдатель, стоящій въ сторонѣ отъ круга, замѣчаетъ повышеніе звука, когда свистокъ приближается къ нему, и пониженіе, когда онъ удаляется отъ него. Для экспериментатора же высота звука все время остается одной и той же.

Вотъ еще одинъ интересный опытъ, иллюстрирующій принципъ Допплера. На ящикахъ-резонаторовъ укрѣпляютъ два камертона, издаю-

щіе совершенно одинаковые звуки. Если они оба звучать, но при этомъ остаются въ покоѣ, то никакихъ біеній не слышно, потому что оба камертона настроены въ унисонъ. Но, если въ то время, какъ они издають звукъ, одинъ изъ нихъ движется по направленію къ наблюдателю, послѣдній слышитъ біенія, потому что волны движущагося камертона укорачиваются, и наблюдатель получаетъ бѣльшее число ихъ въ секунду. Хотя камертоны все еще испускають одинаковое число волнъ въ секунду, слушатель получаетъ ихъ больше отъ одного, чѣмъ отъ другого; оба звука для него не одинаковы, и поэтому они производять біенія.

Приложимъ теперь принципъ Допплера къ источнику, испускающему свѣтъ или вообще излученіе, обладающее свойствами свѣта независимо отъ того, воспринимается ли оно глазомъ или нѣтъ.

Разсмотримъ случаи, представленные на рисункѣ 10.

Въ верхней части этого рисунка источникъ *A* находится въ покоѣ и испускаетъ волны длины *ABC*. Въ нижней же части тотъ же источникъ движется впередъ, и для упрощенія разчета возьмемъ крайній случай, когда онъ движется со скоростью, равной половинѣ скорости волнъ *ABC*, такъ что въ тотъ моментъ, когда передняя часть

волны доходить до C , задняя находится какъ разъ въ A' . Амплитуда волнъ остается неизмѣнной, такъ какъ она зависитъ только отъ температуры, которая въ обоихъ случаяхъ одна и та же. Мы должны также допустить, что энергія, испускаемая источниками свѣта, въ обоихъ случаяхъ одинакова. Но въ послѣднемъ случаѣ энергія волны вдвое больше, такъ какъ $A'C = \frac{1}{2} AC$

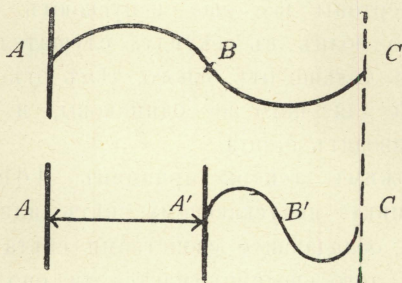


Рис. 10.

(при одинаковой же длинѣ она въ четыре раза больше). Мы можемъ отдать себѣ отчетъ въ этомъ увеличеніи энергіи лишь въ томъ случаѣ, если сдѣлаемъ допущеніе, что волна подобно сжатой пружинѣ производитъ давленіе на поверхность, у которой она беретъ начало, и что мы доставляемъ избытокъ энергіи, перемѣщая источникъ впередъ противъ давленія.

Легко видѣть, что, если источникъ движется въ обратномъ направленіи, то энергія волнъ будетъ меньше энергіи, испускаемой источникомъ свѣта, и что существованіе разницы между энергіей, испускаемой источникомъ, и энергіей, которой обладаетъ среда, объясняется работой, совершаемой давленіемъ волнъ при обратномъ передвиженіи источника *.

Если бы мы подробно остановились на теоріи процесса, мы нашли бы, что давленіе больше, когда источникъ движется впередъ, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда онъ въ покоѣ, и что оно меньше, когда онъ движется назадъ. Когда онъ въ покоѣ, давленіе равно энергіи, приходящейся на единицу протяженія по длинѣ луча.

Такъ какъ волны давятъ назадъ на источникъ, то послѣдній оказываетъ на нихъ давленіе впередъ. Или, выражая иначе абсолютно ту же самую мысль, волны получаютъ количество движенія, направленное впередъ. Онѣ получаютъ нѣкоторое количество движенія и передаютъ его дальше совершенно такъ, какъ если бы онѣ представляли изъ себя быстро движущіяся частички; такимъ образомъ онѣ переносятъ это количество движенія черезъ пространство. Нѣтъ надобности допускать, что частички, изъ которыхъ волны

* Примѣчаніе 2.

состоять, увлекаются впередъ. Количество движенія просто передается отъ одного слоя къ другому. Иллюстраціей этого можетъ служить слѣдующій опытъ. Шаръ подвѣшивается такъ, чтобы онъ какъ разъ касался края длиннаго стола, какъ показано на рис. 11. Если мы быстро ударимъ молоткомъ по другому краю, то черезъ столъ пройдетъ волна давленія, — иначе говоря,

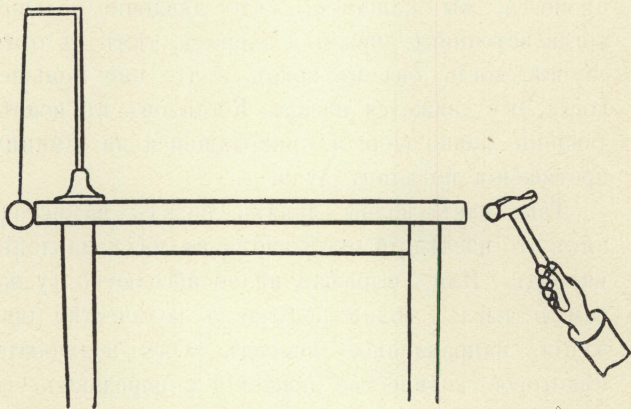


Рис 11.

волна количества движенія, которое ей сообщилъ молотокъ и которое передается ею отъ одной части стола къ другой, доходитъ до шара и отталкиваетъ его.

Прослѣдимъ теперь ходъ ограниченаго числа волнъ, распространяющихся перпендикулярно къ поверхностямъ источника A и пріемника B (рис. 12). Когда волны отправляются изъ A (a), онѣ производятъ давленіе на A ; A же, въ свою очередь, давитъ на нихъ, и сообщаетъ имъ слѣдовательно, количество движенія. Онѣ устремляются впередъ, перенося съ собою количество движенія, и, когда онѣ оставляютъ A , т. е. когда A перестаетъ имъ сообщать количество движенія A больше не испытываетъ давленія. Количество

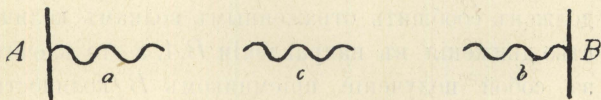


Рис. 12.

движенія переносится теперь черезъ пространство (c), раздѣляющее A и B . Пусть, наконецъ, волны попадутъ на поверхность B . Если послѣдняя поглощаетъ ихъ, что бываетъ въ томъ случаѣ, когда B поверхность совершенно черная, волны прекращаются, а, прекращаясь, онѣ отдаютъ свое количество движенія поверхности B . Такъ какъ для того, чтобы войти въ B , онѣ употребляютъ столько же времени, сколько имъ нужно было для того, чтобы выйти изъ A , и такъ какъ онѣ отдаютъ за это время все полученное ими количество

движенія, онѣ должны производить на B при поглощеніи такое же давленіе, какое онѣ производили на A при испусканіи. Давленіе на B равно поэтому энергіи, приходящейся на кубическій сантиметръ пучка лучей.

Но если B есть рефлекторъ — допустимъ идеальный рефлекторъ, — то обратное давленіе отраженныхъ волнъ какъ разъ равно давленію падающихъ, и такимъ образомъ получается удвоенное давленіе. Иными словами, падающія волны несутъ съ собой количество движенія въ направленіи AB и сообщаютъ его B . Рефлекторъ B долженъ сообщить отраженнымъ волнамъ количество движенія въ направленіи BA , а это влечетъ за собой полученіе пріемникомъ B количества движенія въ направленіи AB . Такимъ образомъ получается двойное количество движенія, и давленіе удваивается. Такъ какъ въ пространствѣ, лежащемъ по ту сторону отъ B , куда идутъ отраженные волны, имѣется въ два раза больше энергіи, чѣмъ въ случаѣ одного лишь простого падающаго луча, то давленіе и теперь равно энергіи, приходящейся на кубическій сантиметръ *).

Теперь намъ видно, какой величины достигаетъ давленіе. Новѣйшія изслѣдованія показываютъ, что количество солнечныхъ лучей, па-

*) Примѣчаніе 3.

дающихъ при полномъ солнечномъ свѣтѣ на квадратный сантиметръ черной поверхности, находящейся внѣ предѣловъ нашей атмосферы, достаточно для поднятія температуры 1 *гр* воды приблизительно на $2.5^{\circ} C$ въ минуту *) или на $0.0417^{\circ} C$ приблизительно въ секунду. Это эквивалентно $0.0417 \times 4.2 \times 10^7$ эргамъ $= 1.75 \times 10^6$ эргамъ механической работы. Но эта энергія распредѣляется въ столбѣ, сѣченіе котораго равно 1 кв. см, а длина 3×10^{10} см (путь, проходимый солнечнымъ свѣтомъ въ секунду), такъ что энергія 1 кв. см равна

$$1.75 \times 10^6 : (3 \times 10^{10}) = \frac{5.8}{10^5} \text{ эргамъ.}$$

Давленіе производимое солнечнымъ свѣтомъ на поглощающую поверхность, равно поэтому приблизительно $\frac{6}{10^5}$ дины или 0,0006 мг.



*) Величина этого нагрѣванія, такъ называемой „солнечной постоянной“, пока извѣстна недостаточно точно. Во всѣхъ нашихъ вычисленіяхъ мы будемъ принимать ее равной 2.5 калоріи на 1 кв. см въ минуту.

II.

Опыты надъ давленіемъ свѣта, падающаго нормально къ поверхности.

Когда Максвеллъ создалъ свою теорію давленія свѣта и нашелъ чрезвычайно малую величину, его даже для полного солнечнаго свѣта, онъ замѣтилъ, что, вѣроятно, „можно получить гораздо больше лучистой энергіи, если сконцентрировать лучи электрической лампы. Такіе лучи, падая на тонкій металлическій дискъ, деликатно подвѣшенный въ безвоздушномъ пространствѣ, можетъ быть, произведутъ замѣтное механическое дѣйствіе“ *).

Двадцать семь лѣтъ спустя московскій профессоръ Лебедевъ прочелъ на Международномъ Конгрессѣ физики **) докладъ о своихъ опытахъ, при помощи которыхъ ему удалось

*) „Electricity and Magnetism“, § 793.

**) „Rapports“, томъ 2, р. 133. Болѣе подробный отчетъ данъ въ „Annalen der Physik“, VI, 433, nov. 1901.

обнаружить давленіе вышеуказаннымъ путемъ. Найденные имъ результаты превосходно согласовались съ результатами, получаемыми на основаніи теоріи Максвелла.

Въ большомъ стеклянномъ шарѣ, діаметръ котораго былъ равенъ 20 см, подвѣшивались диски на тонкой стеклянной нити *ТН*. Одно изъ расположеній дисковъ показано на рисункѣ 13. *НН* представляет

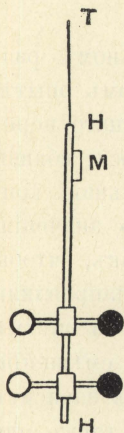


Рис. 13.

стеклянный стержень, къ которому прикрѣплено зеркало *М*, отражающее въ зрительную трубу дѣленія шкалы; при помощи этого приспособленія опредѣляется положеніе дисковъ. На перекладинахъ укрѣплены на разстояніи 1 см отъ вертикальной оси *НН* платиновые диски діаметромъ въ 0.5 см. Толщина верхней пары была 0.1 мм, а нижней 0.02 мм. Диски, находящіеся направо, покрыты съ обѣихъ сторонъ слоемъ платиновой черни, тогда какъ находящіеся налѣво отполированы.

Воздухъ въ шарѣ разрѣжался, насколько возможно было, при помощи насоса Шпренгеля, и затѣмъ на одинъ изъ дисковъ направлялся свѣтъ испускаемый вольтовой дугой; получав-

шееся отклоненіе диска наблюдалось по движенію шкалы, отраженной въ зрительную трубу. Сила, необходимая для отклоненія диска на найденную величину, опредѣлялась посредствомъ наблюденія времени колебанія системы безъ нагрузки и съ нагрузкой опредѣленныхъ объема и вѣса, — методъ, которымъ постоянно пользуются для опредѣленія силы, требующейся для того, чтобы закрутить металлическую проволоку на какой-нибудь уголъ.

При томъ въ высшей степени сильномъ разрѣженіи, которое имѣло мѣсто въ этомъ опытѣ, вѣроятно, не было никакого матеріальнаго переноса частичекъ воздуха, находившагося вблизи диска. Но если даже оставалось небольшое конвекціонное дѣйствіе, то это не имѣло значенія, такъ какъ опыты располагались такъ, чтобы исключать его; для этого лучи направляли сначала на переднюю сторону диска, а затѣмъ на заднюю и брали разность обоихъ смѣщеній. Возникновеніе конвекціонныхъ потоковъ зависитъ отъ повышенія температуры диска, а также отъ разности температуръ обѣихъ сторонъ. Если бы повышеніе температуры было даже очень велико, то вслѣдствіе крайней тонкости взятыхъ дисковъ могла получиться только такая малая разность температуръ обѣихъ сторонъ, что ею можно было пре-

небредь. На практикѣ приходилось поэтому принимать во вниманіе конвекціонное дѣйствіе, вызываемое толькоповышеніемъ температуры диска, и оно должно быть одно и то же по величинѣ и направленію независимо отъ стороны, на которую падаютъ лучи. Результатъ этого дѣйствія будетъ зависѣть отъ „уклона“ диска; и если бы можно было установить дискъ совершенно вертикально, то этого дѣйствія, вѣроятно, вовсе не было бы, потому что воздухъ поднимался бы вверхъ одинаково по обѣимъ сторонамъ диска. Но установить дискъ абсолютно вертикально практически невозможно. Если свѣтъ отталкиваетъ дискъ на разстояніе P , а конвекціонный потокъ на C , то мы наблюдаемъ $P + C$, когда свѣтъ падаетъ на переднюю сторону, и $-P + C$, когда онъ падаетъ на заднюю, такъ что разность обѣихъ положеній равна $2P$, и C такимъ образомъ исключается.

Радиометрическое дѣйствіе зависитъ отъ малой разности температуръ обѣихъ сторонъ диска. Эта разность больше для толстаго диска, чѣмъ для тонкаго; и такъ какъ онъ толще въ пять разъ, то и эта разность больше въ пять разъ. Если, напримѣръ, толстый черный дискъ (0.1 мм) отклоняется на 18 дѣленій, а тонкій (0.02 мм) — на 13, то уменьшенію толщины на 0.08 мм

соотвѣтствуетъ уменьшеніе въ 5 дѣленій. Если толщина уменьшится еще на 0.02 мм, то отклоненіе должно быть меньше на $5 \times 0.02 / 0.08 = 5/4 = 1.25$. Такимъ образомъ, очень тонкій дискъ отклонился бы на $13 - 1.25 = 11.75$ дѣленій и его температура была бы одинакова съ обѣихъ сторонъ, такъ что онъ не подвергался бы никакому радиометрическому дѣйствію. Этимъ путемъ, т. е. наблюденіемъ результатовъ, получаемыхъ съ тѣмъ же самымъ пучкомъ лучей, падающихъ сначала на толстый дискъ, а затѣмъ на тонкій, радиометрическое дѣйствіе исключалось.

Что касается блестящихъ дисковъ, то радиометрическое дѣйствіе было слишкомъ мало, чтобы его можно было измѣрить.

Лучи, падавшіе на черные диски, поглощались и производили свое полное давленіе $P = E$. Лучи, падавшіе на блестящіе диски, частью отражались, и отраженный свѣтъ также производил давленіе. Для того, чтобы опредѣлить, какая часть лучей отражалась, были произведены вспомогательные опыты. Допустимъ, что она равнялась r ; тогда давленіе должно было быть $P(1 + r)$.

Чтобы доказать правильность теоріи давленія свѣта, необходимо было измѣрить энергію E , приходящуюся на 1 кв. см. лучей. Одинъ изъ способовъ, къ которымъ прибѣгли, показанъ

на рис. 14. Въ выкрашенномъ въ черный цвѣтъ кускѣ мѣди C опредѣленныхъ объема и вѣса было сдѣлано небольшое отверстіе, въ которое вставляли небольшой термометръ. Противъ C помѣщали экранъ съ отверстіемъ D такого же точно размѣра, какъ дискъ; черезъ D пропускали пучекъ свѣтовыхъ лучей, который падалъ на C и нагрѣвалъ его. Повышеніе температуры за данный промежутокъ времени показывало, какое количество энергіи сообщалъ пучекъ лучей, и такимъ образомъ опредѣлялась энергія, доставляемая въ секунду.

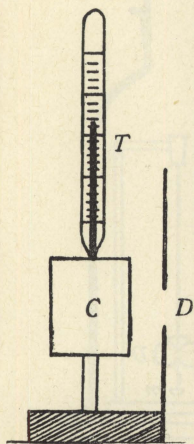


Рис. 14.

Если V есть скорость свѣта, а H количество теплоты въ эргахъ, развиваемое въ C въ теченіе секунды, то H представляет собою энергію въ пучкѣ длины V , а H/V есть энергія, приходящаяся на 1 см. Сила, дѣйствующая на черный дискъ такого же размѣра, какъ отверстіе D , должна

была поэтому равняться H/V . Измѣренія теплоты совпадали съ измѣреніями силы приблизительно съ точностью до $1/5$.

Одновременно съ профессоромъ Лебедевымъ этимъ вопросомъ занимались также про-

фессора Никольсъ (Nichols) и Гуллъ (Hull) и въ 1903 году *) они опубликовали полностью результаты своихъ работъ. Ихъ методъ нѣсколько походилъ на методъ Лебедева, но отличался отъ послѣдняго очень важными деталями. Двѣ круглыхъ стеклянныхъ пластинки *CD* (рис. 15), каждая діаметромъ въ 12·8 мм и толщиною въ 0·17 мм, были подвѣшены на кварцевой нити въ стеклянномъ сосудѣ, въ которомъ нѣсколько разрѣжался воздухъ. Передняя сторона ихъ была посеребрена и отполирована до блеска; внизу находилось небольшое зеркальце *m* посредствомъ котораго наблюдалось въ зрительную трубу отраженіе шкалы.

На дискъ направлялся пучекъ свѣтовыхъ лучей, дѣйствіе которыхъ измѣрялось отклоненіемъ шкалы въ зрительной трубѣ.

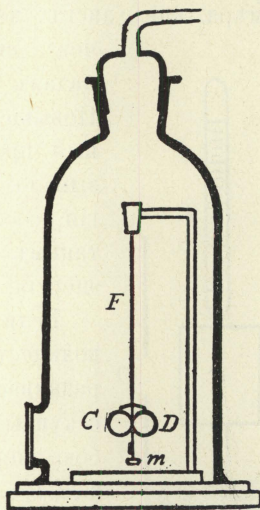


Рис. 15.

*) „Proc. American Academy of Arts and Sciences“, vol. XXXVІІІ, p. 559, April 1903.

Никольсь и Гулль воспользовались не-
объяснимымъ пока фактомъ, что, когда давле-
ніе воздуха въ сосудѣ доходитъ до 2—3 см ртут-
наго столба, конвекціонное дѣйствіе чрезвычайно
уменьшается. Кромѣ того, необходимо нѣкоторое
время для того, чтобы это дѣйствіе развилось,
такъ какъ диски нагрѣваются не сразу. Поэтому
они направляли пучекъ лучей на дискъ лишь въ
теченіе 6 секундъ, что составляло четвертую часть
времени полного колебанія подвѣшенной системы.
Давленіе свѣта приобрѣтаетъ моментально всю
свою силу и сохраняетъ эту силу все время, въ
теченіе котораго свѣтъ падаетъ на дискъ. Кон-
векціонное же дѣйствіе достигаетъ максимума
постепенно и въ теченіе 6 секундъ не прини-
маетъ серьезныхъ размѣровъ. Пользуясь откло-
неніемъ, полученнымъ шести секунднымъ дѣй-
ствіемъ лучей, можно вычислить полное ихъ дѣй-
ствіе, котораго они достигаютъ при продолжи-
тельномъ паденіи.

Чтобы исключить радіометрическое дѣйствіе,
лучи направлялись сначала на переднюю сторону
диска. Эта сторона нагрѣвалась нѣсколько больше,
и радіометрическое дѣйствіе вмѣстѣ съ давле-
ніемъ свѣта отталкивало дискъ назадъ. Затѣмъ
лучи направлялись на заднюю сторону диска,
такъ что свѣтъ давилъ въ обратномъ направле-
ніи. Лучи проходили черезъ прозрачное стекло и

падали всетаки на покрытую серебромъ переднюю сторону. Поэтому послѣдняя и въ этомъ случаѣ была болѣе нагрѣта, и радіометрическое дѣйствіе было направлено въ ту же сторону, какъ и раньше. Такимъ образомъ, давленіе свѣта должно было казаться уменьшеннымъ вслѣдствіе направленнаго въ противоположную сторону радіометрическаго дѣйствія. Среднее обоихъ наблюденій должно поэтому дать величину давленія свѣта и исключить радіометрическое дѣйствіе.

Всѣ почти лучи отражались посеребренной поверхностью, и такимъ образомъ давленіе было почти вдвое больше, чѣмъ при поглощеніи. Была опредѣлена дѣйствительная отражательная способность серебра, и такимъ образомъ была извѣстна слабая разница между нею и полнымъ отраженіемъ.

Чтобы опредѣлить энергію пучка лучей, ихъ направляли на покрытый чернымъ серебряный дискъ опредѣленныхъ размѣровъ и вѣса, а повышение температуры опредѣлялось термоэлектрическимъ путемъ, на которомъ мы останавливаться не будемъ. Повышеніе температуры за данный промежутокъ времени давало количество полученной теплоты, откуда можно было опредѣлить энергію, которая приходится на 1 кв. см пучка.

Были сдѣланы поправки, которыя требовались вслѣдствіе того, что дискъ не представлялъ изъ себя идеальнаго рефлєктора, и въ результатѣ Никольсъ и Гуллъ нашли, что полученное ими давленіе отличалось отъ энергіи кубическаго сантиметра падающихъ лучей меньше, чѣмъ на одинъ процентъ.

Если мы примемъ во вниманіе малость измѣряемой силы и величину пертурбацій, мы должны будемъ признать, что это одинъ изъ наиболѣе тонко выполненныхъ въ наше время опытовъ. Профессоръ Гуллъ сдѣлалъ нѣсколько интерес-

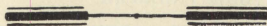


Рис. 16.

ныхъ опытовъ *), въ которыхъ дискъ-пріемникъ помѣщался между двумя параллельными, прикрѣпленными спереди и сзади каждаго диска, стеклянными пластинками съ небольшимъ промежуткомъ между ними, какъ это показано на рис. 16. Радиометрическое дѣйствіе тогда исключалось. Дѣйствительно, если молекула сообщала добавочную отдачу поглощающему диску, то, несясь впередъ, она сообщала такую же добавочную отдачу передней

*) „Physical Review“, XX, May 1905.

пластинкѣ. Обѣ эти отдачи нейтрализовали другъ друга. Одновременно исключалось другое дѣйствіе, вызываемое отдѣленіемъ частичекъ отъ самой поглощающей поверхности при нагрѣваніи, потому что оторванные такимъ образомъ частички даютъ равные импульсы диску назадъ и пластинкѣ впередъ. Гулль нашелъ, что при такомъ расположеніи дисковъ можно было измѣрять давленіе свѣта даже при 70 мм ртутнаго столба. Интересно отмѣтить, что сэръ Виліамъ Круксъ *) нашелъ, что радіометрическое дѣйствіе почти прекращается даже при яркомъ солнечномъ свѣтѣ, если помѣстить подобнымъ образомъ дискъ между двумя пластинками.

Этимъ способомъ защиты диска можно воспользоваться для того, чтобы показать давленіе свѣта цѣлой аудиторіи. Я нашелъ, что получаются очень хорошіе результаты, если установить приборъ, какъ показано на рисункѣ 17.

Посеребранный дискъ S и черный дискъ B помѣщены внутри четырехугольной коробки изъ тонкой слюды, которая подвѣшивается на кварцевой нити въ металлическомъ ящикѣ со стеклянной пластинкой спереди; сбоку въ w находится окошечко, черезъ которое проходитъ пучекъ свѣтовыхъ лучей къ зеркальцу m и отра-

*) „Phil. Trans.“, 170, 1879, р. 88, § 389.

жается затѣмъ на шкалу. При помощи насоса давление доводятъ до 1—2 см приблизительно, что указывается небольшимъ барометромъ G . Если въ теченіе короткаго времени свѣтовые лучи

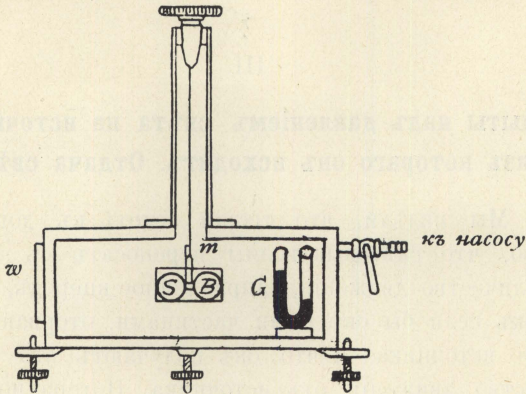
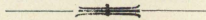


Рис. 17.

падаютъ на S , то S отталкивается. Если они направлены столько же времени на B , то B также отталкивается, но не такъ сильно, какъ S .



III.

Опыты надъ давленіемъ свѣта на источникъ, изъ котораго онъ исходитъ. Отдача свѣта.

Мы видѣли, что теорія ведетъ къ допущенію, что свѣтовые волны переносятъ съ собою количество движенія, направленное впередъ, такъ, какъ если бы онѣ были частицами, оторванными отъ источника, и что онѣ получаютъ это количество движенія отъ источника. Потеря послѣднимъ количества движенія должна проявиться въ видѣ обратнаго давленія на источникъ. Въ самомъ дѣлѣ, свѣтящійся предметъ долженъ отдавать вслѣдствіе испусканія имъ свѣтовыхъ лучей подобно тому, какъ ружье отдаетъ вслѣдствіе того, что оно выбрасываетъ пулю.

Самый удовлетворительный и наиболѣе прямой методъ производства опыта состоитъ, несомнѣнно, въ томъ, чтобы подвѣсить въ насколько возможно совершенномъ вакуумѣ дискъ, вычерченный съ одной стороны и посеребренный съ

другой. Внутри диска можно было бы вложить свернутую кольцомъ металлическую проволоку, которая нагрѣвалась бы электрическимъ токомъ, входящимъ черезъ подвѣсь. Черная поверхность испускала бы теплоту въ видѣ лучистой энергіи почти цѣликомъ, посеребренная же — въ небольшомъ лишь количествѣ. Вслѣдствіе этого черная сторона получила бы обратный толчекъ. Но этотъ прямой методъ сопровождается совершенно непреодолимыми экспериментальными трудностями.

Докторъ Барлоу (Barlow) и авторъ прибѣгли къ опыту *), обнаруживающему обратное давленіе менѣе прямымъ путемъ; дискъ нагрѣвался пучкомъ падавшихъ на него свѣтовыхъ лучей. Температура повышалась до тѣхъ поръ, пока не наступало устойчивое состояніе, при которомъ энергія, испускаемая въ видѣ радіаціи, равнялась поглощаемой энергіи. Дѣйствіе вызывалось поэтому давленіемъ приходящей радіаціи, съ одной стороны, и уходящей, съ другой. Приходилось, такимъ образомъ, опредѣлять величину каждой изъ этихъ частей.

Для изученія природы изслѣдуемаго явленія нужно разсматривать идеальные случаи. Допустимъ, что въ одномъ случаѣ пучекъ лучей, обладающій энергіей P на кубическій сантиметръ,

*) „Proc. Royal. Soc.“ A., vol. LXXXIII, p. 534, 1910.

обѣихъ сторонъ дискъ, и пусть этотъ дискъ будетъ подвѣшенъ въ идеальномъ вакуумѣ такъ, чтобы онъ совершенно не подвергался возмущеніямъ со стороны воздуха. Дискъ нагревается, и его температура повышается до тѣхъ поръ, пока онъ не отдаетъ столько же энергіи, сколько получаетъ. Если онъ очень тонокъ, то температура его практически одна и та же съ обѣихъ сторонъ, и каждая сторона отдаетъ половину энергіи. Давленія испускаемыхъ радіацій поэтому равны и противоположны и не производятъ никакого дѣйствія. У насъ, слѣдовательно, остается лишь давленіе P падающихъ лучей.

Въ другомъ случаѣ возьмемъ дискъ, черный съ передней стороны и совершенно отражающій съ задней, и пусть тотъ же самый пучекъ лучей падаетъ на переднюю сторону. Когда температура диска становится постоянной, энергія испускаемой радіаціи равна энергіи получаемой. Такъ какъ задняя сторона представляетъ изъ себя совершенный рефлѣкторъ, то она не испускаетъ лучистой энергіи, которая посылается цѣликомъ передней поверхностью. Если бы она выходила только по нормали, то она производила бы давленіе P , равное давленію падающихъ падаетъ перпендикулярно на очень тонкій, совершенно черный, а потому вполне поглощающій, съ

лучей, и все давление было бы $2P$. Но она распространяется во всѣхъ направленихъ и распреждается такимъ же образомъ, какъ свѣтъ, испускаемый раскаленной добѣла поверхностью. Можно показать, что благодаря этому давление уменьшается до $\frac{2}{3}P$, такъ что общее давление падающей и испускаемой радиации равно $\frac{5}{3}P$.

Если бы испускаемые лучи не производили никакого обратнаго давления, никакой отдачи, то давление на дискъ было бы P въ томъ и другомъ случаѣ. Итакъ, для того, чтобы доказать существованіе обратнаго давления, нужно изслѣдовать, больше ли оно во второмъ случаѣ, чѣмъ въ первомъ.

Опыты производились съ четырьмя дисками, передняя и задняя поверхности которыхъ были: черной и черной (B/B), черной и серебряной (B/S), серебряной и серебряной (S/S), серебряной и черной (S/B). Если допустить, что черная поверхность идеально поглощала, а серебряная идеально отражала, и что энергія пучка въ кубическомъ сантиметрѣ равнялась P , то давления на диски должны были бы быть:

$$\begin{array}{cccc} B/B & B/S & S/S & S/B, \\ P & \frac{5}{3}P & 2P & 2P. \end{array}$$

Но черная поверхность отражала незначительную часть лучей, около 5%; серебряная, въ

свою очередь, отражала не все, а только 95⁰/₀. Если принять, что черная сторона испускала 0·95, а серебряная 0·05 точно так же, как это сдѣлалъ бы совершенный радіаторъ, то давленія можно считать равными:

$$\begin{array}{cccc} B/B & B/S & S/S & S/B, \\ 1\cdot05P & 1\cdot62P & 1\cdot95P & 1\cdot92P. \end{array}$$

Кромѣ того, хотя мы подвѣсили диски въ сосудѣ съ разрѣженной, насколько возможно, атмосферой, здѣсь все-таки наблюдалось слабое радіометрическое дѣйствіе, вызванное оставшимся газомъ, потому что температура передней стороны была всегда выше температуры задней стороны на величину, необходимую для передачи энергіи, которая излучалась задней стороной, съ передней поверхности на заднюю. Наибольшая разность температуръ получалась съ дискомъ B/B ; съ нимъ наблюдалось и наибольшее радіометрическое дѣйствіе, которое стремилось отталкивать дискъ отъ источника.

Каждый дискъ состоялъ изъ двухъ тонкихъ круглыхъ стеклянныхъ пластинокъ, діаметръ которыхъ былъ 1·2 см, а толщина 0·1 мм. Между ними находился слой асфальта, тоже приблизительно въ 0·1 мм толщины. Для приготовления диска клали кусокъ асфальта на одну пластинку,

которая нагревалась до тѣхъ поръ, пока асфальтъ

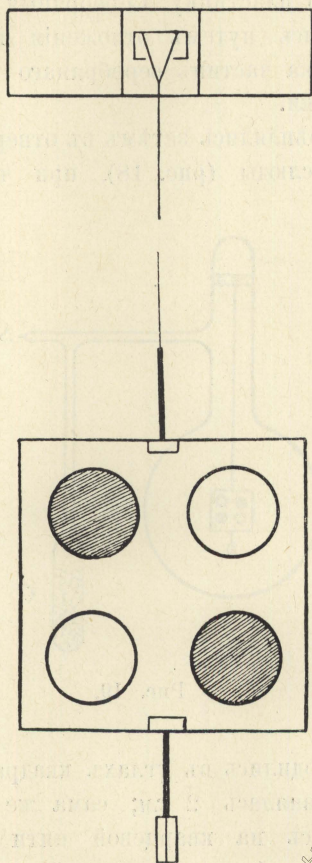


Рис. 18.

не становился мягкимъ; тогда придавливали къ нему другую пластинку. Серебряныя поверхности приготавливались путемъ отложенія на внѣшнюю сторону диска частицъ серебрянаго катода разрядной трубки.

Диски укрѣплялись затѣмъ въ отверстіяхъ пластинки изъ слюды (рис. 18), при чемъ центры

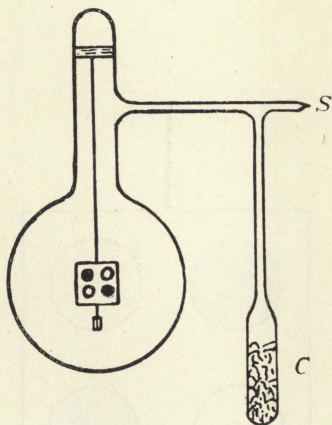


Рис. 19.

дисковъ находились въ углахъ квадрата, сторона котораго равнялась 2 см; сама же пластинка подвѣшивалась на кварцевой нити длиною въ 9 см въ кольцо съ пружиной, помѣщенномъ

въ горлышкѣ шарообразнаго сосуда, діаметръ котораго равнялся 16 см. Нѣтъ надобности подробно описывать здѣсь, какимъ образомъ разрѣжался газъ въ сосудѣ. Достаточно сказать, что его (сосудъ) многократно наполняли сухимъ кислородомъ и, наконецъ, запаивали въ S (рис. 19) послѣ того, какъ выкачивали газъ, и что расширение C , въ которомъ находился древесный уголь, погружали въ жидкій воздухъ, кипѣвшій при низкомъ давленіи въ теченіе нѣсколькихъ часовъ до опыта, а также во время опыта. Почти весь остававшійся кислородъ поглощался тогда углемъ, и, какъ показывалъ приборъ, когда на диски направлялись свѣтовые лучи, степень разрѣженія была чрезвычайно высока.

Планъ всего прибора можно видѣть на рис. 20. S представляетъ 50-тивольтовую фокусъ-трубку Эдисвана (Ediswan), все время работающую при 60 вольтахъ. L_1 есть одна линза, а L_2 другая, которая даетъ на взятомъ дискѣ изображеніе L_1 . Въ B находится лампа, изображеніе которой отражалось зеркаломъ подъ пластинкой изъ слюды на шкалу C .

Сила, соотвѣтствующая наблюденному отклоненію, вычислялась обыкновеннымъ путемъ изъ времени колебанія подвѣшенной системы сначала безъ груза, а затѣмъ съ грузомъ опредѣленнаго вѣса.

Для опредѣленія энергіи падающихъ лучей пользовались методомъ Никольса и Гулла (см. стр. 41), а именно: на вычерненную серебрянную пластинку опредѣленнаго вѣса направляли лучи и при этомъ отмѣчали, насколько повышалась температура серебра. Энергія была такова, что если бы лучи только падали на совершенно черную поверхность, они произвели бы

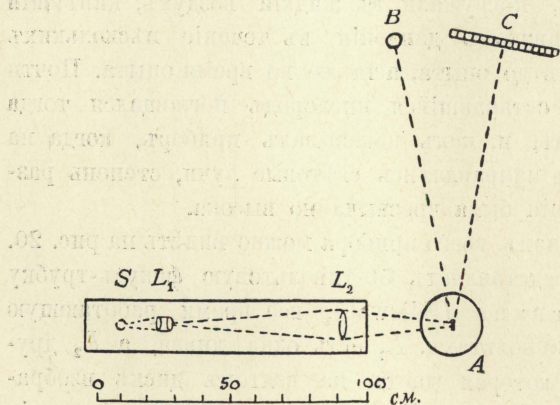


Рис. 20.

отклоненіе на $13 \cdot 6$ дѣленій. Въ нижеслѣдующей таблицѣ указаны: въ первой строкѣ природа диска; во второй отношенія отклоненій, вычисленныхъ на основаніи допущенія, что черная

поверхность отражает 5%, а серебряная 95%; въ третьей отклоненія, которыя получились бы, если бы не было никакихъ другихъ силъ, кромѣ давленія свѣта; они получаются умноженіемъ числа 13·6 на указанные отношенія; въ четвертой строкѣ, наконецъ, даны отклоненія, которыя дѣйствительно наблюдались.

Диски:	B/B	B/S	S/S	S/B ,
Вычисленные отношенія:	. 1·05	1·62	1·95	1·92,	
Вычисленные отклоненія:	. 14·3	22·0	26·5	26·1,	
Наблюденные отклоненія:	. 16·1	22·3	28·7	28·0.	

Причиной излишка 16·1 надъ 14·3, полученнаго съ дискомъ B/B , является, вѣроятно, все еще остававшееся слабое радиометрическое дѣйствіе. Близкое сходство вычисленнаго и наблюданнаго отклоненій диска B/S является яснымъ доказательствомъ того, что радіація, исходящая отъ передней поверхности, производитъ обратное давленіе.



IV.

Опыты, иллюстрирующие переносъ количества движенія пучкомъ свѣтовыхъ лучей.

Докторъ Барлоу и авторъ настоящаго сочиненія произвели нѣсколько опытовъ съ цѣлью показать переносъ количества движенія пучкомъ свѣтовыхъ лучей *), а профессоръ Лебедевъ **) недавно опубликовалъ работу о поглощеніи количества движенія газомъ, поглощающимъ свѣтъ. Вотъ описаніе этихъ опытовъ.

1) Когда пучекъ свѣтовыхъ лучей падаетъ наклонно на поглощающую поверхность, онъ производитъ давленіе, одна слагающая котораго направлена по касательной къ поверхности.

Пусть на поглощающую поверхность S (рис. 21) падаетъ свѣтъ или радіація по направленію AB . Его количество движенія направлено тогда по AB .

*) „Phil. Mag.“ IX, 1905, p. 169 и 393. „Nature“, vol. 75, Nov. 1906, p. 90.

**) „Annalen der Physik“, Bd. 32, 1910, p. 411.

Представимъ длиною AB количество движенія, приносимое лучами въ секунду. Разложимъ AB на его нормальную слагающую NB и касательную TB . Если площадка S не можетъ быть перемѣщена назадъ, то NB не произведетъ никакого видимаго дѣйствія. Но если S можетъ скользить въ своей собственной плоскости, то

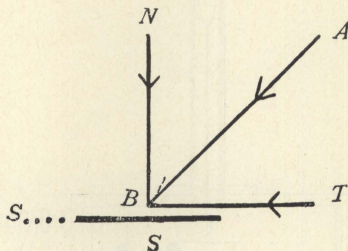


Рис. 21.

слагающая TB заставитъ ее передвинуться въ сторону S' .

Чтобы провѣрить это на опытѣ, укрѣпили на концахъ тонкаго стекляннаго стержня длиною въ 5 см два стеклянныхъ диска перпендикулярно къ стержню; одинъ изъ нихъ вычернили, а другой посеребрили; діаметръ каждаго былъ около 2 см. Все это было подвѣшено на кварцевой нити въ ящикѣ со стеклянными стѣнками (рис. 22).

Къ стержню было приклеено зеркальце, посредствомъ котораго можно было наблюдать въ зрительную трубу отраженіе шкалы, и такимъ образомъ могло быть опредѣлено положеніе стержня.

Послѣ этого разрѣжали воздухъ въ ящикѣ до 1—2 см ртутнаго столба и направляли на черный

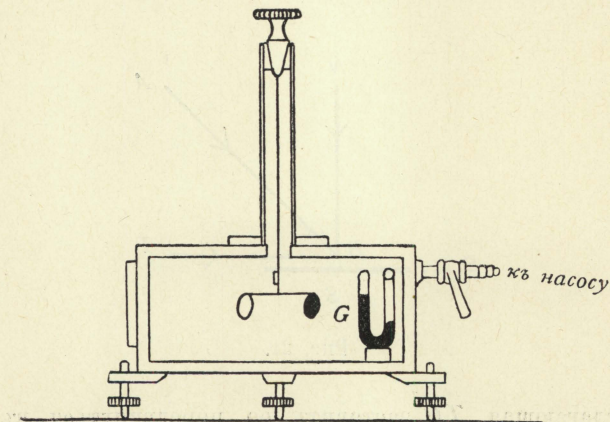


Рис. 22.

дискъ горизонтальный пучекъ свѣтовыхъ лучей отъ лампы Нернста, который образовывалъ съ нормалью къ диску уголъ въ 45° (рис. 23).

Дискъ получалъ толчекъ, и стержень приходилъ во вращательное движеніе по направленію

стрѣлки. Для измѣренія энергіи лучей ихъ направляли на вычерненную серебрянную пластинку опредѣленнаго вѣса и наблюдали, съ какой скоростью повышалась ея температура. Моментъ пары, соотвѣтствующій данному отклоненію стержня, опредѣляли обыкновеннымъ путемъ. Такимъ образомъ измѣрялся дѣйствительный моментъ, который можно было сравнивать съ моментомъ, вычисленнымъ на основаніи энергіи лучей.

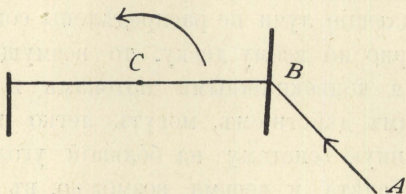


Рис. 23.

Такъ, напримѣръ, въ одномъ изъ опытовъ наблюденный моментъ пары былъ 21×10^{-6} см.-динъ, тогда какъ вычисленный равнялся 22×10^{-6} см.-динамъ. Но здѣсь важную роль, несомнѣнно, игралъ газъ, и такое хорошее согласіе получилось, вѣроятно, случайно. Опредѣленно можно только сказать, что вычисленное и наблюденное дѣйствія согласуются съ точностью до нѣсколькихъ процентовъ *).

*) Величины, которыя даются здѣсь и въ слѣдую-

Когда пучокъ направлялся на посеребренный дискъ, отклоненіе получалось, какъ это можно было ожидать, гораздо меньшее, такъ какъ отраженные лучи уносили параллельно поверхности количество движенія, которое приносили падающіе.

Для полученія согласныхъ результатовъ требовались очень тщательная конструкція и установка прибора; ибо, если черный дискъ виситъ не совсѣмъ вертикально, если нормаль въ его центрѣ не проходитъ какъ разъ черезъ ось подвѣса и если падающіе лучи не распределены совершенно равномерно по всему диску, то возмущенія, вызываемыя конвекціонными потоками и радіометрическимъ дѣйствіемъ, могутъ легко повернуть подвѣшенную систему на бѣльшій уголъ, чѣмъ давленіе свѣта, и весьма возможно, въ противоположномъ направленіи.

Другая постановка опыта позволяла гораздо легче получать опредѣленные и согласные между собой результаты. Вычерненный дискъ изъ слюды, діаметръ котораго равнялся приблизительно 5 см, подвѣсили горизонтально на кварцевой нити въ

щихъ опытахъ, являются результатомъ новыхъ опредѣленій различныхъ константъ (постоянныхъ) и провѣрки вычисленій и не вполне согласуются съ величинами, которыя даны въ работахъ, цитированныхъ выше въ подстрочномъ примѣчаніи.

ящикъ съ стеклянными стѣнками, въ которомъ разрѣдили воздухъ до 1-2 см ртутнаго столба.

Пучекъ лучей AB направлялся подъ угломъ 45° на небольшую площадь B (рис. 24) вблизи окружности диска; лучи AB находились въ плоскости, проходящей через нормаль BN и перпендикулярной къ радіусу OB . Слагающая свѣтового давленія, параллельная поверхности, стре-

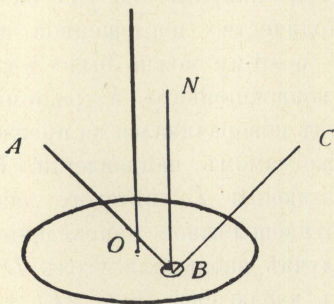


Рис. 24.

милась повернуть дискъ на уголъ, который мы обозначимъ черезъ L . Но лучи нагрѣвали дискъ, такъ что возникали конвекціонные потоки и радіометрическое дѣйствіе. Послѣдніе должны были повернуть дискъ на нѣкоторый уголъ въ направленіи, зависящемъ отъ наклона диска въ B , если только послѣдній не былъ установленъ совер-

шенно горизонтально, что на практикѣ неосуществимо. Назовемъ этотъ уголъ черезъ D . Весь уголъ закручиванія былъ, значить, $D+L$, каковой и находили при помощи зрительной трубы, въ которую наблюдали отраженіе шкалы въ зеркалѣ подвѣшенной системы.

Тотъ же самый пучекъ лучей направляли затѣмъ подъ угломъ въ 45° съ другой стороны нормали BN по направленію CB на ту же площадь B . Количество поглощенной теплоты не измѣнялось; поэтому можно было допустить, что вслѣдствіе конвекціоннаго и радіометрическаго дѣйствій дискъ поворачивался на прежній уголъ D и въ томъ же самомъ направленіи. Но горизонтальная слагающая L свѣтового давленія принимала противоположное направленіе, такъ что въ этомъ случаѣ наблюдали уголъ $D - L$. Разность обоихъ наблюденій была $2L$, т. е. въ два раза больше угла, на который поворачивала одна только сила свѣтового давленія лучей. Такимъ образомъ исключалось дѣйствіе возмущающихъ силъ, и это исключеніе подтверждалось тѣмъ, что получалась приблизительно одна и та же величина $2L$, когда направляли лучи на разные точки вблизи окружности.

Сначала пробовали производить опыты въ воздухѣ при низкомъ давленіи въ ящикѣ. Затѣмъ воздухъ замѣнили водородомъ, съ которымъ

получались гораздо болѣе согласные результаты. Въ слѣдующей таблицѣ даются моменты паръ, полученные путемъ наблюденія въ цѣломъ рядѣ опытовъ при различныхъ давленіяхъ, и моменты, вычисленные по энергіи лучей.

Въ водородѣ.

Давленіе въ см ртутнаго столба.	Наблюденный моментъ пары въ 10^{-6} см-динъ.	Вычисленный моментъ пары въ 10^{-6} см-динъ.
1·8	6·0	5·3
1·4	6·5	6·2
1·6	6·3	5·4
1·25	6·2	5·0

Дѣйствіе газа было настолько меньше и настолько правильнѣе въ опытахъ съ водородомъ, что можно было обнаружить касательную слагающую давленія свѣта даже при атмосферномъ давленіи. Въ слѣдующей таблицѣ дается рядъ чиселъ, показывающихъ отклоненіе въ дѣленіяхъ шкалы, вызванное однимъ только дѣйствіемъ свѣта (т. е. уголъ, обозначенный выше черезъ L).

Въ водородѣ.

Давленіе въ см ртутнаго столба.	Отклоненія въ дѣленіяхъ шкалы, вызванныя давленіемъ свѣта.
0·04	5·9
0·09	6·1
0·20	5·2
0·44	5·4
0·74	5·5
1·2	5·7
2·1	5·2
3·2	5·1
6,0	5·5
10·4	5·4
22·4	5·2
47·7	5·2
73·6	4·4.

2) Когда пучекъ лучей смѣщается параллельно самому себѣ, онъ вызываетъ моментъ пары, который стремится повернуть систему, являющуюся причиной его смѣщенія.

Начнемъ съ механической модели.

Если согнутую мѣдную трубку $ABCDE$ (рис. 25) подвѣсить въ точкѣ C , лежащей въ серединѣ, такъ, чтобы она находилась въ горизонтальной плоскости, и если вдвухать въ трубку насосомъ P струю воздуха, то послѣдняя стремится повернуть углы B и D и при этомъ производить на нихъ давленіе, направленное наружу;

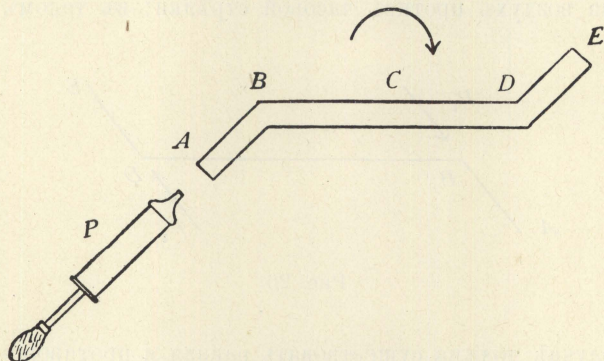


Рис. 25.

такимъ образомъ, получаютъ двѣ силы, вращающія трубку въ направленіи стрѣлки.

Мы можемъ разсматривать это вращеніе слѣдующимъ образомъ. Воздухъ обладаетъ количествомъ движенія, направленнымъ сначала по линіи AB , а затѣмъ по параллельной ей линіи DE .

Мы получили бы тотъ же самый результатъ, если бы у насъ была одна сила P_1 , дѣйствующая въ B противъ движенія и уничтожающая количество движенія, направленное по AB , и другая, равная ей сила P_2 , дѣйствующая въ D въ направленіи DE и дающая мѣсто количеству движенія по новой линіи DE (рис. 26).

P_1 и P_2 составляютъ пару силъ, дѣйствующую на воздухъ противъ часовой стрѣлки; въ такомъ

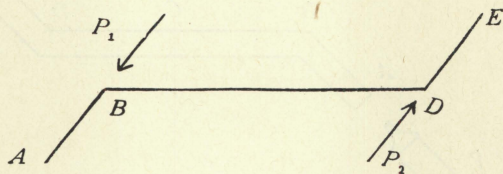


Рис. 26.

случаѣ должна существовать равная и противоположная пара силъ, дѣйствующая на трубку и вращающая ее по стрѣлкѣ часовъ.

Пучокъ свѣтовыхъ лучей представляетъ собой, точно такъ же, какъ струя воздуха, потокъ количества движенія; поэтому, если пучокъ смѣщается параллельно самому себѣ, то должна получиться пара силъ, дѣйствующая на него, а свѣтъ, въ свою очередь, долженъ дать мѣсто

равному и противоположному моменту, дѣйствующему на систему, вызывающую смѣщеніе.

Чтобы показать это, былъ сдѣланъ слѣдующій опытъ. Въ ящикѣ съ разрѣженнымъ воздухомъ повѣсили на кварцевой нити стержень длиной въ 3 см, на концахъ котораго находились двѣ небольшихъ стеклянныхъ призмы съ преломляющимъ угломъ въ 34° . Схема этого прибора показана на рисункѣ 27, гдѣ *C* обозначаетъ точку

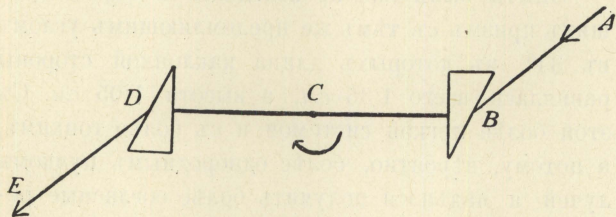


Рис. 27.

повѣса. Длина наклонной стороны каждой призмы была 2·15 см, а высота — 1·6 см. Лучъ *AB*, преломившись, принималъ направленіе *BD* и затѣмъ выходилъ изъ второй призмы по линіи *DE*, отклонившись въ каждой призмѣ. Онъ производилъ при каждомъ загибѣ давленіе изнутри наружу, и вся повѣшенная система вращалась по направленію стрѣлки. Одинъ рядъ отсчетовъ, сдѣланныхъ при благопріятныхъ условіяхъ, далъ

въ среднемъ отклоненіе въ 3·3 дѣленія шкалы, что соотвѣтствуетъ моменту пары 20×10^{-6} см-динъ. Была измѣрена энергія пучка, которая, если отбросить дѣйствіе отраженныхъ лучей, должна была дать мѣсто моменту пары $20\cdot3 \times 10^{-6}$ см-динъ. Другія измѣренія момента, хотя и были всегда того же порядка, но не сходились такъ хорошо съ величиной момента, полученной путемъ вычисленія по энергіи.

Опыты были еще произведены съ парой меньшихъ призмъ съ тѣмъ же преломляющимъ угломъ въ 34^0 , въ которыхъ длина наклонной стороны равнялась всего 1·35 см, а высота 1·05 см. Съ этой болѣе легкой системой и съ болѣе тонкимъ, а потому, вѣроятно, болѣе однороднымъ пучкомъ лучей я надѣялся получить болѣе согласные результаты; но эти надежды, какъ показываютъ слѣдующія четыре наблюденія, не оправдались. Моментъ пары былъ слишкомъ малъ, чтобы можно было производить точныя измѣренія.

Наблюденный моментъ пары въ 10^{-6} см-динъ.	Вычисленный моментъ пары въ 10^{-6} см-динъ.
1 7·1	7·1
2 7·6	7·1,
3 4·6	3·0,
4 8·8	5·3.

Дѣйствіе параллельнаго смѣщенія лучей производили еще другимъ путемъ. Въ ящикѣ съ разрѣженнымъ воздухомъ подвѣсили кусокъ стекла, имѣвшій форму прямоугольнаго параллелепипеда $3\text{ см} \times 1\text{ см} \times 1\text{ см}$ такъ, чтобы его большая ось была горизонтальна; черезъ этотъ кусокъ стекла пропускали горизонтальный пучокъ свѣтовыхъ лучей (рис. 28), который выходилъ по направленію EF параллельно падающимъ лучамъ AB .

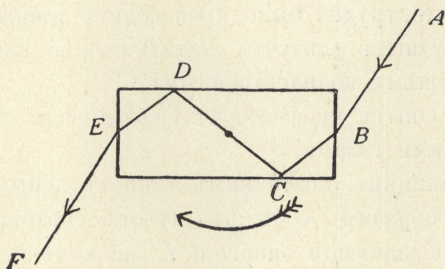


Рис. 28.

И въ этомъ опытѣ наблюдалось вращеніе призмы въ направленіи стрѣлки; но, такъ какъ нить была толще, то отклоненіе получалось очень маленькое. Для полученія лучшаго эффекта пучокъ лучей посылался лишь съ перерывами. Закручивая нить, систему заставляли колебаться въ горизонтальной

плоскости. При каждом колебаніи, когда грань B удалялась отъ источника, посылали пучокъ лучей, который прекращался, когда она приближалась. Колебанія вслѣдствіе этого постепенно усиливались. Затѣмъ поступали наоборотъ; паденіе лучей возобновляли, когда грань B приближалась къ источнику и прекращали, когда B удалялась отъ него. Колебанія тогда постепенно затухали. Моментъ пары, полученный путемъ наблюденія, былъ того же порядка, что и вычисленный по энергіи лучей, но эффектъ получался такой слабый, что трудно было производить точныя измѣренія. Опытъ слѣдуетъ считать скорѣе качественнымъ, чѣмъ количественнымъ*.

3) Опытъ профессора Лебедева съ поглощающими газами.

Принципъ опыта намъ станетъ яснымъ, если мы вообразимъ себѣ, что пучокъ свѣтовыхъ лучей, обладающій энергіей E на кубическій сантиметръ, проходитъ черезъ камеру $ABCD$ (рис. 29) съ прозрачными стѣнками AB и CD , въ которой находится поглощающій газъ. Мы предполагаемъ, что лучи какъ разъ наполняютъ камеру. Если газъ поглощаетъ часть энергіи лучей a , онъ поглощаетъ такую же часть a количества движенія, которое переносить съ собой

* См. примѣч. 4.

пучокъ. Такъ какъ количество движенія, приносимое въ секунду на 1 кв. см, есть E , то поглощаемое количество движенія равно aE . Последнее должно быть уравновѣшено стѣнкой CD , которая производитъ на газъ большее давленіе, чѣмъ стѣнка AB . Иначе говоря, давленіе газа

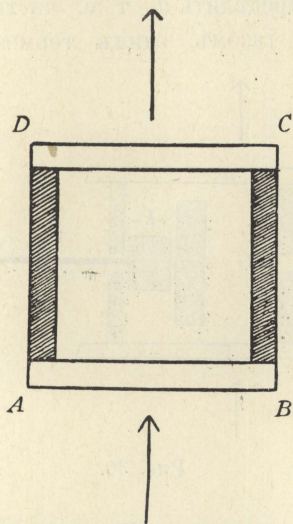


Рис. 29.

вблизи CD превосходитъ давленіе вблизи AB на величину aE .

Итакъ, намъ нужно измѣрить E и a , съ одной стороны, и разность давленія p на обоихъ кон-

цахъ камеры съ другой и, если наши разсужденія вѣрны, мы должны найти, что $p = aE$.

E измѣрялось такимъ же образомъ, какъ въ опытѣ, описанномъ на стр. 38, гдѣ свѣтъ падалъ на небольшой калориметръ, въ которомъ наблюдали повышеніе температуры.

Чтобы опредѣлить a , т. е. часть энергіи E , поглощенную газомъ, одинъ термоэлектрическій

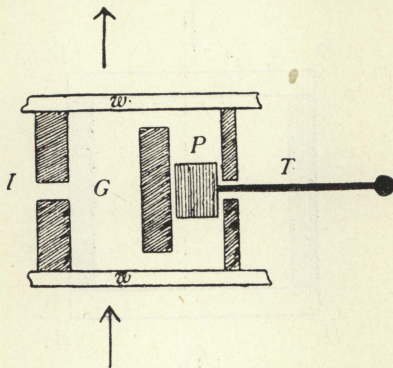


Рис. 30.

элементъ изъ платины и константана* помѣщался передъ стѣнкой AB , а другой такой же элементъ сзади стѣнки CD . Второй элементъ нагревался меньше перваго, и на основаніи этого можно было опредѣлить величину a . Стѣнки состояли

* Константанъ — сплавъ изъ мѣди (60%) и никкеля (40%).

изъ пластинокъ плавленого шпата, которыя дѣлали насколько возможно прозрачными тѣмъ, что помѣщали толстую пластинку плавленого шпата передъ источникомъ свѣта — лампой Нернста. Эта пластинка задерживала лучи, которые были бы поглощены стѣнками, и послѣднія были прозрачными для пучка, прошедшаго черезъ толстую пластинку.

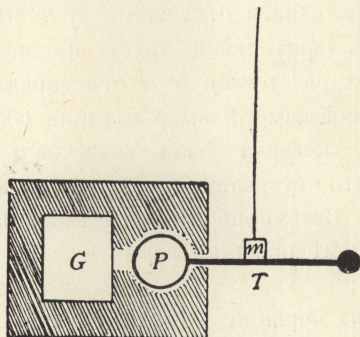


Рис. 31.

Для измѣренія P приборъ устанавливался приблизительно такъ, какъ показано на рисункахъ 30 (схема) и 31 (вертикальный разрѣзъ). Въ G находилась высѣченная въ кускѣ мѣди камера для газа, черезъ которую проходили лучи на протяженіи 7 мм; сѣченіе его представляло собою прямоугольникъ 4 мм \times 3 мм; m и T обозначаютъ

стѣнки изъ плавикового шпата, а I — входъ для газа. Оба конца газовой камеры сообщались съ боковой цилиндрической полостью, просверленной въ кускѣ, діаметръ которой равнялся 3.25 мм. Въ послѣднюю входилъ поршень P съ діаметромъ въ 2.85 мм, укрѣпленный на концѣ вращающагося стержня, подвѣшеннаго на кварцевой нити въ точкѣ T , гдѣ на стержнѣ помѣщалось зеркальце. При помощи послѣдняго отклоненіе отсчитывалось посредствомъ зрительной трубы на шкалѣ, помѣщенной на разстояніи 5 м отъ зеркала. Въ цилиндрической камерѣ была сдѣлана сбоку небольшая щель, которая была какъ разъ настолько широка, что стержень могъ въ ней свободно двигаться. Весь приборъ, представленный на рисункахъ, помѣщался въ герметически закрытомъ сосудѣ.

Если бы поршень плотно входилъ въ цилиндрическую полость и былъ бы совершенно свободенъ отъ тренія, то при прохожденіи лучей черезъ G возникала бы разность давленій p (которую нужно опредѣлить) на оба конца поршня, и послѣдній отталкивался бы до тѣхъ поръ, пока закрученная нить не дала бы пары силъ, равной и противоположной парѣ, возникшей вслѣдствіе разности давленій p . Но этого, очевидно, невозможно было достигнуть. Приходилось, значить, устраивать такъ, чтобы поршень могъ

свободно двигаться; иначе имѣло бы мѣсто треніе о стѣнки. Вслѣдствіе этого газъ проходилъ черезъ узкую цилиндрическую щель и циркулировалъ въ обѣихъ камерахъ. Разность давленій на оба конца была поэтому меньше p на извѣстную величину. Послѣдняя опредѣлялась вспомогательнымъ опытомъ, на которомъ мы не будемъ останавливаться.

Величина, соотвѣтствующая отклоненію на одно дѣленіе шкалы, была найдена обыкновеннымъ путемъ по времени колебанія закрученнаго стержня съ нагрузкой и безъ нея.

Для опыта были взяты слѣдующіе сильно поглощающіе газы: двуокись углерода (CO_2), метанъ (CH_4), этиленъ (C_2H_4), ацетиленъ (C_2H_2), пропанъ (C_3H_8) и бутанъ (C_4H_{10}). Поглощеніе свѣта вызывало нагрѣваніе газа, температура котораго была, несомнѣнно, нѣсколько выше въ передней части камеры, чѣмъ въ задней. Кромѣ того, наблюдалось еще мѣстное нагрѣваніе, вызванное тѣмъ, что приходилось концентрировать лучи вмѣсто того, чтобы дѣлать ихъ параллельными. Это вело къ возникновенію конвекціонныхъ потоковъ. Для уменьшенія ихъ дѣйствія каждый газъ разбавляли обыкновенно равнымъ объемомъ водорода. Практически водородъ можно считать прозрачнымъ; но вмѣстѣ съ тѣмъ онъ сравнительно хорошій проводникъ и могъ по-

этому служить для уравнивания температуры въ различныхъ частяхъ газовой камеры. Для образованныхъ такимъ образомъ смѣсей α колебалось между 0.005 и 0.02.

Наблюденныя разности давленія были порядка миллионной части дины, и разныя наблюденія, сдѣланныя съ однимъ и тѣмъ же газомъ, согласовались другъ съ другомъ съ точностью до 10%. Вычисленныя значенія αE со внесенными поправками, въ обсужденіе которыхъ мы не будемъ входить, согласовались обыкновенно съ наблюденными значеніями съ точностью до 20%.

Если мы представимъ себѣ, какъ ничтожно мала величина одной миллионной дины на сантиметръ — одной миллионъ-миллионной (триллионной) атмосферы — намъ останется только восхищаться искусствомъ экспериментатора, которому удалось произвести согласующіяся между собой измѣренія и этимъ доказать, что существуетъ хоть приблизительно согласіе между теоріей и опытомъ.



V.

Давленіе свѣта въ астрономіи. Нѣкоторыя возможныя слѣдствія.

Силы, вызываемыя давленіемъ свѣта, такъ малы, а пертурбаціи со стороны воздуха въ сравненіи съ ними такъ велики, что здѣсь, на поверхности земли, находясь въ окружающей ее атмосферѣ, мы не можемъ надѣяться на полученіе замѣтныхъ результатовъ этого давленія за исключеніемъ тѣхъ случаевъ, когда приходится имѣть дѣло съ тщательно поставленными лабораторными опытами.

Но въ пространствѣ, въ которомъ планеты обращаются вокругъ солнца, гдѣ разрѣженіе матеріи должно быть куда больше, чѣмъ въ такъ называемомъ вакуумѣ, который мы въ состояніи производить, давленіе свѣта можетъ безпрепятственно развиваться, и результаты его дѣйствія могутъ быть весьма значительны.

Мы не имѣемъ возможности обнаружить какое-нибудь его дѣйствіе на большія тѣла нашей

системы. Такъ, напримѣръ, все давленіе солнечнаго свѣта, падающаго на землю, достигло бы, если бы онъ весь былъ поглощенъ, лишь 74 000 тоннъ приблизительно *. Это кажется большой силой, но въ сравненіи съ силой, съ которой солнце притягиваетъ землю, съ силой въ 47 билліоновъ (47×10^{12}) разъ бѣльшею, это просто ничто. Итакъ отталкивая землю своимъ свѣтомъ, солнце одновременно тянетъ ее къ себѣ бѣзмѣрно сильнѣе благодаря тяготѣнію.

Но, если размѣры тѣла, подвергающагося дѣйствию лучей, меньше, то отношеніе давленія свѣта къ силѣ тяготѣнія становится больше. Представимъ себѣ, что мы разбили землю на равные шары, и пусть радіусъ cadaго изъ нихъ равняется половинѣ земнаго радіуса. Такихъ шаровъ получилось бы восемь. Если бы эти восемь шаровъ были поставлены противъ солнца, какъ указано на рисункѣ 32**, то вмѣстѣ взятые они подвергались бы дѣйствию той же силы тяготѣнія, но площадь, на которую дѣйствовалъ бы солнечный свѣтъ, а слѣдовательно и давленіе свѣта, была бы больше въ два раза. Сила тяготѣнія оказа-

* Здѣсь и въ другихъ мѣстахъ я принимаю энергію солнечнаго свѣта на разстояніи земли равной 2.5 калоріи въ минуту на 1 кв. см.

**) Надо представить себѣ, что солнечные лучи перпендикулярны къ плоскости чертежа.

лась бы поэтому только въ $23\frac{1}{2}$ милліона милліоновъ разъ больше свѣтового давленія. Если бы каждый изъ этихъ малыхъ шаровъ былъ бы снова разбитъ на восемь равныхъ сферъ вдвое меньшаго радіуса, то поверхность снова удвоилась бы, и сила тяготѣнія была бы въ $11\frac{3}{4}$ милліона милліоновъ разъ больше свѣтового давленія. Словомъ, для каждой сферы отношеніе свѣтового давленія къ силѣ тяготѣнія во столько

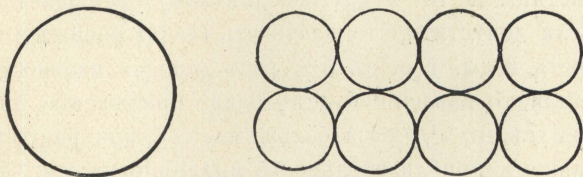


Рис. 32.

разъ увеличивается, во сколько радіусъ уменьшается. Если бы мы продолжали разбивать землю на равныя сферы до тѣхъ поръ, пока радіусъ каждой не оказался бы въ 47 милліоновъ милліоновъ разъ меньше радіуса земли, то полное давленіе свѣта было бы равно полной силѣ тяготѣнія, и, если бы каждая сфера имѣла ту же среднюю плотность, что и земля, т. е. 5·5, то это равенство имѣло бы мѣсто для каждой сферы въ отдѣльности. Радіусъ каждой изъ нихъ равнялся бы тогда приблизительно 13·5 милліонной *см.*

Если бы радіусъ уменьшился еще больше, то давленіе солнечнаго свѣта взяло бы верхъ надъ силой тяготѣнія, и солнце отталкивало бы сферу.

Если отталкиваніе сильнѣе притяженія на одномъ какомъ-нибудь разстояніи отъ солнца, то оно будетъ сильнѣе его въ томъ же отношеніи на любомъ другомъ, такъ какъ давленіе свѣта, какъ и сила тяготѣнія, обратно пропорціонально квадрату разстоянія, такъ что по мѣрѣ удаленія частицы и то и другое одинаково уменьшается. Если допустить, что плотность сферы равна плотности воды, т. е. въ $5\frac{1}{2}$ разъ меньше плотности земли, то давленіе будетъ равно притяженію при радіусѣ, въ $5\frac{1}{2}$ раза бѣльшемъ, т. е. при радіусѣ, равномъ приблизительно 75 милліоннымъ см; это представляетъ собою приблизительно длину волны крайнихъ красныхъ лучей свѣта*.

Поглощающія сферы плотности воды и такого радіуса не подвергались бы со стороны солнца ни притяженію, ни отталкиванію. Меньшія сферы подвергались бы отталкиванію, и, въ концѣ концовъ, были бы совершенно удалены изъ солнечной системы. Если бы онѣ были въ состояніи отражать немного свѣтъ, то отталкиваніе было бы вслѣдствіе этого еще больше, и капля воды радіу-

* См. примѣч. 5.

сомъ въ одну стотысячную *см* отталкивалась бы, вѣроятно, въ десять или двѣнадцать разъ сильнѣе, чѣмъ притягивалась бы. Но законъ обратной пропорціональности радіусу не имѣетъ больше силы, когда радіусъ становится слишкомъ малымъ въ сравненіи съ длиной волны отталкивающихъ свѣтовыхъ лучей. Нѣкоторыя диффракціонныя явленія, указанныя Шварцшильдомъ (Schwarzschild*), начинаютъ играть роль, и при нѣкоторомъ радіусѣ, немного отличающемся отъ только что указаннаго, отношеніе давленія къ притяженію начинаетъ быстро уменьшаться.

Если, слѣдовательно, въ солнечной системѣ имѣются пылинки, величиной въ поперечникѣ около одной стотысячной сантиметра, съ плотностью не больше плотности воды, то онѣ будутъ подвергаться сильному отталкиванію и, наконецъ, будутъ удалены изъ нашей системы.

Образованіе кометныхъ хвостовъ, которые идутъ почти всегда по направленію отъ солнца и почти прямо отъ него, приписывалось давленію свѣта.

Эйлеръ (Euler) уже давно пользовался свѣтовымъ давленіемъ для объясненія существованія хвостовъ у кометъ, но у него не было яснаго

* Kgl. Bayer. Ak. d. Wiss., XXXI, 293 (1901).

доказательства, что свѣтъ производитъ давленіе. Нѣсколько лѣтъ послѣ того, какъ Максвеллъ опубликовалъ свою теорію давленія, Фитцджеральдъ (Fitzgerald)* воскресилъ это объясненіе, примѣнивъ его къ допущенію, что хвостъ состоитъ изъ газообразныхъ веществъ. Но какъ разъ въ этомъ случаѣ свѣтовымъ давленіемъ совершенно невозможно объяснить образованіе хвоста, то впослѣдствіи** призналъ самъ Фитцджеральдъ, потому что ни одинъ газъ не пріобрѣтаетъ достаточнаго количества движенія, чтобы получить скорость, которая наблюдается въ развернувшемся хвостѣ***.

Вскорѣ послѣ опубликованія Фитцджеральдомъ своей гипотезы Лебедевъ**** занялся изслѣдованіемъ давленія, производимаго на маленькія поглощающія частицы, и нашель, что, отталкиваніе преодолѣвало бы притяженіе, если бы частицы были достаточно малы, и что такимъ образомъ могли бы быть объяснены движенія, наблюдаемыя въ хвостахъ нѣкоторыхъ кометъ, при допущеніи, что они состоятъ изъ частицъ

* Scientific Writings, p. 108.

** Scientific Writings, p. 531.

*** См. прим. 6.

**** „Annalen der Physik und Chemie“ XLV, 1892.

требуемой малости. Аррениусъ (Arrhenius)* изслѣдовалъ этотъ вопросъ болѣе подробно и построилъ гипотезу, объясняющую нѣкоторыми электрическими дѣйствіями, исходящими отъ солнца, самосвѣченіе хвоста, которое несомнѣнно имѣетъ мѣсто рядомъ со свѣченіемъ, вызываемымъ отраженіемъ солнечныхъ лучей.

Если наблюдать ту часть головы кометы, которая обращена къ солнцу, то получается впечатлѣніе — можетъ быть, это и есть одно лишь впечатлѣніе — что въ различныхъ направленіяхъ съ одинаковой приблизительно скоростью выбрасывается впередъ матерія, которая дѣлаетъ затѣмъ поворотъ и продолжаетъ свой путь далеко назадъ; все это похоже на фонтанъ, выбрасывающій капли воды, которыя поднимаются на небольшую высоту и затѣмъ падаютъ внизъ. Если съ кометами дѣйствительно такъ обстоитъ дѣло, если передняя часть или „оболочка“ ядра, обращенная къ солнцу, дѣйствительно является границей этого фонтана, то можно вычислить, какъ относится къ силѣ тяготѣнія сила отталкиванія, которая сперва уничтожаетъ скорость, направленную впередъ, а затѣмъ гонитъ материю назадъ, образуя хвостъ. Въ нѣкоторыхъ

* Физика неба (Одесса, 1903) или Образованіе міровъ (2-е изд. Одесса, 1912), гл. IV.

кометахъ отталкиваніе въ двадцать и въ сорокъ разъ сильнѣе притяженія, тогда какъ въ другихъ разница между обѣими силами весьма мала. У нѣкоторыхъ кометъ бываетъ по нѣскольку хвостовъ, и въ каждомъ изъ нихъ отношеніе отталкиванія къ притяженію, видимо, иное. Въ случаяхъ, подобныхъ только что описаннымъ, наблюдаемыя явленія можно было бы объяснить давленіемъ свѣта, если сдѣлать предположеніе, что при приближеніи кометы къ солнцу ядро выбрасываетъ облака пыли, а можетъ быть, капель одинаковой величины, обладающихъ одной и той же скоростью. Но относительно кометы Моргоуза (Morehouse) 1908 года Эдингтонъ (Eddington) * находитъ, что для видимыхъ траекторій струящейся матеріи отталкиваніе должно быть въ сотни разъ сильнѣе притяженія, а это можетъ быть объяснено давленіемъ свѣта съ большой лишь натяжкой.

Итакъ, теорія свѣтового давленія недостаточна для объясненія движеній, которыя какъ будто наблюдаются въ нѣкоторыхъ случаяхъ. Но эта теорія обаятельна и при томъ единственная, которая пытается дать объясненіе образованію кометныхъ хвостовъ и ихъ движенію по опредѣленнымъ траекторіямъ. Электрическое объясненіе

* „Monthly Notices R. A. S.“, мартъ 1910.

является въ настоящее время смутнымъ; и хотя мы можемъ быть почти увѣренными, что самосвѣщеніе хвоста есть явленіе электрическое, всякія разсужденія о природѣ послѣдняго представляютъ собой пока одну лишь гипотезу. Со временемъ мы, можетъ быть, найдемъ, что здѣсь играютъ роль и свѣтовое давленіе, и электрическое дѣйствіе.

Оставляя въ сторонѣ вопросъ объ образованіи кометныхъ хвостовъ, какъ неразрѣшимую пока загадку, займемся другой группой тѣлъ, которыя довольно велики въ сравненіи съ частицами, отбрасываемыми солнцемъ, и все же еще достаточно малы въ сравненіи съ планетами, группой тѣлъ, которыя изобилуютъ въ солнечной системѣ и проявляютъ себя, когда попадаютъ въ нашу атмосферу, гдѣ они погибаютъ въ видѣ падающихъ звѣздъ. Судя по интенсивности свѣта, испускаемаго ими при сгораніи, они должны быть, вообще, невелики; многія изъ нихъ представляютъ собой лишь крупинки матеріи.

Предположимъ, что одно изъ этихъ тѣлецъ обращается вокругъ солнца по окружности и на такомъ же приблизительно разстояніи отъ него, какъ земля. Въ такомъ случаѣ оно представляетъ собой во всѣхъ отношеніяхъ маленькую планету. Пусть оно будетъ черного цвѣта и такимъ

образомъ поглощаетъ весь падающій на него солнечный свѣтъ. Если оно отражаетъ часть лучей, то эффектъ, съ котораго намъ придется начать наше изслѣдованіе, получится нѣсколько большій, чѣмъ въслучаѣ черного тѣла.

Допустимъ, что радіусъ шарика 1 см, а плотность равна плотности земли $5\frac{1}{2}$. Отталкиваніе его солнечнымъ свѣтомъ будетъ уменьшать общее притяженіе приблизительно на 1/74 000. А изъ этого слѣдуетъ, что ему нѣтъ надобности обращаться съ точно такой же скоростью, какъ земля, чтобы не упасть на солнце. Скорость его меньше на $\frac{1}{2} \times 74\,000$, вслѣдствіе чего его годъ больше нашего на 1/148 000, или приблизительно, на 210 секундъ = $3\frac{1}{2}$ минуты. Если бы радіусъ частицы былъ 1/1000 см, то ея годъ увеличился бы на 58 часовъ или приблизительно на $2\frac{1}{2}$ дня.

Если бы имѣлась группа частицъ меньше одного см въ діаметрѣ, которыя были бы разбросаны въ пространствѣ такъ широко, что можно было бы пренебречь дѣйствіемъ ихъ другъ на друга, то онѣ постепенно распредѣлились бы такъ, что большія частицы были бы впереди, а меньшія сзади и, въ концѣ концовъ, онѣ образовали бы вокругъ солнца кольцо.

Всѣ эти разсужденія остаются въ силѣ и въ томъ случаѣ, когда орбита, по которой движутся

частицы, представляет собой эллипс, а не простую окружность, какъ мы это предположили.

Если орбита — эллипс, то имѣетъ мѣсто еще другой эффектъ свѣтового давленія, который мы

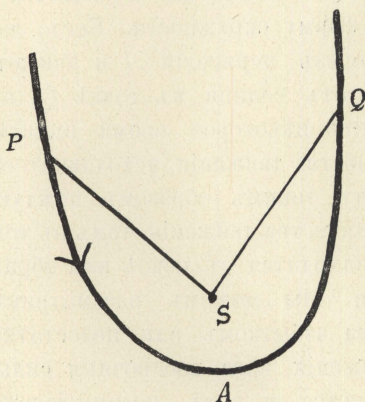


Рис. 33.

можемъ назвать „абсорбціоннымъ (поглощательнымъ) эффектомъ Допплера“ (Doppler Reception Effect).

Пусть PAQ (рис. 33) будетъ орбита. Когда частица проходитъ черезъ P по направленію къ перигелію A и ея разстояніе отъ солнца такимъ

образомъ уменьшается, она идетъ навстрѣчу потоку количества движенія, идущему отъ солнца; поэтому она получаетъ ежесекундно больше количества движенія и подвергается большому давленію солнечнаго свѣта, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда она остается въ покоѣ или обращается по орбитѣ, имѣющей форму окружности. Когда же частица прошла черезъ перигелій A и движется по направленію отъ солнца къ точкѣ Q , напримѣръ, то она идетъ нѣкоторое время вмѣстѣ съ потокомъ количества движенія, исходящаго отъ солнца, и получаетъ такимъ образомъ каждую секунду меньше количества движенія, чѣмъ въ томъ случаѣ, если она находится въ покоѣ или обращается по окружности. Мы можемъ разсматривать силы, вызываемыя избыткомъ или недостаткомъ количества движенія, какъ добавочныя силы, которыя присоединяются къ силѣ, подчиняющейся закону обратной пропорціональности квадрату разстоянія. Въ точкѣ P добавочная сила направлена по SP и представляетъ собою сопротивленіе укорачиванію SP , а въ Q она направлена по QS и представляетъ собой сопротивленіе удлиненію SQ . Результатомъ всего этого является сопротивленіе измѣненію разстоянія отъ солнца, т. е. стремленіе сдѣлать эллиптическую орбиту менѣе эллиптической и болѣе круговой.

Если группа частиц разной величины движется по эллипсу, то послѣдній принимаетъ форму, приближающуюся все болѣе и болѣе къ окружности. Но за данный промежутокъ времени это дѣйствіе сильнѣе для меньшихъ частицъ, чѣмъ для большихъ; это ведетъ къ сортировкѣ ихъ, такъ какъ для первыхъ эллиптичность уменьшается быстрѣе, чѣмъ для вторыхъ.

Есть еще третье дѣйствіе давленія свѣта на маленькую частицу, которое мы можемъ назвать „эмиссионнымъ“ (испускательнымъ) эффектомъ Допплера (Doppler Emission Effect) и которое должно проявляться, какъ сила, всегда сопротивляющаяся движенію частицы. Солнце нагрѣваетъ послѣднюю съ той стороны, которая обращена къ нему, и если она достаточно мала, то теплота проникаетъ во всѣ части довольно быстро, такъ что практически температура ея всюду одна и та же. Если она находится на такомъ же разстояніи отъ солнца, какъ земля, и если она поглощаетъ всѣ падающіе на нее лучи, то температура ея будетъ приблизительно равна средней температурѣ на поверхности земли, а именно около 15° C. При этой температурѣ она испускаетъ столько же лучистой энергіи, сколько поглощаетъ. Но волны, которыя она посылаетъ въ направленіи своего движенія короче волнъ, посылаемыхъ ею въ боковыхъ направленіяхъ, а

послѣднія, въ свою очередь, короче волнъ, идущихъ назадъ. Это видно изъ рисунка 34, на которомъ A, B, C, D обозначаютъ послѣдовательныя положенія частицы, а WA, WB, WC, WD — положенія въ данный моментъ волнъ, посылаемыхъ частицой, когда она находится въ A, B, C, D . Изъ доказаннаго въ первой главѣ

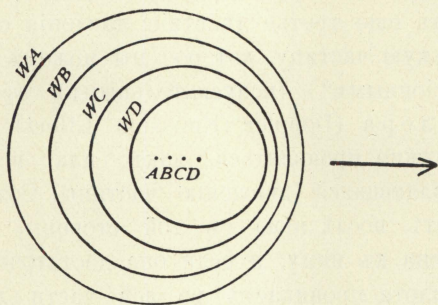


Рис. 34.

слѣдуетъ, что болѣе короткія волны впереди обладаютъ большей энергіей, чѣмъ болѣе длинныя сзади, и что поэтому давленіе больше впереди, чѣмъ сзади; разность представляетъ собой силу, прямо противоположную движенію*. Вычисленія показываютъ, что эта сила пропорциональна излученію солнца, поперечному сѣченію частицы и ея скорости. Результатомъ ея дѣйствія

* См. прим. 7.

является то, что частица всегда теряетъ энергію. Въ самомъ дѣлѣ, такъ какъ она испускаетъ всегда лучистую энергію въ большемъ количествѣ, чѣмъ получаетъ, то ея расходъ больше прихода, и она постоянно заимствуетъ изъ своего капитала, изъ своего собственного запаса энергіи, чтобы сводить концы съ концами.

Когда обращающееся вокругъ солнца тѣло подвергнуто дѣйствию слабой силы сопротивленія, вызывающей потерю энергіи, то его движеніе не замедляется, какъ это можетъ показаться съ перваго взгляда. Оно падаетъ по направленію къ солнцу, и его потенциальная энергія нѣсколько уменьшается. Но потерянная такимъ образомъ потенциальная энергія больше той, которая теряется благодаря силѣ сопротивленія; разность превращается въ кинетическую энергію, и частица движется быстрѣе, чѣмъ раньше. Результатомъ этого сопротивленія движенію является, слѣдовательно, увеличеніе скорости при все уменьшающейся орбитѣ.

Вычисленія показываютъ, что сфера плотности земли, черная настолько, чтобы поглощать всѣ падающіе на нее солнечные лучи, и имѣющая радіусъ въ 1 см, приблизится въ первый годъ къ солнцу, если она находится отъ него на такомъ же разстояніи, какъ земля, приблизительно на 820 метровъ. При слѣдующихъ оборотахъ,

для совершенія которыхъ требуется все меньше и меньше времени, приближеніе тѣла будетъ все больше и больше уменьшаться; однако, за періоды, равные нашему году, приближеніе будетъ все увеличиваться. Если бы можно было допустить, что тѣло движется приблизительно по круглой спирали, все время укорачивающей его разстояніе по одному и тому же закону, то оно достигло бы солнца по истеченіи приблизительно 90 000 000 лѣтъ.

Съ меньшими частицами явленіе происходитъ быстрѣе, и частица радіусомъ въ $\frac{1}{1000}$ см можетъ пройти разстояніе отъ земли до солнца въ 90 000 лѣтъ.

Резюмируемъ сказанное о дѣйствіяхъ свѣтового давленія. Во первыхъ, наблюдается отталкиваніе чрезвычайно малыхъ частицъ, которыя могутъ быть совершенно удалены изъ нашей системы, если онѣ достаточно малы. Тѣла большихъ размѣровъ, для которыхъ сила тяготѣнія превосходитъ давленіе свѣта, испытываютъ дѣйствіе тroyакого рода:

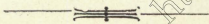
1. Увеличеніе періода обращенія.
2. Стремленіе придать орбитѣ круглую форму.
3. Превращеніе траекторіи въ спираль, которая раньше или позже оканчивается на солнцѣ.

За промежутокъ времени, съ которымъ намъ приходится имѣть дѣло, невозможно опредѣлить

величину этихъ дѣйствій на такія большія тѣла, какъ планеты; но дѣйствія, производимыя на тѣла, радіусъ которыхъ меньше 1 см, могли бы быть измѣрены. Изъ этого можно сразу вывести слѣдующее заключеніе. Наша система теперь полна такихъ тѣлъ, если вѣрно предположеніе, что многія изъ падающихъ звѣздъ представляютъ изъ себя маленькія частицы. Какой бы возрастъ мы ни приписывали солнцу, онъ долженъ быть несравненно больше времени, необходимаго для того, чтобы притянуть къ себѣ всѣ подобнаго рода частицы, которыя первоначально находились въ его системѣ. Запасъ частицъ долженъ былъ, слѣдовательно, непрерывно возобновляться, а это ведетъ насъ къ вѣроятному, по крайней мѣрѣ, заключенію, что онъ возобновляется изъ пространства, находящагося внѣ нашей системы. Имѣются нѣкоторыя основанія допустить, что мы притягиваемъ извнѣ, по крайней мѣрѣ, нѣкоторыя изъ кометъ, и если мы предположимъ, что онѣ состоятъ изъ большихъ массъ такихъ частицъ, мы должны будемъ принять, что разсмотрѣнныя нами здѣсь дѣйствія должны постепенно приводить къ ихъ уничтоженію, если бы даже не было никакихъ другихъ причинъ, дѣйствующихъ въ томъ же направленіи. Первымъ дѣломъ меньшія частицы обнаружили бы стремленіе отставать въ своей орбитѣ. Затѣмъ, всѣ частицы, — меньшія

раньше, чѣмъ большія, — двигались бы по орбитахъ все менѣе и менѣе эллиптическимъ. У всѣхъ было бы, кромѣ того, стремленіе уменьшать свои орбиты и упасть, въ концѣ концовъ, на солнце. Есть очень вѣскія основанія предполагать, что нѣкоторые періодическіе метеорные рои представляютъ собою разрушенныя кометы, разсѣянныя вдоль ихъ орбитъ. Кромѣ того, мы можемъ, повидимому, допустить, что мы присутствуемъ при дальнѣйшемъ разрушеніи кометъ, частицы которыхъ движутся по орбитахъ, сильно отличающимся отъ первоначальныхъ, когда по небу проносится метеоръ, который не можетъ быть причисленъ къ какой-нибудь опредѣленной группѣ.

Но все ведетъ къ одному. Солнце не можетъ допустить присутствія пыли. Самыя мелкія частицы оно совершенно удаляетъ изъ своей системы, производя на нихъ давленіе своимъ свѣтомъ. Теплотой своей оно нагрѣваетъ большія частицы. Послѣднія испускаютъ, въ свою очередь, эту теплоту и вмѣстѣ съ ней часть своей энергіи, которая даетъ имъ возможность сопротивляться притяженію. Мало-по-малу солнце притягиваетъ ихъ къ себѣ; наконецъ, онѣ соединяются съ нимъ, и ихъ отдѣльное существованіе прекращается.



ПРИМѢЧАНІЯ.

Примѣчаніе 1, стр. 9.

Давленіе свѣта по корпускулярной теоріи.

Пусть пучекъ свѣтовыхъ лучей, состоящій, положимъ, изъ частицъ, движущихся со скоростью V , падаетъ перпендикулярно на вполне поглощающую, т. е. совершенно черную поверхность. Пусть будетъ m масса частицъ въ кубическомъ сантиметрѣ. Въ такомъ случаѣ масса частицъ, получаемая однимъ квадратнымъ сантиметромъ въ секунду, представляетъ собой массу столба, длина котораго V см, а поперечное сѣченіе 1 кв. см. Вся масса равна поэтому mV . Такъ какъ скорость равна V , то количество движенія, получаемое въ секунду, равно mV^2 . Но это количество движенія, получаемое въ секунду, равно давленію P на кв. см.

Слѣдовательно,

$$P = mV^2.$$

Такимъ образомъ, давленіе вдвое больше энергіи поступательнаго движенія на кубическій сантиметръ, которая равна $\frac{mV^2}{2}$.

Если бы экспериментаторамъ XVIII-го столѣтія была извѣстна связь между теплотой и механической энергіей, они измѣрили бы количество теплоты Q , получаемой въ секунду, и, выразивъ ее въ механическихъ единицахъ, составили бы равенство $Q = \frac{mV^2}{2} \times V$, гдѣ $\frac{mV^2}{2} \times V$ есть энергія поступательнаго движенія, приходящаяся на длину V пучка. Раздѣливъ на скорость распространенія свѣта V , которая извѣстна, они получили бы $\frac{mV^2}{2}$, что составляетъ половину искомаго давленія.

Если бы можно было допустить, что частицы обладаютъ, кромѣ поступательной энергіи, еще равной ей вращательной, и, сверхъ того, что эта вращательная энергія передается поверхности при поглощеніи, то вся энергія на кубическій сантиметръ была бы mV^2 , т. е. равнялась бы давленію.

Примѣчаніе 2, стр. 31.

Давленіе, вызываемое волнами, перпендикулярными къ поверхности, изъ которой они исходятъ.

Величину этого давленія можно получить слѣдующимъ путемъ.

Пусть V скорость распространенія свѣта, а E — энергія на куб. см. пучка, испускаемаго перпендикулярно квадратнымъ сантиметромъ, когда

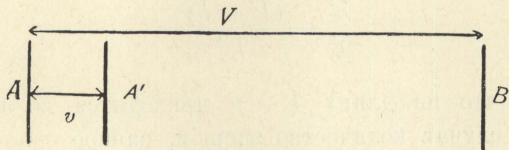


Рис. 35.

источникъ находится въ покоѣ. Теперь допустимъ, что источникъ движется впередъ со скоростью v ; какъ показано на рисункѣ 35, на которомъ A обозначаетъ положеніе источника въ началѣ секунды, B пунктъ, до котораго волны доходятъ по истеченіи секунды, а A' положеніе источника въ концѣ секунды. Если λ_1 длина волны, когда источникъ находится въ покоѣ, а λ_2 — когда послѣдній движется, то разстояніе V , которое занимаетъ известное число

волнъ въ первомъ случаѣ, уменьшается до $V - v$ во второмъ; отсюда

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} = \frac{V}{V - v}.$$

При этомъ предполагается, что амплитуда остается неизмѣнной. Такъ какъ для одного и того же протяженія энергіи подчиняются закону обратной пропорціональности квадрату длины волны, то онѣ относятся между собой, какъ

$$\frac{\lambda_2^2}{\lambda_1^2} = \frac{(V - v)^2}{V^2},$$

такъ что на длину $V - v$ приходится во второмъ случаѣ количество энергіи, равное

$$\frac{EV^2}{(V - v)^2} (V - v) = \frac{EV^2}{V - v}.$$

Приращеніе энергіи равно поэтому

$$\frac{EV^2}{V - v} - EV = \frac{EVv}{V - v}.$$

Оно вызывается работой, совершаемой при перемѣщеніи источника A впередъ на разстояніе v противъ давленія P .

Отсюда

$$Pv = \frac{EVv}{V-v}$$

или

$$P = \frac{EV}{V-v}.$$

Если $v = 0$, т. е. если источник въ покоѣ, то $P_0 = E =$ энергіи на единицу длины. Если v число положительное, т. е. если источник движенія впередъ, то P больше, чѣмъ P_0 ; если же v отрицательно, то P меньше P_0 . Пренебрегая квадратами и высшими степенями $\frac{v}{V}$, мы получаемъ:

$$P = P_0 \left(1 + \frac{v}{V} \right).$$

Примѣчаніе 3, стр. 34.

Давленіе лучей, падающихъ перпендикулярно на идеально отражающую поверхность.

Пусть V будетъ скорость распространенія свѣта, а E энергія на кубическій сантиметръ пучка. Допустимъ, что пріемникъ движется по направленію къ источнику со скоростью v и что онъ находится въ A въ началѣ, а въ B въ концѣ

секунды (рис. 36). Въ такомъ случаѣ онъ получаетъ въ теченіе этой секунды лучистую энергію, которая приходится на длину $CA = V + v$.

Отраженные лучи будутъ занимать меньшую длину BD , гдѣ $AD = V$, а BD , значитъ, $= V - v$.

Если λ_1 есть длина волны падающихъ лучей, а λ_2 отраженныхъ, то

$$\frac{\lambda_2}{\lambda_1} = \frac{V - v}{V + v},$$

такъ какъ CA и BD содержатъ одно и то же число волнъ.

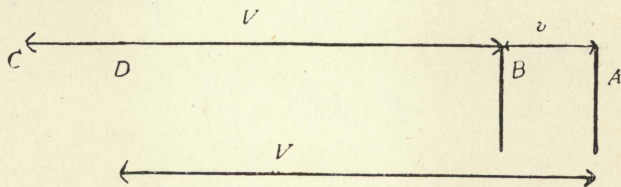


Рис. 36.

При полномъ отраженіи результирующая пертурбація у отражающей поверхности должна быть всегда нулемъ. Отсюда слѣдуетъ, что амплитуды падающихъ и отраженныхъ волнъ должны быть у этой поверхности равны и противоположны. Если, слѣдовательно, E' есть энергія на кубическій

сантиметръ отраженныхъ лучей, то

$$\frac{E'}{E} = \frac{\lambda_1^2}{\lambda_2^2} = \left(\frac{V+v}{V-v} \right)^2.$$

Энергія, приходящаяся на длину $V+v$ падающаго пучка, сѣченіе котораго 1, равна

$$E(V+v),$$

а энергія на длину $V-v$ отраженнаго

$$E'(V-v) = \frac{E(V+v)^2}{V-v}.$$

Количество энергіи увеличивается на

$$\frac{E(V+v)^2}{V-v} - E(V+v) = E \frac{V+v}{V-v} \cdot 2v.$$

Это приращеніе можетъ быть объяснено лишь при допущеніи, что волны производятъ давленіе на поверхность, такъ что на нихъ затрачивается при перемѣщеніи поверхности впередъ работа Pv . Такимъ образомъ

$$Pv = E \frac{V+v}{V-v} \cdot 2v$$

или

$$P = 2E \frac{V+v}{V-v}.$$

Если $v = 0$, то

$$P = 2E,$$

т. е. давленіе равно суммѣ энергій, приходящихся на кубическій сантиметръ падающаго и отраженнаго пучковъ.

Если поверхность движется, то

$$E + E' = 2E \frac{V^2 + v^2}{(V - v)^2},$$

а

$$P = \frac{V^2 - v^2}{V^2 + v^2} (E + E') = \left(1 - \frac{2v^2}{V^2}\right) (E + E')$$

приблизительно.

Примѣчаніе 4, стр. 72.

Давленіе свѣта у преломляющей поверхности.

Въ опытѣ съ прямоугольнымъ кускомъ стекла моментъ вращенія вызывается, по всей вѣроятности, силами, приложенными въ точкахъ *C* и *D* (рис. 28), гдѣ происходитъ полное внутреннее отраженіе.

Можно сдѣлать очень вѣроятное предположеніе, что силы въ точкахъ входа и выхода *B* и *E* перпендикулярны къ поверхности. Онѣ проходятъ вслѣдствіе этого черезъ ось подвѣса и не производятъ никакого вращенія.

Теорія показываетъ, что въ пустотѣ количество движенія, приходящееся на длину *V* пучка

лучей (V представляет собой скорость распространения свѣта), равно энергіи на единицу длины. Это вполне подтверждается на опытѣ, который также показываетъ, что это справедливо для газовъ и при замѣтныхъ давленіяхъ.

Предположимъ, что это имѣетъ мѣсто и въ твердой средѣ, въ стеклѣ, напримѣръ. Тогда

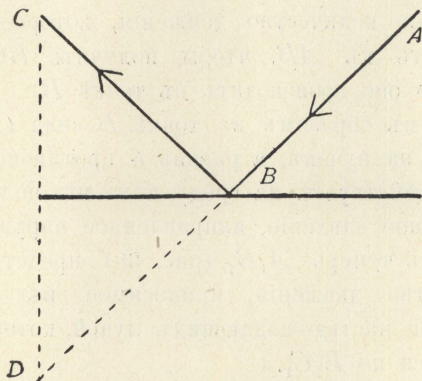


Рис. 37.

можно доказать слѣдующимъ образомъ, что сила въ точкѣ преломленія производитъ на преломляющую среду дѣйствіе, направленное изнутри наружу.

Разсмотримъ отдѣльно отраженную и преломленную часть лучей, падающихъ наклонно на преломляющую среду. Допустимъ, что AB (рис. 37)

отражается по BC . Пусть AB представляет количество движенія, приносимое въ секунду въ точку B частью падающих лучей, которая отражается. Тогда отрѣзокъ BC , равный AB , представляет количество движенія отраженныхъ лучей. Продолжимъ AB до точки D такъ, чтобы BD равнялось AB или BC .

DC представляет тогда по величинѣ и направленію количество движенія, которое нужно прибавить къ AB , чтобы получить BC . Дѣйствіе же оно производитъ въ точкѣ B .

Такимъ образомъ въ точкѣ B сила CD дѣйствуетъ на пучекъ, а равная и противоположная ей DC дѣйствуетъ на среду, такъ что получается нормальное давленіе, направленное наружу.

Пусть теперъ A_1B_1 (рис. 38) представляет количество движенія, приносимое въ секунду въ B_1 той частью падающихъ лучей, которая преломляется по B_1C_1 .

Если E есть энергія на единицу длины пучка A_1B_1 , а E' энергія на единицу длины B_1C_1 , то вслѣдствіе равенства энергіи вдоль обоихъ пучковъ мы получаемъ

$$EV = E'V',$$

гдѣ V и V' скорости распространенія въ обоихъ средахъ.

Но если M и M' будут количества движенія, переносимыя въ секунду обоими пучками, то по нашему предположенію

$$M = E \text{ и } M' = E'.$$

Слѣдовательно,

$$MV = M'V'$$

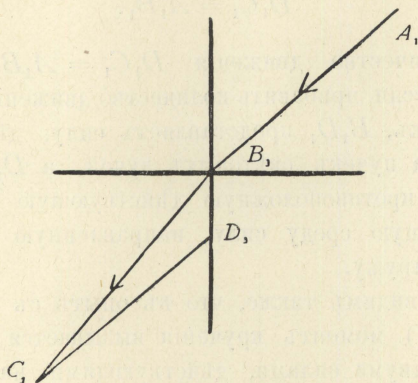


Рис. 38.

или, такъ какъ $V/V' = \mu$, показателю преломленія, то

$$M' = \mu M.$$

Отложимъ $B_1C_1 = \mu A_1B_1$. Тогда B_1C_1 представляетъ M' .

Проведемъ параллельно B_1A_1 линію C_1D_1 такъ, чтобы она встрѣтила въ D_1 нормаль въ B_1 .

Мы получимъ

$$\frac{B_1 C_1}{D_1 C_1} = \frac{\sin B_1 D_1 C_1}{\sin D_1 B_1 C_1} = \frac{\sin i}{\sin r} = \mu.$$

Тогда

$$B_1 C_1 = \mu D_1 C_1$$

или

$$D_1 C_1 = A_1 B_1.$$

Количество движенія $D_1 C_1 = A_1 B_1$ даетъ $B_1 C_1$, если прибавить количество движенія $B_1 D_1$.

Итакъ, $B_1 D_1$ представляетъ силу, дѣйствующую на пучекъ свѣтовыхъ лучей, а $D_1 B_1$ равную и противоположную дѣйствующую на преломляющую среду силу, направленную по нормали наружу.

Мы видимъ также, что въ опытѣ съ призмой (рис. 27) моментъ крученія вызывается по этой теоріи двумя силами, дѣйствующими на стекло изнутри наружу, въ точкахъ D и E .

Примѣчаніе 5, стр. 82.

Давленіе солнечнаго свѣта на поглощающій шаръ въ сравненіи съ силой тяготѣнія.

Все давленіе солнечнаго свѣта на поглощающую сферу радіуса a равно $\pi a^2 S/V$, гдѣ S

потокъ солнечной энергіи въ секунду, а V скорость распространения свѣта, равная 3×10^{10} см/сек.

Величина S на разстояніи земли b равна 2·5 калоріи въ минуту или $1\cdot75 \times 10^6$ эргамъ въ секунду. Отсюда слѣдуетъ, что на разстояніи r величина всего давленія будетъ

$$\pi a^2 \frac{1\cdot75 \times 10^6 b^2}{3 \times 10^{10} r^2}.$$

Солнце притягиваетъ эту сферу съ силой

$$\frac{4}{3} \pi a^3 \rho \frac{GM}{r^2},$$

гдѣ ρ — плотность сферы, G есть постоянная тяготѣнія, а M солнечная масса.

Если свѣтъ отталкиваетъ съ силой въ n разъ большею, чѣмъ сила тяготѣнія, то

$$\frac{1\cdot75 \times 10^6}{3 \times 10^{10}} = n \frac{4}{3} a \rho \frac{GM}{b^2} = n \frac{4}{3} a \rho \times 0\cdot59,$$

такъ какъ $\frac{GM}{b^2}$ представляетъ собой ускореніе

движенія земли въ ея орбитѣ, равное 0·59 см/сек.²; откуда

$$a \rho = \frac{3}{4n} \cdot \frac{1}{10^4}$$

приблизительно.

Если $n = 1$, а $q = 5.5$, то

$$a = \frac{13.5}{10^6} \text{ см.}$$

Если $n = 1$, а $q = 1$, то

$$a = \frac{75}{10^6} \text{ см.}$$

Мы видимъ, что a было бы обратно пропорціонально n , если бы отталкиваніе продолжало слѣдовать тому же самому закону. Но, какъ я уже указалъ въ пятой главѣ, когда a становится меньше извѣстной величины, начинаютъ играть роль диффракціонныя явленія, и отношеніе давленія свѣта къ силѣ тяготѣнія уменьшается. Максимуа это отношеніе достигаетъ, вѣроятно, когда $a = \frac{75}{10^6}$ см. приблизительно для $q = 1$.

Примѣчаніе 6, стр. 84.

Количество матеріи, которое можетъ быть вытолкнуто давленіемъ солнечнаго свѣта.

Возьмемъ площадку въ одинъ квадратный сантиметръ, перпендикулярную къ направленію лучей, идущихъ отъ солнца. Количество движе-

нія, проходящее черезъ нее въ секунду, равно

$$E = \frac{S \cdot b^2}{V \cdot r^2},$$

гдѣ S означаетъ солнечную постоянную въ эр-гахъ на кв. см въ секунду на разстояніи земли b , а r разстояніе разсматриваемаго квадратнаго сантиметра отъ солнца.

Пусть у взятой площадки беретъ начало матерія, которая испытываетъ давленіе свѣта, въ n разъ большее, чѣмъ сила тяготѣнія; предположимъ, что граница пространства, занимаемаго всей матеріей, находится сзади этой площадки въ небольшомъ отдаленіи отъ нея. Максимальное количество отталкиваемой матеріи получается тогда, когда поглощается весь солнечный свѣтъ и все его количество движенія. Пусть оно равняется m .

Сила, съ которой m притягивается, будетъ

$$P = \frac{GMm}{r^2},$$

гдѣ G есть постоянная тяготѣнія, а M солнечная масса.

Если $E = nP$, то

$$\frac{S}{V} \times \frac{b^2}{r^2} = n \frac{GM}{r^2} m,$$

откуда

$$m = \frac{1}{n} \cdot \frac{S}{V} \cdot \frac{1}{GM/b^2}.$$

Но $S = 1.75 \times 10^6$ эргамъ на кв. см въ сек.

$V = 3 \times 10^{10}$ см въ сек.

$$\frac{GM}{b^2} = 0.59 \text{ см/сек.}^2.$$

Слѣдовательно,

$$m = \frac{1}{n} \cdot \frac{1}{10^4}$$

съ большимъ приближеніемъ.

Если взять $n = 1$, то

$$m = \frac{1}{10^4}.$$

Другими словами, вполнѣ поглощенный солнечный свѣтъ можетъ уравновѣсить силу тяготѣнія, дѣйствующую лишь на $\frac{1}{10^4}$ грамма матеріи, нахо-

дящейся за каждымъ квадратнымъ сантиметромъ. Если солнечный свѣтъ частью отражается, то нѣсколько меньше, чѣмъ двойное это количество можетъ подвергаться отталкиванію, уравновѣшивающему притяженіе.

Если поглощающая матерія разсѣяна на разныхъ разстояніяхъ за квадратнымъ сантимет-

ромъ, то количество уравновѣшиваемой матеріи возрастаетъ. Допустимъ, что она находится на разстояніи, вдвое большемъ. Площадь поперечнаго сѣченія конуса, вершина котораго солнце, а основаніе взятый нами квадратный сантиметръ, будетъ на двойномъ разстояніи въ четыре раза больше; вслѣдствіе этого можетъ быть уравновѣшено вчетверо большее количество матеріи. Но въ нашемъ изслѣдованіи мы ограничимся слушаемъ, когда матерія лежитъ за квадратнымъ сантиметромъ въ небольшомъ по сравненію съ r отдаленіи; это, во всякомъ случаѣ, грубо соотвѣтствуетъ тому, что имѣетъ мѣсто въ кометныхъ хвостахъ; сходство это тѣмъ больше, что плотность должна быстро уменьшаться по мѣрѣ удаленія отъ головы кометы. При постоянномъ ускореніи, направленномъ наружу, половина всей матеріи находится въ первой четверти хвоста. Мы сразу видимъ, что никакой газъ не будетъ подвергаться отталкиванію, такъ какъ ни одинъ изъ извѣстныхъ намъ газовъ не даетъ мѣста полному поглощенію для слоя, масса котораго равна всего 10^{-4} гр. на кв. см.

Допустимъ, что матерія состоитъ изъ непрозрачныхъ поглощающихъ частицъ и въ видѣ примѣра возьмемъ $n = 10$, величину, которую можно принять для хвостовъ нѣкоторыхъ кометъ.

Тогда

$$m = \frac{1}{10^5},$$

если поглощается все количество движенія. Если даже принять, что задерживается $\frac{1}{100}$ солнечнаго свѣта (въ дѣйствительности взятая дробь очень велика), то количество отталкиваемой матеріи не можетъ превзойти

$$m = \frac{1}{10^7}.$$

За квадратнымъ километромъ (10^{10} кв. см.) не можетъ находиться больше

$$\frac{10^{10}}{10^7} = 10^3 \text{ гр}$$

или 1 килограмма матеріи.

Мы получаемъ, такимъ образомъ, на основаніи теоріи свѣтового давленія высшій предѣлъ количества матеріи, которое можетъ находиться въ хвостѣ кометы. Если допустимъ, что длина хвоста 10^7 километровъ и что онъ состоитъ изъ поглощающихъ шариковъ, плотность которыхъ единица, а радіусъ 10^{-5} см, то при $n = 10$, максимальное число частицъ n , находящихся за

квадратнымъ сантиметромъ, дается уравненіемъ

$$\nu \cdot \frac{4}{3} \pi 10^{-15} = 10^{-7},$$

откуда

$$\nu = \frac{3}{4\pi} 10^8.$$

Такъ какъ число кубическихъ см, умѣщающихся на разстояніи 10^7 километровъ за 1 кв. см есть 10^{12} , то число частицъ N на куб. см будетъ

$$N = \frac{\nu}{10^{12}} = \frac{3}{4\pi 10^4}$$

или приблизительно 25 на куб. метръ.

Примѣчаніе 7, стр. 92.

Сила сопротивленія, дѣйствующая на сферу, обращающуюся вокругъ солнца и излучающую R на кв. см въ секунду, и сокращеніе ея орбиты.
— Эмиссионный эффектъ Допплера.

Наше изслѣдованіе *) дѣлится на три части:
1°. Давленіе на очень малую площадку, движу-

*) Объ эмиссионномъ эффектѣ Допплера авторъ опубликовалъ работу въ „Phil. Trans.“, 202, 1903, р. 546, но, какъ указано въ примѣчаніи на стр. 550, полученная величина вдвое больше истинной. Методъ, которымъ мы здѣсь пользуемся, является болѣе прямымъ и удовлетворительнымъ.

щуюся по своей нормали. 2°. Тангенціальная сила, дѣйствующая на очень малую площадку, движущуюся въ своей собственной плоскости. 3°. Примѣненіе 1° и 2° къ движущемуся шару.

Принципъ изслѣдованія для 1° и 2° состоитъ въ томъ, что вычисляется количество движенія въ пространствѣ, заключенномъ между двумя полусферическими поверхностями, въ которыхъ имѣетъ мѣсто пертурбація, испускаемая въ теченіе короткаго времени. Поступаясь точностью, мы можемъ принять это время за единицу. Результирующая этого количества движенія, взятая въ обратномъ направленіи, представляетъ собою давленіе на площадку за время испусканія. Потокъ энергіи нормаленъ къ полусферическимъ поверхностямъ, и потому мы можемъ примѣнить методъ нормальнаго потока (прим. 2), который даетъ плотность количества движенія $M = EV$, гдѣ E есть плотность энергіи, а V есть скорость распространенія свѣта.

1°. Давленіе на площадку, движущуюся по своей нормали и испускающую R на кв. см, когда она находится въ покоѣ.

Пусть a будетъ площадка, поверхность которой единица и которая лежитъ въ центрѣ большаго полушарія радіуса r (рис. 39).

Если α находится въ покоѣ, то плотность энергіи полушарія равна

$$E_0 = \frac{R \cos \theta}{\pi r^2 V},$$

такъ какъ потокъ энергіи черезъ него равенъ

$$\int_0^{\pi/2} E_0 V \cdot 2\pi r^2 \sin \theta d\theta = R.$$

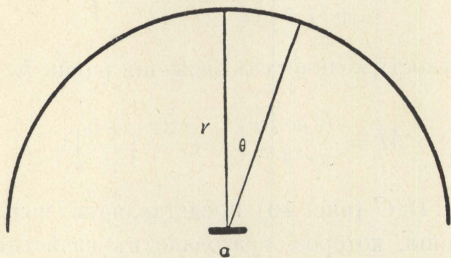


Рис. 39.

Длина волны излученія, испускаемаго, когда α въ покоѣ, пусть будетъ λ_0 .

Сообщимъ теперь α скорость v вдоль его нормали. Скорость въ направленіи θ будетъ $v \cos \theta$; длина волны въ этомъ направленіи будетъ, слѣдовательно,

$$\lambda = \lambda_0 \frac{V - v \cos \theta}{V}.$$

Если принять, что амплитуда остается неизмѣнной, то плотность энергии E на поверхности шара будетъ (примѣчаніе 2)

$$\begin{aligned} E &= E_0 \frac{\lambda_0^2}{\lambda^2} = \frac{E_0 V^2}{(V - v \cos \theta)^2} \\ &= E_0 \left(1 + \frac{2v \cos \theta}{V} \right), \text{ если пренебречь } \frac{v^2}{V^2} \\ &= \frac{R \cos \theta}{\pi r^2 V^2} \left(1 + \frac{2v \cos \theta}{V} \right). \end{aligned}$$

Плотность количества движенія равна E/V или

$$M = \frac{R \cos \theta}{\pi r^2 V^2} \left(1 + \frac{2v \cos \theta}{V} \right).$$

Если ABC (рис. 40) представляетъ полушаріе возмущенія, которое образовало въ извѣстный моментъ a_0 , а DEF полушаріе, образованное а секундою позже, то разстояніе между обѣими поверхностями въ направленіи θ равно

$$V - v \cos \theta.$$

Количество движенія между ними, приходящееся на единицу поверхности одной изъ нихъ, будетъ

$$M(V - v \cos \theta).$$

Его испустило α въ одну секунду. Если возьмемъ нормальныя слагающія и распространимъ интегрированіе на полушаріе, то получимъ

$$\begin{aligned}
 P &= \int_0^{\pi/2} M(V - v \cos \theta) 2\pi r^2 \sin \theta \cos \theta d\theta \\
 &= \int_0^{\pi/2} \frac{2R \cos^2 \theta \sin \theta}{V} \left(1 + 2 \frac{v}{V} \cos \theta \right) \left(1 - \frac{v}{V} \cos \theta \right) d\theta \\
 &= \frac{2}{3} \frac{R}{V} + \frac{1}{2} \frac{Rv}{V^2},
 \end{aligned}$$

если удовольствоваться первой степенью v/V .

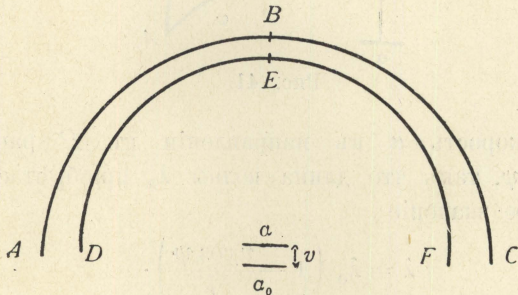


Рис. 40.

2°. Тангенціальная сила, дѣйствующая на площадку, движущуюся въ своей собственной плоскости.

Пусть A (рис. 41) будетъ точкой, къ которой a приближается со скоростью v . Пусть aN есть нормаль, пересекающая въ N полушаріе, проходящее через A и центръ котораго a . Пусть P обозначаетъ точку на полушаріи, лежащую на разстояніяхъ θ отъ N и на разстояніи ψ отъ A . Пусть $ANP = \varphi$.

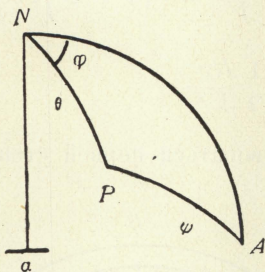


Рис. 41.

Скорость a въ направленіи къ P равна $v \cos \psi$, такъ что длина волны λ_0 приобретаетъ другое значеніе

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 - \frac{v \cos \psi}{V} \right).$$

Но $\cos \psi = \sin \theta \cos \varphi$.

Слѣдовательно,

$$\lambda = \lambda_0 \left(1 - v \frac{\sin \theta \cos \varphi}{V} \right).$$

Плотность энергии въ P равна

$$E = \frac{E_0 \lambda_0^2}{\lambda^2} = \frac{R \cos \theta}{\pi r^2 V} \left(1 + \frac{2v}{V} \sin \theta \cos \varphi \right).$$

Разстояніе между двумя полушаріями будетъ черезъ секунду $V - v \cos \psi = V - v \sin \theta \cos \varphi$. Слагающая между ними въ направленіи движенія, приходящаяся на единицу поверхности количества движенія, равна

$$\frac{E}{V} \cos \psi (V - v \sin \theta \cos \varphi).$$

Если подставить вмѣсто $\cos \psi$ произведение $\sin \theta \cos \varphi$ и вмѣсто E найденное для него значеніе и распространить интегрированіе на полушаровую поверхность между предѣлами $\theta = 0$, $\theta = \pi/2$ и $\varphi = 0$, $\varphi = 2\pi$, то получимъ тангенціальную силу

$$\begin{aligned} \int \int \frac{R \cos \theta}{\pi r^2 V} \sin \theta \cos \varphi \left(1 + \frac{V}{v} \sin \theta \cos \varphi \right) r^2 \sin \theta d\theta d\varphi \\ = \frac{Rv}{4V^2}. \end{aligned}$$

3°. Сила, дѣйствующая на шаръ радіуса a , движущійся со скоростью v .

Пусть A (рис. 42) будетъ концомъ діаметра, въ направленіи котораго шаръ перемѣщается. Скорость точки P , лежащей на разстояніи ψ отъ A ,

будетъ $v \cos \psi$ вдоль нормали въ P и $v \sin \psi$ вдоль касательной въ P , пересекающейся съ AB .

Нормальная скорость даетъ вдоль BA силу

$$\int_0^{\pi} \frac{Rv}{2V^2} \cos^2 \psi \cdot 2a^2 \sin \psi d\psi,$$

такъ какъ интегралъ, относящійся къ члену $\frac{2R}{3V}$, равенъ нулю.

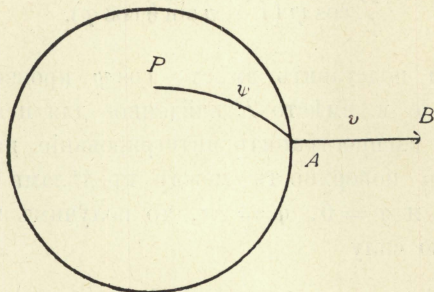


Рис. 42.

Тангенціальная скорость даетъ вдоль BA силу

$$\int_0^{\pi} \frac{Rv}{4V^2} \sin^2 \psi \cdot 2\pi a^2 \sin \psi d\psi.$$

Если мы ихъ сложимъ и произведемъ интегрированіе, то найдемъ, что общая сила вдоль

BA равна

$$\frac{4}{3} \pi a^2 \frac{Rv}{V^2}.$$

Теперь мы можемъ вычислить, насколько сокращается орбита поглощающей сферической частицы, движущейся вокругъ солнца приблизительно по окружности.

Солнечная энергія, поглощаемая однимъ кв. см въ секунду, пусть будетъ S . Потокъ ея образуетъ цилиндръ, поперечное сѣченіе котораго πa^2 . Испускаетъ же ее вся поверхность $4\pi a^2$ по R на кв. см.

Слѣдовательно,

$$4\pi a^2 R = \pi a^2 S$$

или

$$R = \frac{1}{4} S.$$

Вслѣдствіе этого сила сопротивленія будетъ

$$\frac{1}{3} \pi a^2 \frac{Sv}{V^2}.$$

Если плотность шара ϱ , то его масса $\frac{4}{3} \pi a^3 \varrho$, и отрицательное ускореніе будетъ

$$\frac{1}{4} \cdot \frac{1}{a\varrho} \cdot \frac{Sv}{V^2}.$$

Если m масса частицы, то потерянная въ секунду энергія равна

$$\text{силѣ} \times \text{скорость} = \frac{m}{4aQ} \cdot \frac{Sv^2}{V^2}.$$

Предположимъ, что форма орбиты настолько приближается къ окружности, что можно принять

$$\frac{v^2}{r} = \text{ускоренію по направленію къ солнцу} = \frac{GM}{r^2},$$

или

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

Тогда энергія, которая теряется въ секунду, равна

$$\frac{m}{4aQ} \cdot \frac{S}{V^2} \cdot \frac{GM}{r}.$$

Пусть скорость v_1 и разстояніе r_1 приобрѣтутъ черезъ секунду значенія v_2 и r_2 .

Потерянная кинетическая энергія равна

$$\frac{m(v_1^2 - v_2^2)}{2} = \frac{GMm}{2} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right).$$

въ дѣйствительности это—приращеніе, такъ какъ $r_1 > r_2$.

Потерянная потенциальная энергія равна

$$GMm \left(\frac{1}{r_2} - \frac{1}{r_1} \right).$$

Вся потеря равняется, слѣдовательно,

$$\frac{GMm}{2} \cdot \frac{r_2 - r_1}{r_1 r_2}.$$

Такъ какъ разность $r_2 - r_1$ очень мала, то можно положить въ знаменателѣ $r_1 r_2 = r^2$; уменьшеніе же r въ секунду ($r_2 - r_1$) равно $-\frac{dr}{dt}$.

Приравнявъ это потерѣ, вызванной сопротивленіемъ, получимъ

$$-\frac{GMm}{2r^2} \frac{dr}{dt} = \frac{GMm}{r} \cdot \frac{1}{4aQ} \cdot \frac{S}{V^2}.$$

Если выразить S въ функціи ея значенія S_e для разстоянія земли b

$$S = \frac{S_e b^2}{r^2},$$

то получимъ

$$-2r \frac{dr}{dt} = \frac{1}{aQ} \frac{S b^2}{V^2},$$

гдѣ вмѣсто S_e написано S .

<http://mathesis.ru>

Если положимъ $a=1$; $q=5.5$; $r=b=14.8 \times 10^{12}$
 $см$ = разстоянію земли отъ солнца; $S=1.75 \times 10^6$;
 $V=3 \times 10^{10}$, то уменьшеніе r въ секунду будетъ

$$\frac{2 \cdot 61}{10^3} см.$$

Чтобы узнать, насколько орбита сокращается въ теченіе одного года, т. е. времени обращенія на разстояніи b , нужно умножить эту величину на число секундъ въ году (31.5×10^6). Мы получимъ

820 метровъ.

Если допустить, что орбита настолько сохра-
 няетъ форму окружности, что можно пользоваться
 уравненіемъ

$$-2r \frac{dr}{dt} = \frac{1}{aq} \frac{Sb^2}{V^2},$$

то, интегрируя между предѣлами $t=0$ и $t=t$,
 $r=b$ и $r=r_t$, мы будемъ имѣть

$$(b^2 - r_t^2) = \frac{1}{aq} \frac{Sb^2}{V^2} t.$$

Если r_t есть радіусъ солнца, то можно пренебречь
 дробью $\frac{r_t^2}{b^2}$; и время, необходимое для того,

чтобы дойти до солнца, будетъ

$$= aq \frac{V^2}{S}.$$

Раздѣливъ на 31.5×10^6 и взявъ, какъ раньше, $a = 1$, $q = 5.5$, мы получимъ

$$t = 90\,000\,000 \text{ годамъ.}$$

Время пропорціоально aq , такъ что для шара, радіусъ котораго $= 0.001 \text{ см}$, а плотность 5.5 ,

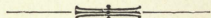
$$t = 90\,000 \text{ годамъ.}$$

Если плотность равна плотности воды, то t равняется всего $16\,000\,000$ и $16\,000$ годамъ.

Мы пользовались здѣсь, конечно, далеко не строгими методами, но полученное сокращеніе орбиты за одинъ годъ на разстояніи земли согласуется съ величиной, которое даетъ точное уравненіе, выведенное авторомъ въ „Phil. Trans.“, если ввести поправку согласно примѣчанію, сдѣланному въ концѣ этой статьи.

Э. Б. Вилсонъ (E. B. Wilson) изслѣдовалъ вопросъ о „обращеніи черной частицы вокругъ свѣтящагося центра (Annals of Mathematics, Second series, vol. VIII, № 3, April 1907); при этомъ онъ принялъ во вниманіе три эффекта, разсмотрѣнные нами въ пятой главѣ, и интегрировалъ уравненія движенія.

Онъ нашелъ, что приближеніе частицы, плотность которой 5·5, а радіусъ 0·01 см, равно послѣ перваго оборота приблизительно 80 километрамъ, что согласуется съ величиной, найденной нами выше. Измѣненіе ея эксцентриситета будетъ около $\frac{1}{1000000}$. А число оборотовъ, которое она совершитъ, будетъ, по всей вѣроятности, меньше десяти милліоновъ.



ОГЛАВЛЕНІЕ.

Гл.		Стр.
	Предисловіе	3
I	Какимъ образомъ свѣтъ производитъ да- вленіе.	5
II	Опыты надъ давленіемъ свѣта, падаю- щаго нормально къ поверхности .	36
III	Опыты надъ давленіемъ свѣта на источ- никъ, изъ котораго онъ исходитъ. Отдача свѣта	48
IV	Опыты, иллюстрирующіе переносъ количе- ства движенія пучкомъ свѣтовыхъ лучей	58
V	Давленіе свѣта въ астрономіи. Нѣкоторые возможныя слѣдствія	79
Прим.		
1	Давленіе свѣта по корпускулярной теоріи.	97
2	Давленіе, вызываемое волнами, перпенди- кулярными къ поверхности, изъ ко- торой онъ исходятъ.	99

II

- | | | |
|---|--|-----|
| 3 | Давленіе лучей, падающихъ перпендикулярно на идеально отражающую поверхность | 101 |
| 4 | Давленіе свѣта у преломляющей поверхности | 104 |
| 5 | Давленіе солнечнаго свѣта на поглощающій шаръ въ сравненіи съ силой тяготѣнія | 108 |
| 6 | Количество матеріи, которое можетъ быть вытолкнуто давленіемъ солнечнаго свѣта | 110 |
| 7 | Сила сопротивленія, дѣйствующая на сферу, обращающуюся вокругъ солнца и излучающую R на кв. см. въ секунду, и сокращеніе ея орбиты. Эмиссионный эффектъ Допплера . . . | 115 |





Книгоиздательство научныхъ и
популярно-научныхъ сочиненій
изъ области физико-математи-
ческихъ наукъ.

Одесса, Новосельская, 66.

ЧИСТАЯ и ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

АДЛЕРЪ, А. ТЕОРІЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХЪ ПОСТРОЕНІЙ.

Перев. съ нѣмецкаго подъ ред. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго*.
XXIV+325 стр. 8°. Съ 177 рис. 1910. Ц. 2 р. 25 к.

Это качество... дѣлаетъ книгу единственной на русскомъ языкѣ въ
данной отрасли геометріи. *Современный міръ.*

АППЕЛЬ, П. проф. и ДОТЕВИЛЛЬ, С. проф. КУРСЪ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКИ. Введеніе въ изученіе физики и прикладной механики. Пер. съ фр. *І. Левинтова* подъ ред. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго*.

Вып. I (механика точки и геометрія массъ). XV+385 стр. 8°. Съ 136 черт. 1912 Ц. 2 р. 50 к

Вып. II (механика системы) XV+359 стр. 8°. Съ 87 черт. Ц. 2 р. 50 к.

Книга по содержащемуся въ ней матеріалу соотвѣтствуетъ университетскому курсу теоретической механики и представляетъ собой сокращенную переработку обширнаго трехтомнаго трактата *П. Аппеля* по теоретической механикѣ.

АРХИМЕДЪ, ГЮЙГЕНСЪ, ЛЕЖАНДРЪ, ЛАМБЕРТЬ. О КВАДРАТУРѢ КРУГА. Съ приложеніемъ исторіи вопроса, составл. проф. *Ф. Рудіо*. (*Библ. класс.*). Пер. съ нѣм. подъ ред. прив.-доц. *С. Бернштейна*. VIII+155 стр. 8°. Съ 21 черт. 1911. Ц. 1. р. 20 к.

БОЛЬЦАНО, Б. ПАРАДОКСЫ БЕЗКОНЕЧНАГО. (*Библ. класс.*). Перев. съ нѣм. подъ ред. проф. *И. В. Слещинскаго*. VIII+120 стр. 8°. Съ 12 черт. 1911. Ц. 80 к.

БОРЕЛЬ, Э. проф. ЭЛЕМЕНТАРНАЯ МАТЕМАТИКА. Въ обработкѣ проф. *В. Штёккеля*. Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ дополненіями прив.-доц. *В. Ф. Кагана*.

Ч. I. Ариѳметика и Алгебра. LXIV+434 стр. 8°. 1911. Ц. 3 р.

Ч. II. Геометрія. VIII+332 стр. 8°. Съ 403 черт. 1912. Ц. 2 р.

WEBER Н., проф. и WELLSTEIN J., проф. ЭНЦИКЛОПЕДИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ МАТЕМАТИКИ Руководство для преподающих и изучающих элементарную математику. Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ прим. прив.-доц. *В. Кагана*.

Томъ I. ЭЛЕМЕНТАРНАЯ АЛГЕБРА и АНАЛИЗЪ, * обраб. проф. *Веберомъ*. XXIV+666 стр. 8^о. Съ 38 черт. 2-е изд. 1911 г. Ц. 4 р.

Вы все время видите передъ собой мастера своего дѣла, который съ любовью показываетъ великія творенія челоуѣческой мысли, извѣстныя ему до тончайшихъ подробностей.

Педагогическій Сборникъ.

Томъ II. ЭЛЕМЕНТАРНАЯ ГЕОМЕТРИЯ, составленная *Веберомъ, Вельштейномъ и Якобсталемъ*.

Книга I. ОСНОВАНІЯ ГЕОМЕТРИИ. * Состав. *I. Вельштейнъ*. XII+362 стр., больш. 8^о. Съ 142 черт. и 5 рис. 1909. Ц. 3 р.

Особый интересъ представляетъ въ книгѣ г. Вельштейна своеобразное изложеніе не-евклидовой геометріи, а также изложеніе проективной геометріи.

Жур. Мин. Н. Пр.

Книга II и III. ТРИГОНОМЕТРИЯ, АНАЛИТИЧЕСКАЯ ГЕОМЕТРИЯ и СТЕРЕОМЕТРИЯ. Составили *Г. Веберъ и В. Якобсталь*. VII+321 стр. больш. 8^о. Съ 109 черт. 1910. Ц. 2 р. 50 к.

ГЕЙБЕРГЪ, I. проф. НОВОЕ СОЧИНЕНІЕ АРХИМЕДА*. Посланіе Архимеда къ Эратосѣену о нѣкоторыхъ вопросахъ механики. (*Библ. класс.*). Перев. съ нѣм. подъ ред. и съ предисл. прив.-доц. *И. Ю. Тимченко*. XV+27 стр. 8^о. Съ 15 рис. 1909. Ц. 40 к.

Математикамъ... будетъ весьма интересно познакомиться съ новой драгоцѣнной научной находкой...

Образованіе.

ДЕДЕКИНДЪ, Р. проф. НЕПРЕРЫВНОСТЬ и ИРРАЦИОНАЛЬНЫЯ ЧИСЛА. * (*Библ. класс.*). Пер. съ нѣм. прив.-доц. *С. О. Шапуновскаго*, съ присоед. его статьи: „Доказательство существованія трансцендентныхъ чиселъ“. 2-е изд. 40 стр. 8^о 1909. Ц. 40 к.

Небольшой по объему, но, такъ сказать, законодательный по содержанию трудъ..

Русская Школа.

ДЗЮБЕКЪ, О. проф. КУРСЪ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ. Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ примѣч. проф. *СПБ. высш. женск. курсовъ Вѣры Шиффъ*.

Часть I. Аналитическая геометріа на плоскости. 390 стр. 8^о. Съ 87 черт. 1912. Ц. 2 р. 50 к.

Часть II. Аналитическая геометріа въ пространствѣ. Печатается.

** Изданія, отмѣченныя звѣздочкой, признаны Учен. Ком. Мин. Нар. Просв. подлежащими внесенію въ списокъ книгъ, заслуживающихъ вниманія при пополненіи учен. библіотекъ средн. учебн. заведеній.*

КНИГОИЗДАТЕЛЬСТВО „МАТЕЗИСЪ“.

КАГАНЪ, В. прив.-доц. ЗАДАЧА ОБОСНОВАНІЯ ГЕОМЕТРИИ ВЪ СОВРЕМЕННОЙ ПОСТАНОВКѢ. Рѣчь. произнесенная при защитѣ диссертациі на степень магистра чистой математики. 35 стр. 8°. 11 черт. 1908. Ц. 35 к.

КАГАНЪ, В. прив.-доц. ЧТО ТАКОЕ АЛГЕБРА? * 72 стр. 16°. 1910. Ц. 40 к.

Книжка написана яснымъ простымъ языкомъ и, несомнѣнно, вызоветъ къ себѣ интересъ. *Русская Мысль.*

КЛЕЙНЪ, Ф. проф. ВОПРОСЫ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ и ВЫСШЕЙ МАТЕМАТИКИ. Лекціи. читанныя для учителей. Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ дополн. прив.-доц. *В. Ф. Кагана.* VIII+480 стр. 8°. 1912. Ц. 3 р.

КОВАЛЕВСКИЙ, Г. проф. ВВЕДЕНИЕ ВЪ ИСЧИСЛЕНИЕ БЕЗКОНЕЧНО-МАЛЫХЪ. * Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ прим. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго.* VIII+140 стр. 8°. Съ 18 черт. 1909. Ц. 1 р.

Книга проф. Ковалевскаго, несомнѣнно, прекрасное введение въ высшій анализъ. *Русская Школа.*

КОВАЛЕВСКИЙ, Г. проф. ОСНОВЫ ДИФФЕРЕНЦІАЛЬНАГО и ИНТЕГРАЛЬНАГО ИСЧИСЛЕНІЙ. Пер. съ нѣм. подъ ред. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго.* VIII+496 стр. 8°. 1911. Ц. 3 р. 50 к.

Курсъ профессора бонскаго университета, несомнѣнно, является однимъ изъ лучшихъ по ясности и чрезвычайной строгости обоснованія одного изъ могущественныхъ методовъ современнаго анализа. *Совр. Міръ.*

КУТЮРА, Л. АЛГЕБРА ЛОГИКИ. Пер. съ фр. съ прибавленіями проф. *И. Слешинскаго.* IV+107+XIII стр. 8°. 1909. Ц. 90 к.

КЭДЖОРИ, Ф. проф. ИСТОРИЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ МАТЕМАТИКИ (съ указаніями на методы преподаванія) *. Пер. съ англ. подъ ред. и съ прим. прив.-доц. *И Ю. Тимченко.* VIII+368 стр. 8°. Съ рис. 1910. Ц. 2 р. 50 к.

Книга читается съ большимъ интересомъ и весьма полезна... Мы настоятельно рекомендуемъ „Исторію элем. мат.“ Кэджори. *Вѣстн. Восп.*

МАРКОВЪ, А. акад. ИСЧИСЛЕНИЕ КОНЕЧНЫХЪ РАЗНОСТЕЙ. Въ 2 частяхъ. Изданіе 2-е, исправленное и дополненное. VIII+274 стр. 8°. 1911. Ц. 2 р. 25 к.

НЕТТО, Е. проф. НАЧАЛА ТЕОРИИ ОПРЕДѢЛИТЕЛЕЙ. Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ прим. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго.* VIII+156 стр. 8°. 1912. Ц. 1 р. 20 к.

ПУАНКАРЕ, Г. проф. НАУКА и МЕТОДЪ. Пер. съ франц. *И. Брусиловскаго* подъ ред. прив.-доц. *В. Кагана.* VIII+384 стр. 16°. 1910. Ц. 1 р. 50 к.

... книгу Пуанкаре можно рекомендовать особому вниманію преподавателей математики и естествознанія. *Вѣстникъ Воспитаній.*

РОУ, С. ГЕОМЕТРИЧЕСКІЯ УПРАЖНЕНІЯ СЪ КУСКОМЪ БУМАГИ. Пер. съ англ. XVI+173 стр. 16°. Съ 87 рис. 1910. Ц. 90 к.

Производить впечатлѣніе гармоничнаго цѣлаго и читается съ большимъ интересомъ. *Русская Школа.*

РУССКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БИБЛЮГРАФІЯ. Вып. I. Списокъ сочин. по чистой и прикл. математикѣ, напечат. въ Россіи въ 1908 г. Подъ ред. проф. *Д. М. Синцова.* 76 стр. 8°. 1911. Ц. 60 к.

ЦИММЕРМАНЪ, Б. проф. ОБЪЕМЪ ШАРА, ШАРОВОГО СЕГМЕНТА и ШАРОВОГО СЛОЯ. 34 стр. 16°. Съ 6 черт. 1908. Ц. 25 к.

Распространеніе подобнаго рода элементарныхъ монографій среди учащихся весьма желательно. *Русская Школа.*

ШУБЕРТЪ, Г. проф. МАТЕМАТИЧЕСКІЯ РАЗВЛЕЧЕНІЯ и ИГРЫ. Пер. съ нѣм. *Г. Левинтова,* подъ ред. съ прим. и доб. „В. О. Ф. и Эл. Мат.“ XIV+358 стр. 16°. Со мног. табл. 1911. Ц. 1 р. 40 к.

Ф И З И К А

АБРАГАМЪ, Г. проф. СБОРНИКЪ ЭЛЕМЕНТАРНЫХЪ ОПЫТОВЪ ПО ФИЗИКѣ.* Пер. съ франц. подъ ред. проф. *Б. П. Вейнберга.*

Часть I: XVI+272 стр. 8°. Свыше 300 рис. *2-е изд.* 1909. Ц. 1 р. 50 к.

Систематически составленный сводъ наиболѣе удачныхъ, типичныхъ и поучительныхъ опытовъ. *Вѣстникъ и Библиотека Самообразованія*

Часть II: 434+LXXV стр. 8°. Свыше 400 рис. *2-е изд.* 1910 г. Ц. 2 р. 75 к.

Мы надѣмся, что разбираемый трудъ станетъ настольной книгой каждой физической лабораторіи въ Россіи. *Русская Мысль.*

АУЭРБАХЪ, Ф. проф. ЦАРИЦА МІРА и ЕЯ ТѢНЬ.* Общедоступное изложеніе основаній ученія объ энергіи и энтропії. Пер. съ нѣм. VIII+50 стр. 8°. *5-е изданіе* 1911. Ц. 40 к.

Слѣдуетъ признать брошюру Ауэрбаха чрезвычайно интересной. *Ж. М. Н. Пр.*

БРАУНЪ, Ф. проф. МОИ РАБОТЫ ПО БЕЗПРОВОЛОЧНОЙ ТЕЛЕГРАФІИ и ПО ЭЛЕКТРООПТИКѣ. Рѣчь, произн. по случаю полученія Нобелевской преміи, съ дополн. автора. Пер. съ рукописи *Л. Мандельштама* и *Н. Патаleckи,* со вступит. статьей переводчик. XIV+92 стр. 16°. Съ 25 рис. и портр. авт. 1911. Ц. 70 к.

БРУНИ, К. проф. ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ.* Пер. съ итал. подъ ред. „Вѣстн. Оп. Физ. и Эл. Мат.“ 37 стр. 16°. 1909. Ц. 25 к.

ВЕТГЭМЪ, В. проф. **СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТИЕ ФИЗИКИ** *. Пер. съ англ. подъ ред. проф. *Б. П. Вейнберга* и прив.-доц. *А. Р. Орбинскаго*. Съ Прилож. рѣчи *А. Бальфура*. НѢСКОЛЬКО МЫСЛЕЙ О НОВОЙ ТЕОРИИ ВЕЩЕСТВА. VIII+277 стр. 8°. Съ 5 порт. и 39 рис. 2-е изд. 1912. Ц. 2 р.

...рисуетъ читателю дѣйствительно захватывающую картину гран-
диозныхъ завоеваній человѣческаго генія. *Современный Миръ.*

ВЕЙНБЕРГЪ, Б. П. проф. **СНѢГЪ, ИНЕЙ, ГРАДЪ, ЛЕДЪ и ЛЕДНИКИ** *. IV+127 стр. 8°. Съ 137 рис. и 2 фототип. табл. 1909. Ц. 1 р.

„Mathesis“ можетъ гордиться этимъ изданіемъ. *Ж. М. Н. Пр.*

ВИНЕРЪ, О. проф. **О ЦВѢТНОЙ ФОТОГРАФИИ и РОДСТВЕННЫХЪ ЕЙ ЕСТЕСТВЕННО-НАУЧНЫХЪ ВОПРОСАХЪ** *. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *Н. П. Кастерина*. VI+69 стр. 8°. Съ 3 цвѣт. табл. 1911. Ц. 60 к.

ГЕРНЕТЪ, В. А. **ОБЪ ЕДИНСТВѢ ВЕЩЕСТВА**. 46 стр. 16°. Ц. 25 к.

ЗЕЕМАНЪ, П. проф. **ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЦВѢТОВЪ СПЕКТРА**. Съ прил. статьи *В. Ритца* „Линейные спектры и строеніе атомовъ“. Пер. съ нѣм. 50 стр. 16°. Ц. 30 к.

КАЙЗЕРЪ, Г. проф. **РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННОЙ СПЕКТРОСКОПИИ**. * Пер. съ нѣм. подъ ред. „*Вьст. Оп. Ф. и Эл. М.*“ 45 стр. 16°. 1910. Ц. 25 к.

Одинъ изъ лучшихъ обзоровъ... Онъ содержитъ, въ сжатомъ видѣ, исторію открытія спектральнаго анализа и дальнѣйшаго ея развитія до нашихъ дней. *Журн. Мин. Н. Пр.*

КЛОССОВСКІЙ, А. проф. **ОСНОВЫ МЕТЕОРОЛОГИИ**. * XVI+527 стр. больш. 8°. Съ 199 рис., 2 цвѣтн. и 3 черн. табл. 1910. Ц. 4 р.

Честь и слава „Mathesis“ за изданіе этой прекрасной книги, ко-
рою можетъ гордиться русская наука. *Ж. М. Н. Пр.*

КЛОССОВСКІЙ, А. проф. **ФИЗИЧЕСКАЯ ЖИЗНЬ НАШЕЙ ПЛАНЕТЫ НА ОСНОВАНІИ СОВРЕМЕННЫХЪ ВОЗЗРѢНІЙ**. * 46 стр. 8°. 2-е изданіе, испр. и дополн. 1908. Ц. 40 к.

Рѣдко можно встрѣтить изложеніе, въ которомъ въ такой степени соединялась бы высокая научная эрудиція съ картинностью и увлекательностью рѣчи. *Педагогическій Сборникъ.*

КОНЪ, Э. проф. и **ПУАНКАРЕ, Г.** акад. **ПРОСТРАНСТВО и ВРЕМЯ СЪ ТОЧКИ ЗРѢНІЯ ФИЗИКИ**. Пер. подъ ред. „*Вьстн. Оп. Физ. и Эл. Мат.*“. 81 стр. 16°. Съ 11 рис. 1912. Ц. 40 к.

ЛАКУРЪ П. и АППЕЛЬ Я. ИСТОРИЧЕСКАЯ ФИЗИКА. *
Пер. съ нѣм. подъ ред. *Вистн. Оп. Физики и Эл. Мат.*. Въ 2-хъ томахъ больш. формата 892 стр. Съ 799 рисун. и 6 отд. цвѣтн. табл. 1908. Ц. 7 р. 50 к.

Нельзя не привѣтствовать этого интереснаго изданія... Книга читается легко; содержитъ весьма удачно подобранный матеріалъ и обильно снабжена хорошо выполненными рисунками. Переводъ никакихъ замѣчаній не вызываетъ.
Ж. М. Н. Пр.

ЛЕМАНЪ, О. проф. ЖИДКІЕ КРИСТАЛЛЫ и ТЕОРИИ ЖИЗНИ.
Пер. съ нѣм. *П. В. Казанецкаго*. VIII+43 стр. 8°. Съ 30 рис. 1908. Ц. 40 к.

... весьма кстати является краткая сводка главныхъ фактовъ, сдѣланная проф. Леманомъ.
Педагогическій Сборникъ.

ЛИНДЕМАНЪ, Ф. проф. СПЕКТРЪ и ФОРМА АТОМОВЪ.
Рѣчь ректора Мюнхенскаго универс. 23 стр. 16°. 2-е изд. Ц. 15 к.

ЛОДЖЪ, О. проф. МИРОВОЙ ЭЭИРЪ. Пер. съ англ. подъ ред. прив.-доц. *Д. Д. Хмырова*. VI+216 стр. 16°. Съ 19 рис. 1911. Ц. 80 к.

ЛОРЕНЦЪ, Г. проф. КУРСЪ ФИЗИКИ. * Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *Н. П. Кастерина*. Съ добавленіями автора къ русскому изданію.

Т. I. VIII+356 стр. бол. 8°. Съ 236 рис. 2-изд. 1912. Ц. 2 р. 75 к.

Т. II. VIII+466 стр. больш. 8°. Съ 257 рис. 1910. Ц. 3 р. 75 к.

Съ появленіемъ этого перевода русская литература обогатилась превосходнымъ курсомъ физики.
Ж. М. Н. Пр.

МАЙКЕЛЬСОНЪ, А. проф. СВѢТОВЫЯ ВОЛНЫ и ИХЪ ПРИМѢНЕНІЯ. Перевела съ англ. *В. О. Хвольсонъ* подъ ред. за-служ. проф. *О. Д. Хвольсона* съ дополн. статьями и примѣч. редактора. VIII+192 стр. Съ 108 рис. и 3 цвѣтн. табл. 1912. Ц. 1 р. 50 к.

МОРЕНЪ, Ш. ФИЗИЧЕСКІЯ СОСТОЯНІЯ ВЕЩЕСТВА. Пер. съ франц. подъ ред. проф. *Л. В. Писаржевскаго*. VIII+224 стр. 8°. Съ 21 рис. 1912. Ц. 1 р. 40 к.

ПЕРРИ, ДЖ. проф. ВРАЩАЮЩИЙСЯ ВОЛЧОКЪ. * Публ. лекція. Съ добавл. статьи проф. *Б. Доната*. „Волчокъ и его будущее въ технику“. Пер. съ англ. и фр. VIII+116 стр. 8°. Съ 73 рис. 3-е изданіе. 1912. Ц. 60 к.

Книжка, воочію показывающая, какъ люди истиннаго знанія, не цеховой только науки, умѣютъ распоряжаться научнымъ матеріаломъ при его популяризаціи.
Русская Школа.

ПЛАНКЪ, М. проф. ОТНОШЕНИЕ НОВѢЙШЕЙ ФИЗИКИ КЪ МЕХАНИСТИЧЕСКОМУ МИРОВОЗЗРѢНІЮ. Пер. съ нѣм. *Г. Левинтова*, подъ ред. „*Вѣст. Оп. Ф. и Эл. М.*“ 42 стр. 16° 1911. Ц. 25 к.

РАМЗАЙ, В. проф. БЛАГОРОДНЫЕ и РАДИОАКТИВНЫЕ ГАЗЫ. Пер. подъ ред. „*Вѣстн. О. Ф. и Э. М.*“ 37 стр. 16°. Съ 16 рис. 1909. Ц. 25 к.

РИГИ, А. проф. СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРІЯ ФИЗИЧЕСКИХЪ ЯВЛЕНІЙ. * (Ионы, электроны, радиоактивность). Пер. съ 3 итальян. изданія. VIII+146 стр. 8°. Съ 21 рис. 1910. 2-е изд. Ц. 90 к.

Книгу Риги можно смѣло рекомендовать образованному человѣку, какъ лучшее имѣющееся у насъ изложеніе новѣйшихъ взглядовъ на обширную область физическихъ явленій.
Педагогическій Сборникъ.

РИГИ, А проф. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИРОДА МАТЕРІИ. * Вступительная лекція. Пер. съ итальян. подъ ред. „*Вѣст. Оп. Ф. и Эл. Мат.*“ 28 стр. 8°. 2-е изд. 1911. Ц. 30 к.

Эта прекрасная рѣчь обладаетъ всѣми преимуществами многочисленныхъ популярныхъ сочиненій знаменитаго профессора Болоньскаго университета.
Ж. М. Н. Пр.

СЛАБИ, А. проф. БЕЗПРОВОЛОЧНЫЙ ТЕЛЕФОНЪ. Пер. съ нѣм. подъ ред. „*Вѣст. Оп. Физ. и Эл. Мат.*“ 28 стр. 8°. Съ 23 рис. 1909. Ц. 30 к.

СЛАБИ, А. проф. РЕЗОНАНСЪ и ЗАТУХАНІЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХЪ ВОЛНЪ. Пер. съ нѣм. подъ ред. „*Вѣст. Оп. Физ. и Эл. Мат.*“ 41 стр. 8°. Съ 36 рис. Ц. 40 к.

Обѣ брошюры принадлежатъ перу большого знатока предмета и выдающагося самостоятельнаго работника въ области практическаго примѣненія электрическихъ волиъ.
Педагогическій Сборникъ.

СОДДИ, Ф. проф. РАДІЙ и ЕГО РАЗГАДКА. * Пер. съ англ. подъ ред. прив-доц. *Д. Хмырова*. VII+190 стр. 8°. Съ 31 рис. 1910. Ц. 1 р. 25 к.

... авторъ въ увлекательномъ изложеніи вводитъ читателя въ необыкновенно заманчивую область...
Педагогическій Сборникъ.

ТОМСОНЪ Дж. Дж. проф. КОРПУСКУЛЯРНАЯ ТЕОРІЯ ВЕЩЕСТВА. Пер. съ англ. *Г. Левинтова*, подъ ред. „*Вѣст. О. Ф. и Э. М.*“ VIII+162 стр. 8°. Съ 29 рис. 1910. Ц. 1 р. 20 к.

ТОМПСОНЪ, СИЛЬВАНУСЪ, проф. ДОБЫВАНІЕ СВѢТА * Общедост. лекція для рабочихъ, прочит. на собраніи Брит. Ассоціаціи 1906. Пер. съ англ. VIII+88 стр. 16°. Съ 28 рис. 1909. Ц. 50 к.

Въ этой весьма интересно составленной рѣчи собранъ богатый матеріалъ по вопросу добыванія свѣта.
Ж. М. Н. Пр.

УСПѢХИ ФИЗИКИ. Сборникъ статей подъ ред. „Вѣстника Опытной Физики и Элементарной Математики“.

Выпускъ I. * VIII+148 стр. 8°. Съ 41 рис. и 2 табл. изд. 3-е. 1909. Ц. 75 к.

Изящно изданный и недорогой сборникъ прочтется каждымъ интересующимся съ большимъ интересомъ,
Вѣстникъ Знанія.

Выпускъ II. IV+204 стр. съ 50 рис. 1911. Ц. 1 р. 20 к.

Х И М И Я.

МАМЛОКЪ, Л. д-ръ. СТЕРЕОХИМИЯ. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *П. Г. Меликова.* VIII+164 стр. 8°. Съ 58 рис. 1911. Ц. 1 р. 20 к.

РАМЗАЙ, В. проф. ВВЕДЕНІЕ ВЪ ИЗУЧЕНІЕ ФИЗИЧЕСКОЙ ХИМИИ. Пер. съ англ. подъ ред. проф. *П. Г. Меликова.* VIII+76 стр. 16°. 1910. Ц. 40 к.

Главный интересъ обзора конечно въ томъ, что онъ сдѣланъ крупнымъ самостоятельнымъ изслѣдователемъ въ этой области. *Педагог. Сборн.*

СМИТЪ, А. проф. ВВЕДЕНІЕ ВЪ НЕОРГАНИЧЕСКУЮ ХИМИЮ. Пер. англ. подъ ред. *П. Г. Меликова.* XVI+840 стр. 8°. Съ 107 рис. 1911. Ц. 3 р. 50 к.

Такіе первокласные ученые, какъ Лёбъ, Оствальдъ и др. признали что „Введение въ неорганическую химию“ Смита обогащаетъ учебную литературу и въ ряду многочисленныхъ руководствъ по химіи должно занять особое, значительное мѣсто. *Речь.*

ШЕЙДЪ, К. ХИМИЧЕСКІЕ ОПЫТЫ ДЛЯ ЮНОШЕСТВА. Пер. съ нѣм. подъ ред. прив.-доц. *Е. С. Ельчанинова.* IV+192 стр. 8°. Съ 79 рис. 1907. Ц. 1 р. 20 к.

ШТОКЪ, А. проф. и **ШТЕЛЛЕРЪ,** прив.-доц. ПРАКТИЧЕСКОЕ РУКОВОДСТВО ПО КОЛИЧЕСТВЕННОМУ АНАЛИЗУ. Пер. съ нѣм. лабор. Новор. Унив. *А. Г. Коншина* подъ ред. проф. *П. Г. Меликова.* Пер. съ нѣм. VIII+172 стр. 8°. Съ 37 рис. 1911. Ц. 1 р. 20 к.

А С Т Р О Н О М І Я.

АРРЕНИУСЪ, Св. проф. ОБРАЗОВАНІЕ МИРОВЪ *. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *К. Д. Покровскаго.* VIII+200 стр. 8°. Съ 60 рис. 2-е изд. 1912. Ц. 1 р. 75 к.

Книга чрезвычайно интересна и богата содержаніемъ. *Педагог. Сборн.*

КНИГОИЗДАТЕЛЬСТВО „МАТЕЗИСЪ“.

АРРЕНИУСЪ, Св. проф. ФИЗИКА НЕБА *. Пер. съ нѣм. подъ ред. прив.-доц. *А. Р. Орбинскаго*. VIII+250 стр. 8^о. Съ 68 рис. Черн. и спектр. таблицы. 1905. Изданіе распродано.

Научность содержанія, ясность и простота изложенія и превосходный переводъ соперничаютъ другъ съ другомъ *Русская Мысль*.

БОЛЛЪ, Р. С. проф. ВѢКА и ПРИЛИВЫ. Пер. съ англ. подъ ред. прив.-доц. *А. Р. Орбинскаго*. 104 стр. 8^о. Съ 4 рис. и 1 табл. Ц. 75 к.

.....настоящее изданіе „Mathesis“ слѣдуетъ привѣтствовать наравнѣ съ прочими, какъ почтенный, заслуживающій распространенія и серьезнаго вниманія, вкладъ въ русскую науку. *Русская Школа*.

ВИХЕРТЪ, Э. проф. ВВЕДЕНІЕ ВЪ ГЕОДЕЗИЮ *. Пер. съ нѣм. IV+95 стр. 16^о. Съ 14 рис. 2-е изд. 1912. Ц. 35 к.

Излагаетъ основы низшей геодезіи, имѣя въ виду пользованіе ею въ школь въ качествѣ практическаго пособія... Изложеніе очень сжато, но полно и послѣдовательно. *Вопросы Физики*.

ГРАФФЪ, К. КОМЕТА ГАЛЛЕЯ *. Пер. съ нѣм. VIII+71 стр. 16^о. Съ 13 рис. и 2 отд. табл. Изд. второе испр. и доп. 1910. Ц. 30 к.
Брошюра Граффа хорошо выполняетъ свое назначеніе. *Педаг. Сбор.*

ГАЛЕЕВА КОМЕТА ВЪ 1910 ГОДУ. *Общедоступное изданіе.* Содержаніе: О вселенной—О кометахъ—О кометѣ Галлея. 32 стр. 8^о. Съ 12 иллюстраціями. 1910. Ц. 12 к.

ЛОВЕЛЛЪ, П. проф. МАРСЪ и ЖИЗНЬ НА НЕМЪ. Пер. съ англ. подъ ред. и съ предисл. прив.-доц. *А. Р. Орбинскаго*. XXI+272 стр. 8^о. Со многими рис. и 1 цвѣтн. табл. 1912. Ц. 2 р.

НЬЮКОМЪ, С. проф. АСТРОНОМІЯ ДЛЯ ВСѢХЪ *. Пер. съ англ. подъ ред. и съ предисл. прив.-доц. *А. Р. Орбинскаго*. XX+288 стр. 8^о. Съ порт. автора, 64 рис. и 1 табл. 2-е изд. 1911. Ц. 1 р. 50 к.

Вполнѣ научно, и совершенно доступно, и изящно написанная книга... переведена и издана очень хорошо. *Вѣстникъ Воспитанія*.

НЬЮКОМЪ, С. проф. ТЕОРІЯ ДВИЖЕНІЯ ЛУНЫ (исторія и современное состояніе этого вопроса). 26 стр. 16^о. Ц. 20 к.

ФУРНЬЕ ДАЛЬБЪ. ДВА НОВЫХЪ МІРА. 1. Инфра міръ. 2. Супра-міръ. Пер. съ англ. VIII+119 стр. 8^о. Съ 1 рис. и 1 табл. 1911. Ц. 80 к.

БІОЛОГІЯ

ВЕРИГО, В. проф. ЕДИНСТВО ЖИЗНЕННЫХЪ ЯВЛЕНІЙ. (*Основы общей біологіи. I.*). VIII+276 стр. Съ 81 рис. 1912. Ц. 2 р.

КНИГОИЗДАТЕЛЬСТВО „МАТЕЗИСЪ“.

ЛЁБЪ, Ж. проф. ДИНАМИКА ЖИВОГО ВЕЩЕСТВА. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *В. В. Завьялова*. VIII+352 стр. 8°. Съ 64 рис. 1910. Ц. 2 р. 50 к.

Классическая книга Лёба, отъ чтенія которой трудно оторваться устанавливаетъ вѣхи достигнутаго въ познаніи динамики живого вещества
Русское Богатство.

ЛЁБЪ, Ж. проф. ЖИЗНЬ. Пер. съ нѣм. 30 стр. 8°. 1912. Ц. 30 к.

УШИНСКИЙ, Н. проф. ЛЕКЦИИ ПО БАКТЕРІОЛОГИИ VIII+135 стр. 8°. Съ 34 черн. и цвѣтн. рис. на отдѣльн. табл. 1908. Ц. 1 р. 50 к.

V A R I A.

ГАМПСОМЪ-ШЕФЕРЪ. ПАРАДОКСЫ ПРИРОДЫ. *. Книга для юношества, объясняющая явленія, которыя находятся въ противорѣчій съ повседневнымъ опытомъ. Пер. съ нѣм VIII+193 стр. 8°. Съ 67 рис. Ц. 1 р. 20 к.

Материаль подобранъ интересный.

Журн. М. Н. Пр.

ГАССЕРТЪ, К. проф. ИЗСЛѢДОВАНИЕ ПОЛЯРНЫХЪ СТРАНЪ Исторія путешествій къ сѣверному и южному полюсамъ съ древнѣйшихъ временъ до настоящаго времени. Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ дополн. проф. *Г. И. Танфильева*. XII+216 стр. 8°. Съ двумя цвѣтн. картами. 1912. Ц. 1 р. 50 к.

ГРОТЪ, П. проф. ВВЕДЕНІЕ ВЪ ХИМИЧЕСКУЮ КРИСТАЛЛОГРАФІЮ. Пер. съ нѣм. *Л. Левинтова* подъ ред. проф. *М. Д. Сидоренко*. VIII+112 стр. 8°. Съ 6 черт. 1912. Ц. 80 к.

НИМФЮРЪ, Р. ВОЗДУХОПЛАВАНІЕ. * Научныя основы и техническое развитіе. Пер. съ нѣм. VIII+161 стр. 8°. Съ 52 рис. 1910. Ц. 90 к.

Въ книгѣ собранъ весьма обширный описательный матеріаль.

Ж. М. Н. Пр.

СНАЙДЕРЪ, К. проф. КАРТИНА МІРА ВЪ СВѢТѢ СОВРЕМЕННАГО ЕСТЕСТВОЗНАНІЯ. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *В. В. Завьялова*. VIII+193 стр. 8°. Съ 16 отд. порт. 1909. Ц. 1 р. 50 к.

Книга касается интереснѣйшихъ вопросовъ о природѣ. *Лед. Сборн.*

ТРОМГОЛЬТЪ, С. ИГРЫ СО СПИЧКАМИ. Задачи и развлеченія. Пер. съ нѣм. 146 стр. 16°. Свыше 250 рис. и черт. 2-е изд. 1912. Ц. 50 к.

ШМИДЪ, Б. проф. ФИЛОСОФСКАЯ ХРЕСТОМАТІЯ. Пер. съ нѣм. *Ю. А. Говсѣева*, подъ ред. и съ пред. проф. *Н. Н. Ланге*. VIII+172 стр. 8°. 1907. Ц. 1 р.

...Для человѣка, занятаго самообразованіемъ и немного знакомаго съ философіей и наукой, она (книга) даетъ разнообразный и интересный матеріаль.
Вопросы философіи и психологіи.

Имѣются на складѣ:

МУЛЬТОНЪ, Ф., проф. ЭВОЛЮЦІЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ. Пер. съ англійск. IV+82 стр. 16^о Съ 12 рис. 1908. Ц. 50 к

Изложеніе гипотезы образованія солнечной системы изъ спиральной туманности съ попутной критикой космогонической теоріи Лапласа.

БИЛЬТЦЪ, Г. и В. УПРАЖНЕНІЯ ПО НЕОРГАНИЧЕСКОЙ ХИМИИ. Пер. съ нѣм. *А. С. Комаровскаго*, съ предисл. проф. *Л. В. Писаржевскаго*. XVI+272 стр. 8^о. Съ 24 рис. Ц. 1 р. 60 к.

Печатаются и готовятся къ печати:

ЦЕНТНЕРШВЕРЪ, М. ОЧЕРКИ ИСТОРИИ ХИМИИ.

ДАННЕМАННЪ Ф. Проф. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНІЯ. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. С.-П.-Б. унив. *И. И. Борзмана*.

БАХМАНЪ, проф. ОСНОВЫ НОВѢЙШЕЙ ТЕОРИИ ЧИСЕЛЪ. Пер. съ нѣм. подъ ред. прив.-доц. *С. О. Шатуновскаго*.

АНДУАЙЕ, проф. КУРСЪ АСТРОНОМІИ. Пер. съ франц.

ДЗЮБЕКЪ, проф. КУРСЪ АНАЛИТИЧЕСКОЙ ГЕОМЕТРИИ. *Часть 2-я.* Аналитическая геометрія въ пространствѣ. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. С.-П.-Б. высш. жен. курсовъ *В. І. Шиффъ*.

КЛАРКЪ, А. ИСТОРИЯ АСТРОНОМІИ XIX СТОЛѢТІЯ. Пер. съ англ. подъ ред. прив.-доц. С.-П.-Б. универ. *В. Серафимова*.

ВЕРИГО, Б. Ф. проф. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ БІОЛОГІИ. II. „Біологія клѣтки и ея значеніе для общей біологіи“

ЛАГРАНЖЪ, Ж. ДОПОЛНЕНІЕ КЪ „ЭЛЕМЕНТАМЪ АЛГЕБРЫ“ ЭЙЛЕРА. Неопредѣленный анализъ. Пер. съ франц. подъ ред. прив.-доц. *С. Шатуновскаго*.

ЧЕЗАРО, Э. проф. ЭЛЕМЕНТАРНЫЙ УЧЕБНИКЪ АЛГЕБРАИЧЕСКАГО АНАЛИЗА и ИСЧИСЛЕНІЯ БЕЗКОНЕЧНОМАЛЫХЪ. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. С.-П.-Б. унив. *К. Пассе*.

МИ, Г. проф. КУРСЪ ЭЛЕКТРИЧЕСТВА и МАГНЕТИЗМА. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *О. Д. Хвольсона*.

ЛАДЕНБУРГЪ, А. проф. ЛЕКЦИИ ПО ИСТОРИИ ХИМИИ ОТЪ ЛАВУАЗЬЕ ДО НАШИХЪ ДНЕЙ. Пер. съ нѣм. подъ ред. прив.-доц. *Е. С. Ельчанинова*.

КНИГОИЗДАТЕЛЬСТВО „МАТЕЗИСЪ“.

УСПѢХИ ХИМИИ. СБОРНИКЪ СТАТЕЙ Вып. I. Подъ ред. „Вѣстн. Оп. Физ. и Эл. Мат.“

УСПѢХИ БИОЛОГІИ. СБОРНИКЪ СТАТЕЙ. Вып. I. Подъ ред. проф. В. В. Завьялова.

ШУЛЬЦЕ, д-ръ ВЕЛИКІЕ ФИЗИКИ и ИХЪ ТВОРЕНІЯ. Пер. съ нѣмецкаго.

ШТОЛЬЦЪ и **ГМЕЙНЕРЪ.** ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ АРИѦМЕТИКА. Пер. съ нѣм.

КОЛЬРАУШЪ, Ф. проф. КРАТКОЕ РУКОВОДСТВО КЪ ПРАКТИЧЕСКИМЪ ЗАНЯТІЯМЪ ПО ФИЗИКѢ. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. Н. П. Кастерина.

ФИЛИППОВЪ, А. ЧЕТЫРЕ АРИѦМЕТИЧЕСКІЯ ДѢЙСТВІЯ.

ЩУКАРЕВЪ, А. проф. ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ ПОЗНАНІЯ ВЪ ОБЛАСТИ ЕСТЕСТВОЗНАНІЯ.

РУССКАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ БИБЛИОГРАФІЯ Вып. II. За 1909 годъ. Подъ ред. проф. Д. М. Синцова.

САКСЛЬ и **РУДИНГЕРЪ.** БИОЛОГІЯ ЧЕЛОВѢКА. Пер. съ нѣм. подъ ред. прив.-доц. Л. А. Тарасевича.

КОРБИНЪ. УСПѢХИ ТЕХНИКИ. Пер. съ англійскаго.

ПЁШЛЬ. ВВЕДЕНИЕ ВЪ ХИМІЮ КОЛЛОИДОВЪ. Пер. съ нѣм А. С. Комаровскаго и Я. П. Мосевили.

ЮНГЪ, проф. ОСНОВНЫЯ ПОНЯТІЯ АЛГЕБРЫ и ГЕОМЕТРИИ. Пер. съ англійскаго.

УОКЕРЪ, проф. ВВЕДЕНИЕ ВЪ ФИЗИЧЕСКУЮ ХИМІЮ. Пер. съ англ.

Подробный каталогъ изданій высылается по требованію бесплатно.

Выписывающіе изъ главнаго склада „МАТЕЗИСЪ“ (Одесса, Новосельская, 66) на сумму 5 руб. и болѣе за пересылку не платятъ.

БИБЛИОТЕКА ЭЛЕМЕНТАРНОЙ МАТЕМАТИКИ

Издается подъ обшей редакціей прив.-доц.

С. О. ШАТУНОВСКАГО.

Библиотека элементарной математики будетъ состоять изъ отдѣльныхъ книжекъ, не зависящихъ другъ отъ друга по содержанію и имѣющихъ размѣръ около пяти печатныхъ листовъ малаго формата каждая. Книжки библиотеки будутъ посвящены разработкѣ наиболее важныхъ или интересныхъ вопросовъ элементарной математики [въ историческомъ и, по возможности, философскомъ освѣщеніи, при чемъ **полная доступность изложенія**, какъ основное требованіе, ставится на первый планъ.

Всѣ сочиненія, которыя войдутъ въ эту библиотеку, предполагаютъ въ читателѣ лишь элементарныя свѣдѣнія по математикѣ въ предѣлахъ курса среднихъ учебныхъ заведеній, и потому книжки библиотеки должны быть доступны для учащихся старшихъ классовъ среднихъ учебныхъ заведеній, сохраняя интересъ и для лицъ, владѣющихъ болѣе полнымъ математическимъ образованіемъ.

Печатаются:

- I. *Е. Фурре*. Очеркъ исторіи геометріи.
- II. *В. Аренсъ*. Мысли и изреченія великихъ математиковъ.
- III. *В. Лицманъ*. Теорема Пифагора.
- IV. *Е. Фурре*. Геометрическія головоломки и курьезы.
- V. *Г. Вилейтнеръ*. Понятіе о числѣ.
- VI. *Э. Лёфлеръ*. Цифры и цифровыя системы главнѣйшихъ культурныхъ народовъ.
- VII. *О. Мейснеръ*. Элементы теоріи вѣроятностей.

ОБЪЯВЛЕНІЕ.

Вѣстникъ Опытной Физики

выход. 24 раза въ годъ

— и —

отдѣльными выпусками,

Элементарной Математики.

въ 24 и 32 стр. каждый,

подъ редакціей приватъ-доцента В. Ф. Кагана.

ПРОГРАММА ЖУРНАЛА: Оригинальныя и переводныя статьи изъ области физики и элементарной математики. Статьи, посвященныя вопросамъ преподаванія математики и физики. Опыты и приборы. Научная хроника. Разныя извѣстія. Математическія мелочи. Темы для сотрудниковъ. Задачи для рѣшенія. Рѣшенія предложенныхъ задачъ съ фамиліями рѣшившихъ. Упражненія для учениковъ. Задачи на премію. Библиографическій отдѣлъ: обзоръ специальныхъ журналовъ; замѣтки и рецензіи о новыхъ книгахъ.

Условія подписки:

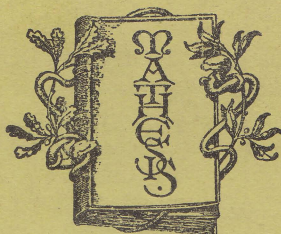
Подписная цѣна съ пересылкой: за годъ **6 руб.**, за полгода **3 руб.** Учителя и учительницы низшихъ училищъ и всѣ учащіеся, выписывающіе журналъ **непосредственно изъ конторы редакціи**, платятъ за годъ **4 руб.**, за полугодіе **2 руб.** Допускается разсрочка подписной платы по соглашенію съ конторой редакціи. Книгопродавцамъ 5% уступки.

Журналъ за прошлые годы по 2 р. 50 к., а учащимся и книгопродавцамъ по 2 р. за семестръ. **Отдѣльные номера** текущаго семестра по 30 к., прошлыхъ семестровъ по 25 коп.

Адресъ для корреспонденцій:

Одесса. Въ редакцію „Вѣстника Опытной Физики“.

<http://mathesis.ru>



Тип. Акц. Южно-Русского
Общества Печатного Дѣла,
Одесса, Пушкинская, № 18

<http://mathesis.ru>
Ц. 50 к.