

Тиндаль Джон

Лекции о свете

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 82-3
ББК 84-4
Д42

Д42 **Джон Т.**
Лекции о свете / Тиндаль Джон – М.: Книга по Требованию, 2026. – 138 с.

ISBN 978-5-519-76718-7

ISBN 978-5-519-76718-7

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2026

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2026

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

вать свѣтотворныя явленія гораздо менѣе успѣшно, чѣмъ движенія солнца и звѣздъ. Однако-же, кое-что они все-таки сдѣлали: они убѣдились, что свѣтъ распространяется по прямымъ линіямъ; они знали также, что свѣтъ отражается отъ полированныхъ поверхностей, и что уголъ паденія свѣтового луча равенъ углу отраженія. Эти два результата научной любознательности древнихъ и будутъ служить исходными точками для нашихъ нынѣшнихъ лекцій.

Въ началѣ было-бы полезно сказать нѣсколько словъ относительно источника свѣта, которымъ мы будемъ пользоваться при нашихъ опытахъ. Ржавленіе желѣза совершенно соотвѣтствуетъ медленному горѣнію его. Это горѣніе развиваетъ теплоту, и, если эту теплоту сохранить, то можно получить высокую температуру. Весьма вѣроятно, что разрывъ перваго атлантическаго кабеля произошелъ, благодаря развившейся именно такимъ путемъ теплотѣ. Многіе металлы еще болѣе горючи, чѣмъ желѣзо. Цинковыя стружки можно зажечь въ пламени свѣчи, и онѣ будутъ сгорать, какъ бумажныя полосы. Но теперь мы должны нѣсколько расширить наше опредѣленіе горѣнія: подъ этимъ выраженіемъ надо понимать не только горѣніе на воздухѣ, но и горѣніе въ жидкостяхъ. Такъ, напримѣръ, въ водѣ содержится запасъ кислорода, который можетъ соединяться съ погруженнымъ въ воду металломъ и поглощать его. Вотъ изъ такого-то рода горѣнія мы и будемъ получать теплоту и свѣтъ, которыми намъ придется здѣсь пользоваться.

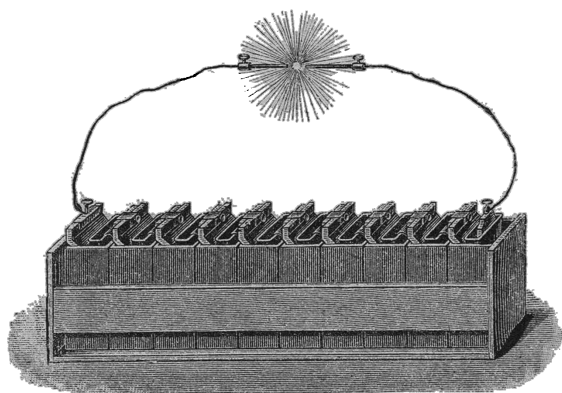
Полученіе этого свѣта и этой теплоты заслуживаетъ на нѣсколько секундъ нашего вниманія. Передъ вами находится ящикъ, — маленькая батарея Вольты, — въ которомъ цинкъ погруженъ въ подходящую жидкость. Въ настоящій моментъ уже дѣйствуетъ нѣкоторая сила притяженія между металломъ и кислородомъ жидкости, но самаго соединенія въ первую минуту еще не происходитъ. Если соединить оба конца (иначе — полюса) батареи толстой проволокой, то притяженіе осуществляется: кислородъ соединяется съ металломъ, цинкъ потребляется, и результатомъ горѣнія является, какъ всегда, теплота. Въ то-же время черезъ проволоку проходитъ сила, которую мы, за неимѣніемъ лучшаго наименованія, называемъ электрическимъ токомъ.

Разрѣжемъ толстую проволоку пополамъ и соединимъ полученные концы тонкой: тонкая проволока накалится до-бѣла. Откуда появилась эта теплота? Вопросъ этотъ заслуживаетъ отвѣта. Предположимъ, что, когда мы пользовались еще толстой проволокой, мы дали процессу горѣнія продолжаться до тѣхъ поръ, пока не сгорѣло сто граммовъ ¹⁾ цинка; количество теплоты, развившееся въ батареѣ, можно выразить точнымъ числомъ. Пусть теперь горѣніе при накаливаніи тонкой проволоки продолжается до тѣхъ поръ, пока опять сгорятъ сто граммовъ цинка. Что-же, въ батареѣ разовьется такое-же количество теплоты, какъ и раньше? Нѣтъ, оно будетъ какъ разъ на столько меньше, сколько развилось теплоты въ тонкой проволоки внѣ батареи. Если мы къ этому количеству внѣшней теплоты прибавимъ внутреннюю теплоту, развившуюся въ самой батарее, то въ суммѣ получится неизмѣнная величина, соотвѣтствующая

¹⁾ Въ подлинникѣ стоятъ англійскія мѣры вѣсовъ вмѣсто десятичныхъ.

сторанію 100 граммовъ цинка. Здѣсь мы имѣемъ превосходный примѣръ закона сохраненія энергіи въ природѣ; установленіе этого закона—одна изъ величайшихъ заслугъ новѣйшей науки. Пользуясь подобнымъ приборомъ, мы можемъ сжигать цинкъ въ одномъ мѣстѣ, а послѣдствіе горѣнія обнаруживать въ другомъ мѣстѣ. Такимъ образомъ, мы могли-бы, напримѣръ, помѣстить нашъ очагъ съ топливомъ въ Нью-Йоркѣ, а теплотой и свѣтомъ его пользоваться въ Санъ-Франциско.

Если удалить тонкую проволоку и укрѣпить на обоихъ раздѣленныхъ концахъ толстой два коксовыхъ стержня, то при сближеніи концовъ углей между ними появляется свѣтящаяся звѣзда (фиг. 1).



Фиг. 1.

ошибочномъ мнѣніи, будто творенія природы,—и въ томъ числѣ человѣческій глазъ,—теоретически совершенны. Уже много вѣковъ, глазъ *совершенствуется*, но до тѣхъ поръ, пока онъ достигнетъ большаго совершенства, пройдетъ, быть можетъ, еще много времени. Когда я смотрю на ослѣпительный свѣтъ нашей большой батареи, я вижу блестящій шаръ, но совершенно не могу разглядѣть, какую форму имѣютъ испускающіе свѣтъ концы углей. Это можно объяснить слѣдующимъ образомъ: *вся* поверхность стеклянной чечевицы, находящейся съ передней стороны камеръ, служить для проектированія изображенія концовъ углей на поставленный передъ вами экранъ. Изображеніе получается не рѣзкое,—оно окружено слабымъ сіяніемъ, почти совсѣмъ покрывающимъ угли. Это послѣдствіе несовершенства стеклянной чечевицы, называемаго *сферической абберраціей*; она происходитъ отъ того, что центральные и периферическіе лучи сходятся не въ одномъ и томъ-же фокусѣ. Человѣческій глазъ страдаетъ такимъ-же недостаткомъ, и по этой,—а также и по многимъ другимъ причинамъ,—дѣйствія свѣта на ретину, если смотрѣть невооруженнымъ глазомъ на свѣтовую дугу отъ пятидесяти элементовъ, вполне достаточно, чтобы нарушить ясность изображенія углей на ней. Можно привести цѣлый рядъ пороковъ глаза,—его непрозрачность, недостатокъ симметріи, ахроматизмъ, частичную слѣпоту. Все это, вмѣстѣ взятое, дало Гельмгольцу поводъ ска-

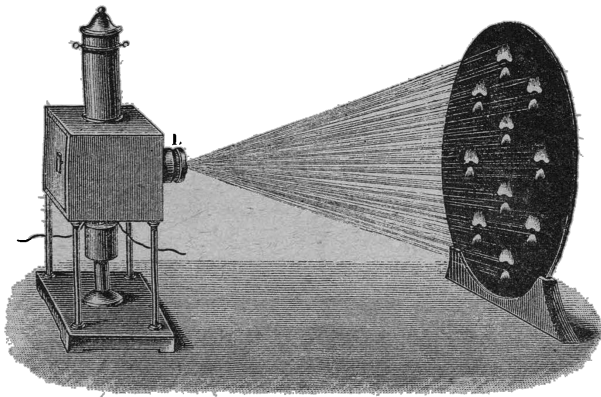
представляетъ собою простое увеличеніе этой звѣзды. Вмѣсто десяти элементовъ, мы пустимъ въ ходъ пятьдесятъ. Весь приборъ помѣщается въ надлежащимъ образомъ устроенную камеру съ соответствующими чечевицами, и этотъ могучій источникъ даетъ намъ необходимый для нашихъ опытовъ свѣтъ.

Здѣсь я кстати вспоминаю объ очень распространенномъ

затѣ, что если-бы оптикъ прислалъ ему подобный инструментъ, онъ имѣлъ-бы право послать ему заказанное обратно, сдѣлавъ самый рѣзкій выговоръ исполнителю. Но о глазѣ нельзя судить съ точки зрѣнія теоріи. Онъ не представляетъ собою совершенства, а находится на пути къ нему. Если принять во вниманіе всѣ практическія приспособленія, при помощи которыхъ его недостатки въ общемъ нейтрализуются, то глазъ, какъ практической инструментъ, всегда будетъ чудомъ для мыслящаго ума.

3. Прямолинейное распространение свѣта. Элементарные опыты. Законъ отраженія.

Уже древнимъ было извѣстно, что свѣтъ распространяется прямолинейно. Они знали, что непрозрачное тѣло, помѣщенное между свѣтящейся точкой и глазомъ, задерживаетъ свѣтъ. Весьма возможно, что



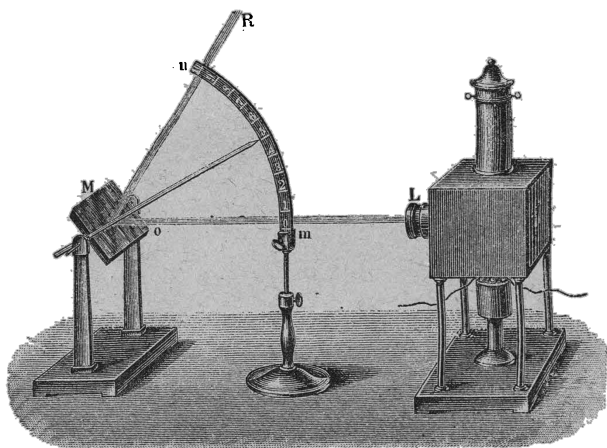
Фиг. 2.

выраженіе «свѣтовой лучъ» возникло благодаря прямолинейнымъ путямъ свѣта, излучаемымъ солнцемъ при извѣстныхъ состояніяхъ атмосферы во время его восхода и заката. Прямолинейное распространеніе свѣта можно обнаружить, если черезъ узкое отверстіе въ ставнѣ пропустить солнечный лучъ въ темную комнату, гдѣ было разстѣяно темнаго дыма. Въ чистомъ *воздухѣ* луча вы не увидите, но въ дымномъ онъ виденъ: черезъ воздухъ свѣтъ проникаетъ невидимо, но частицы дыма, между которыми прямолинейно проходитъ свѣтъ, отражаютъ его, и тогда его путь можно видѣть.

Слѣдующій поучительный опытъ основывается на прямолинейномъ распространеніи свѣта. Продѣлаемъ небольшое отверстіе въ закрытомъ ставнѣ, передъ которымъ находится домъ или дерево,—и въ темной комнатѣ, на небольшомъ разстояніи передъ отверстіемъ, поставимъ бѣлый экранъ. Каждый прямолинейный лучъ свѣта, идущій отъ дома или дерева, будетъ виденъ на экранѣ, и совокупность всѣхъ лучей дастъ, стало быть, изображеніе предмета; а такъ всѣ лучи перекрещиваются между собою у отверстія въ ставнѣ, то изображеніе будетъ обратное. Это явленіе можно пояснить и обобщить слѣдующимъ образомъ: съ передней стороны нашей камеры находится широкое отверстіе (фиг. 2); вынувъ линзу, его закрыли

листочкомъ фольги (листовымъ оловомъ). Если при помощи простой иглки проколотъ въ фольгѣ небольшое отверстіе, то на экранѣ появится обратное изображеніе углей. Дюжина такихъ отверстій дала бы дюжину изображеній, сто отверстій—сто изображеній, тысяча отверстій—тысячу изображеній. Но по мѣрѣ того, какъ отверстія все болѣе и болѣе приближаются другъ къ другу,—т. е. листовое олово между ними исчезаетъ, отверстія все болѣе и болѣе захватываютъ другъ друга. Если удалить фольгу совсѣмъ, то экранъ окажется равномерно освѣщеннымъ, и свѣтъ на экранѣ можно представить себѣ, какъ захватывающія другъ друга безчисленные изображенія вершинъ углей. Точно также свѣтъ на любой бѣлой стѣнѣ въ безоблачный день можно считать результатомъ наложенія другъ на друга безчисленнаго количества изображеній солнца.

Законъ оптики, что *уголъ паденія равенъ углу отраженія*, тѣсно



Фиг. 3.

связанъ съ теоріей, о которой намъ придется говорить впослѣдствіи, и я считаю желательнымъ пояснить его уже теперь при помощи одного очень простого опыта. Прямая линейка укрѣплена, какъ указатель, перпендикулярно къ маленькому, способному вращаться, зеркалу *M*; (на фиг. 3 она указываетъ на дугѣ цифру 5). Пусть лучъ свѣта падаетъ на зеркало и отражается отъ него обратно по тому же направленію. Если теперь повернуть стрѣлку, то вмѣстѣ съ нею повернется и зеркало; благодаря находящейся въ комнатѣ пыли, мы увидимъ по обѣ стороны стрѣлки падающій и обращенный лучи. Даже на глазъ можно убѣдиться, что углы между стрѣлкой и обоими лучами равны между собой. Если же посмотрѣть на дугу съ дѣленіями, то окажется, что уголъ отъ цифры 5 до *m* въ точности равенъ углу отъ 5 до *n*. Въ своемъ полномъ видѣ законъ отраженія состоитъ въ томъ, что не только уголъ паденія равенъ углу отраженія, но падающій и отраженный лучъ всегда лежатъ въ плоскости, перпендикулярной къ отражающей поверхности.

Этотъ простой приборъ даетъ намъ возможность пояснить еще другой

законъ, очень важный въ практическомъ отношеніи; законъ этотъ состоитъ въ слѣдующемъ: когда зеркало вращается, то угловая скорость вращенія отраженнаго отъ него луча вдвое больше угловой скорости отражающаго зеркала. Простой опытъ покажетъ вамъ это. Дуга, которую вы видите (т. н., фиг. 3), раздѣлена на 10 равныхъ частей, и когда стрѣлка и падающій лучъ проходятъ черезъ нуль дѣленія, тогда и оба луча, падающій и отраженный, направлены горизонтально. Если передвинуть стрѣлку зеркала на 1, то отраженный лучъ пересѣчетъ дугу черезъ дѣленіе 2; передвинемъ стрѣлку на 2, — лучъ пройдетъ черезъ 4; подвинемъ ее дальше къ тремъ, — лучъ пройдетъ черезъ 6; подвинемъ къ чегыремъ, — лучъ пройдетъ черезъ 8; наконецъ, поставимъ стрѣлку на 5, — лучъ отразится черезъ 10 (какъ на фиг. 3). Каждый разъ отраженный лучъ перемѣщается на вдвое большій уголъ, чѣмъ зеркало.

Одна изъ главныхъ задачъ науки заключается въ помощи, оказываемой человѣческимъ чувствамъ; она вводитъ ихъ иногда въ такія области, которыя безъ нея, быть можетъ, остались бы навсегда недостижимыми. Такъ, мы вооружаемъ глазъ телескопомъ, когда желаемъ проникнуть въ отдаленнѣйшія глубины пространства, и прибѣгаемъ къ микроскопу, когда приходится изслѣдовать движеніе и строеніе весьма малыхъ предметовъ. Но законъ отраженія, въ связи съ тѣмъ фактомъ, что лучъ свѣта не обладаетъ тяжестью, даетъ намъ возможность увеличивать самыя малыя движенія до необычайныхъ размѣровъ. Прикрѣпивъ къ подвѣшеннымъ магнитамъ зеркала и наблюдая изображенія отражаемыхъ ими скалъ съ дѣленіями, знаменитый Гауссъ имѣлъ возможность обнаружить малѣйшія колебанія силы земного магнетизма. Подобнымъ же приборомъ можно обнаружить слабыя притяженія и отталкиванія діаманитной силы. Самое незначительное удлиненіе металлическаго стержня, вызываемое теплотою руки, можетъ быть настолько увеличено при помощи этого метода, что лучъ, играющій роль указателя отклонится на 20 — 30 футовъ. Точно также можно доказать удлинненіе желѣзнаго стержня при его намагничиваніи. Гельмгольцъ уже давно пользовался этимъ методомъ, чтобы сдѣлать нагляднѣе для своихъ студентовъ знаменитые опыты Дюбуа-Реймона надъ животнымъ электричествомъ. Съ другой стороны, однимъ изъ важныхъ болѣе позднихъ примѣненій этого принципа надо признать отражательный гальванометръ сэра Уильяма Томсона.

4. Преломленіе свѣта. Полное внутреннее отраженіе.

Болѣе тысячи лѣтъ оптика не подвинулась ни на шагъ далѣе этого закона отраженія.

Въ средніе вѣка ученые или такъ были заняты созерцаніемъ будущей жизни, что съ глубокимъ презрѣніемъ смотрѣли на все, принадлежащее этому земному міру, или ужъ непремѣнно старались вывести законы вселенной *a priori*, изъ своего собственнаго сознанія. Говоря объ естествоиспытателяхъ своего времени, Евсевій пишетъ: «Мы мало думаемъ объ изучаемыхъ ими предметахъ не потому, что не знаемъ ихъ, а потому, что съ презрѣніемъ относимся къ ихъ бесполезной работѣ и посвящаемъ свои души лучшему дѣлу». Подобнымъ же образомъ выражается и Лак-

танцій: «Доискиваться причинъ явленій; спрашивать, дѣйствительно-ли солнце такой величины, какимъ оно кажется; какова луна, — выпуклая или вогнутая; укрѣплены-ли звѣзды на небѣ, или онѣ свободно витають въ пространствѣ; какой величины, и изъ какого вещества состоитъ небо; находится-ли оно въ покоѣ или въ движеніи; какихъ размѣровъ земля, и на чемъ она стоитъ или на что опирается, спорить объ этомъ и строить какія-нибудь догадки, все равно, что толковать о какомъ-нибудь находящемся въ далекой странѣ городѣ, извѣстномъ намъ только по названію».

Что касается преломленія свѣта, то собственно научное изслѣдованіе его было предпринято въ 1100 году арабскимъ ученымъ Альгазеномъ. За нимъ слѣдовали Роджеръ Бэконъ, Вителліо и Кеплеръ. Одна изъ важнѣйшихъ задачъ науки, — это опредѣлять посредствомъ точныхъ измѣреній количественныя соотношенія явленій путемъ точныхъ измѣреній; цѣнность этихъ измѣреній въ значительной степени зависитъ отъ искусства и добросовѣстности наблюдателя. Вителліо, повидимому, производилъ наблюденія и умѣло, и добросовѣстно; Кеплеръ больше занимался тѣмъ, что рылся въ наблюденіяхъ своихъ предшественниковъ, освѣщалъ ихъ со всѣхъ сторонъ и тогда уже выжималъ изъ нихъ связующіе принципы. Такъ онъ поступилъ съ астрономическими измѣреніями Тихо Браге: изъ нихъ онъ вывелъ знаменитые «законы Кеплера». То же самое онъ пытался сдѣлать и съ измѣреніями Вителліо относительно преломленія, — но на этотъ разъ онъ не былъ такъ счастливъ. Основной принципъ, — хотя онъ и очень простъ, — ускользнулъ отъ Кеплера, — былъ открытъ впервые Виллебрордомъ Снеллемъ, около 1621 года.

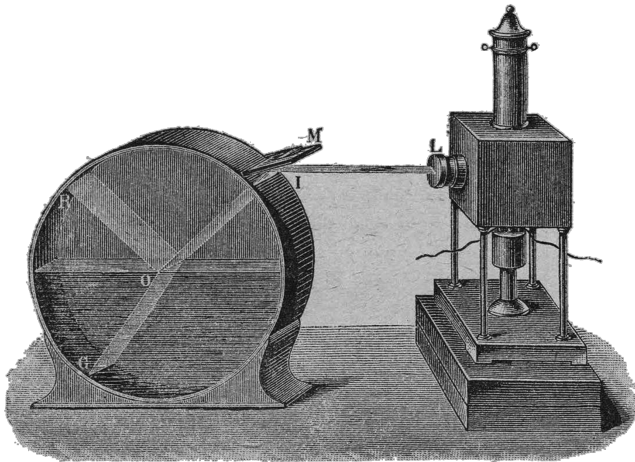
Теперь я покажу вамъ явленіе преломленія, — не столько ради самого этого явленія, сколько для того, чтобы представить его въ формѣ, которая впоследствии пояснитъ вамъ ходъ теоретическихъ разсужденій, сложившихся въ умѣ Ньютона. Я не буду чертить путь луча мѣломъ на черной доскѣ, — нѣтъ, пусть онъ самъ отмѣтитъ передъ вами бѣлый слѣдъ. Плоскій круглый сосудъ *RIG* (фиг. 4 на таблицѣ) съ стеклянной вертикальной стѣнкой спереди, наполненъ на половину немного мутной отъ примѣси молока или мастики водой. Черезъ продѣланную въ обручѣ, окружающемъ сосудъ, щель я заставляю, при помощи плоскаго зеркала *M*, падать въ любомъ требуемомъ направленіи свѣтовой лучъ. Онъ встрѣчаетъ воду (около мѣста, обозначеннаго *O*), вступаетъ въ нее и проходитъ черезъ жидкость въ видѣ яркой, свѣтлой полосы (*OG*). Черезъ воздухъ лучъ проходитъ невидимо, такъ какъ воздухъ не разбиваетъ свѣта. Табачный дымъ тотчасъ обнаруживаетъ въ пространствѣ надъ водою слѣдъ падающаго луча. Если лучъ падаетъ вертикально, то остается непреломленнымъ. Если же паденіе наклонно, то преломленіе ясно видно на границѣ воздуха и воды (близъ *O*). Видно также, что преломленіе сопровождается *отраженіемъ* по направленію *OR*, и лучъ при вступленіи въ воду раздѣляется на двѣ части, — преломленную и отраженную ¹⁾.

Законъ, которымъ Снелль связалъ всѣ прежнія измѣренія, заключаются въ слѣдующемъ: *ABC* (фиг. 5) изображаетъ очертанія нашего круглаго сосуда, *AC* — уровень воды. Если лучъ падаетъ по направленію

¹⁾ Впоследствии я покажу, какъ при помощи этого прибора можно опредѣлить „уголъ поляризаціи“ любой жидкости.

BE , перпендикулярно къ AC , то преломленія не будетъ. Если же онъ будетъ падать по направленію mE , то произойдетъ преломленіе: въ E лучъ отклонится и пересѣчетъ окружность въ точкѣ n . Если онъ будетъ падать въ направленіи $m'E$, то также произойдетъ преломленіе и лучъ пройдетъ черезъ точку n' . Опустимъ изъ концовъ двухъ падающихъ лучей перпендикуляры mo , $m'o'$, а изъ концовъ преломленныхъ лучей перпендикуляры np , $n'p'$ на BD ; измѣривъ величины om и pn и раздѣливъ одну на другую, мы получимъ нѣкоторое частное; если такимъ же образомъ будемъ дѣлить $m'o'$ на соответствующій перпендикуляръ $p'n'$, то каждый разъ получимъ то же частное. Въ самомъ дѣлѣ, Снелль нашелъ, что это частное есть постоянная величина для каждаго отдѣльнаго вещества, — хотя для различныхъ веществъ измѣняется. Онъ назвалъ это частное *показателемъ преломленія*.

Когда лучъ падаетъ изъ воздуха на поверхность твердаго или

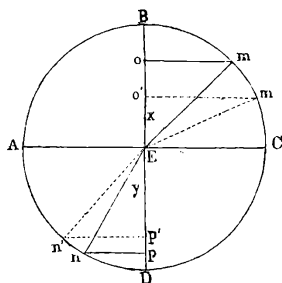


Фиг. 4.

жидкаго тѣла, или, говоря общѣе, когда лучъ проходитъ изъ менѣе преломляющей среды въ болѣе преломляющую, — тогда происходитъ *частное* отраженіе.

Въ этомъ случаѣ болѣе сильно отражающія вещества или поглощаютъ или пропускаютъ часть падающаго свѣта. При вертикальномъ паденіи вода отражаетъ лишь 18 лучей изъ 1,000; стекло отражаетъ только 25 лучей, тогда какъ ртуть 666. Если свѣтъ падаетъ наклонно, то отраженіе усиливается. Такъ, при углѣ паденія въ 40° , вода отражаетъ 22 луча, при 60° —65 лучей, при 80° —333 луча, а при углѣ паденія въ $89\frac{1}{2}^\circ$, когда лучъ почти касается поверхности воды, она отражаетъ около 721 луча изъ тысячи. Такимъ образомъ, съ увеличеніемъ угла паденія, отраженіе воды не только приближается къ отраженію по перпендикулярному направленію отъ ртути, но въ концѣ-концовъ даже превосходитъ его. Но какъ бы великъ ни былъ уголъ паденія, — разъ лучъ падаетъ изъ воздуха, отраженіе отъ воды, ртути или какой-нибудь другой среды не можетъ быть *полнымъ*.

Тѣмъ не менѣе полное отраженіе возможно, и чтобы понять въ послѣдствіи его примѣненіе, въ такъ называемой, призмѣ Николя, необходимо объяснить, при какихъ условіяхъ оно происходитъ. Для этого я долженъ познакомить васъ съ однимъ принципомъ, которому подчиняются всѣ оптическія явленія, — съ принципомъ обратимости ¹⁾. Если напр., лучъ падаетъ наклонно изъ воздуха въ воду, то онъ отклоняется, *приближаясь* къ перпендикуляру; если же онъ идетъ изъ воды въ воздухъ, то отклонится, *удаляясь* отъ перпендикуляра и пойдетъ какъ разъ въ обратномъ направленіи. Такъ, если mEn (фиг. 5) представляетъ собою путь луча при прохожденіи изъ воздуха въ воду, то его путь при прохожденіи изъ воды въ воздухъ будетъ непремѣнно nEt . Прослѣдимъ теперь дальѣйшія послѣдствія этого закона. Предположимъ, что свѣтъ не идетъ ни по mE , ни по $n'E$, а падаетъ по возможности ближе къ направленію CE (фиг. 6), такъ что онъ какъ разъ касается поверхности воды, раньше чѣмъ попа-



Фиг. 5.

даетъ въ нее. Преломившись, онъ приметъ направленіе En'' . Обратно, если свѣтъ пойдетъ по направленію $n''E$, онъ при вступленіи въ воздухъ какъ разъ коснется поверхности воды. Является теперь вопросъ: что же будетъ, если лучъ, выйдя изъ n''' , пойдетъ по направленію $n'''E$, по ту сторону $n''E$?—Онъ вовсе не выйдетъ изъ воды, а претерпитъ *полное* отраженіе (по направленію Ex). Сверхъ того, нижняя сторона поверхности воды подчиняется тому же самому закону преломленія, что и верхняя, и здѣсь уголъ паденія (DEn''') равенъ углу отраженія (DEx).

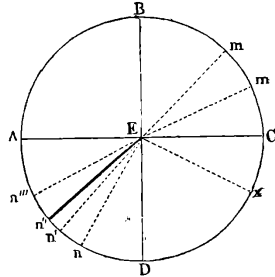
Слѣдующій простой опытъ можетъ показать полное внутреннее отраженіе: положимъ въ обыкновенный стаканъ съ водой серебряную монету и повернемъ его такъ, чтобы свѣтъ, идущій отъ монеты, встрѣчалъ находящуюся надъ нимъ поверхность воды подъ надлежащимъ угломъ; если мы теперь посмотримъ снизу на поверхность воды, то увидимъ изображеніе монеты, такое же блестящее, какъ и самая монета. Вставьте въ воду закрытый конецъ пустой пробирной трубки и наклоните трубку. Если уголъ наклона достаточно великъ, то горизонтально падающій на трубку свѣтъ не можетъ ужъ проникнуть въ находящійся въ ней воздухъ; онъ претерпѣваетъ полное отраженіе снизу вверхъ. Если посмотрѣть снизу, такая трубка блеститъ, какъ полированное серебро. Налейте въ трубку немного воды: по мѣрѣ того, какъ она поднимается, полное отраженіе, а вмѣстѣ съ нимъ и блескъ, исчезаетъ; остается только уменьшающійся по-немногу блестящій поясъ, но и онъ окончательно исчезнетъ, когда уровень воды въ трубкѣ сравняется съ наружнымъ уровнемъ. Всякая стеклянная трубка, закрытая водонепроницаемо съ одного конца, можетъ дать такой же красивый и поучительный эффектъ.

Полное отраженіе можетъ имѣть мѣсто только, когда лучъ пытается пройти изъ болѣе преломляющей среды въ менѣе преломляющую; при до-

¹⁾ Изъ этого принципа сэръ Джонъ Гершель выводитъ такъ же просто, какъ и изъясню основной законъ отраженія.—См. „Familiar Lectures“, 236.

статочной величинѣ угла паденія, оно неизбежно. Ему то отчасти обязаны своимъ происхожденіемъ миражи въ пустынѣ и нѣкоторыя другія призрачныя явленія въ атмосферѣ. Когда солнце нагрѣетъ большую поверхность песка, тогда соприкасающійся съ нимъ слой воздуха дѣлается тоньше и преломляетъ слабѣе, чѣмъ лежащій надъ нимъ слой; поэтому лучи, падающіе отъ какого-нибудь отдаленнаго предмета очень наклонно на нагрѣтый слой воздуха, иногда полностью отражаются наружу. Такимъ образомъ, получаютъ отраженія, какъ отъ воды. На тепломъ берегу Нормандіи, близъ Авранша, я разъ видѣлъ отраженіе скалы Монъ-Томбелинъ; такіе же миражи заставляли томимыхъ жаждою французскихъ солдатъ въ Египтѣ терпѣть настоящія муки Танталя.

Уголъ, обозначающій границу, за которою уже наступаетъ полное отраженіе, называется *предѣльнымъ угломъ* (на фиг. 6 $n'ED$). Ясно, что съ увеличеніемъ показателя преломленія онъ уменьшается. Для воды онъ равняется $48\frac{1}{2}^\circ$, для флинтъ-гласа $38^\circ 41'$, а для алмаза $23^\circ 42'$. Поэтому весь свѣтъ, идущій отъ цѣлыхъ двухъ квадрантовъ т. е. 180° , собирается алмазомъ при помощи преломленія въ уголъ величиною въ $47^\circ 22'$ (дважды $23^\circ 42'$). Кромѣ большой силы преломленія, алмазъ обладаетъ также способностью сильно разбивать и отражать свѣтъ; оттого брилліанты такъ замѣчательно излучаютъ, какъ бѣлые, такъ и цвѣтные лучи свѣта.



Фиг. 6.

5. Скорость свѣта. — Аберрація. — Принципъ наименьшаго дѣйствія.

Въ 1676 г. новый толчокъ сообщила оптикѣ астрономія. Въ этомъ году одинъ датскій ученый, Олафъ Ремеръ, наблюдалъ въ Парижской обсерваторіи затменія спутниковъ Юпитера. Эта планета, отстоящая отъ солнца на 475.693,000 англійскихъ миль ¹⁾, имѣетъ пять спутниковъ. Насъ интересуютъ теперь только тотъ, который ближе всѣхъ къ планетѣ. Наблюдая этого спутника, Ремеръ видѣлъ, какъ онъ обращался вокругъ своей планеты, а потомъ вдругъ погрузился въ тѣнь Юпитера, — точно внезапно погасла лампа. Потомъ онъ опять появился съ другой стороны тѣни, — какъ будто загорѣлась лампа. Такимъ образомъ, спутникъ являлся какъ бы сигналомъ, дававшимъ астроному возможность точно опредѣлить время его обращенія. Промежутокъ времени между двумя послѣдовательными появленіями свѣта оказался равнымъ 42 часамъ, 28 минутамъ и 35 секундамъ.

Это измѣреніе было настолько точно, что теперь уже, зная моментъ появленія планеты изъ тѣни, можно было вычислить, когда она появится въ сотый разъ: для этого надо 42 часа, 28 минутъ и 35 секундъ помножить на 100.

Когда Ремеръ производилъ свое первое наблюденіе, земля находилась

¹⁾ По новымъ даннымъ, около 773 милл. километровъ.

въ ближайшей къ Юпитеру точкѣ своей орбиты. Приблизительно черезъ шесть мѣсяцевъ, земля находилась на противоположной сторонѣ своей орбиты; спутникъ долженъ былъ появиться въ сотый разъ, но... оказалось, что онъ появился на цѣлыхъ 15 минутъ позже, чѣмъ рассчитывали! Кромѣ того, запозданіе возрастало постепенно по мѣрѣ того, какъ земля удалялась по своей орбитѣ отъ Юпитера. Ремеръ разсудилъ такъ: «Если бы я могъ остаться на противоположной сторонѣ земной орбиты, спутникъ каждый разъ появлялся бы во время; находящійся тамъ наблюдатель увидѣлъ бы его, вѣроятно, 15 минутами раньше. Такое опозданіе происходитъ вотъ отъ чего: свѣту надо 15 минутъ, чтобы пройти разстояние отъ мѣста перваго наблюденія до моего теперешняго положенія».

За этимъ проблескомъ гениальнаго ума послѣдовалъ сейчасъ же и другой: «Если мое предположеніе справедливо,—продолжалъ Ремеръ,—то по мѣрѣ моего приближенія къ Юпитеру по другой половинѣ земной орбиты опозданіе должно понемногу уменьшаться,—и когда я достигну пункта моего прежняго наблюденія, его уже совсѣмъ не должно быть». Такъ и оказалось; такимъ образомъ, не только подтвердилось, что распространеніе свѣта въ пространствѣ требуетъ времени, но стало возможно опредѣлить скорость его распространенія.

По опредѣленію Ремера, скорость свѣта составляетъ 192,500 англійскихъ миль (309,800 километровъ) въ секунду.

Но въ то время наблюденіямъ и выводамъ Ремера не повѣрили. Кассини, Фонтенелль и Гукъ сомнѣвались въ нихъ,—но вскорѣ они встрѣтили неожиданное подтвержденіе со стороны англійскаго астронома Брайля: онъ замѣтилъ, что неподвижныя звѣзды не кажутся въ самомъ дѣлѣ неподвижными, но что онѣ ежегодно описываютъ на небѣ небольшія орбиты. Сначала это открытіе поразило его,—но Брайль умѣлъ читать книгу природы, умѣлъ въ самомъ незначительномъ фактѣ усмотрѣть изображеніе самаго важнаго.

Однажды, онъ ѣхалъ по Темзѣ въ лодкѣ и замѣтилъ, что флагъ на его мачтѣ показывалъ постоянное направленіе вѣтра, пока не мѣнялось направленіе движенія лодки, по съ каждой перемѣной направленія движенія, казалось, мѣнялось направленіе вѣтра. «Въ этомъ и заключалась,—говоритъ Юэлль (Whewell)—аналогія съ его наблюденіемъ. Лодка—это движущаяся по своей орбитѣ земля, а вѣтеръ—свѣтъ звѣзды».

Мы можемъ спросить, какую роль могли бы играть для Брайля вѣтеръ и флагъ, если бы онъ не обладалъ способностью улавливать аналогію?—Роль вѣтра и флага, и больше ничего. Вы сейчасъ поймете значеніе его открытія. Вообразите себѣ, что вы находитесь въ стоящемъ желѣзнодорожномъ поѣздѣ, а сверху льетъ въ вертикальномъ направленіи дождь. Какъ только поѣздъ тронется, сейчасъ же начнетъ казаться, что капли дождя падаютъ наклонно, и чѣмъ быстрѣ пойдетъ поѣздъ тѣмъ наклоннѣе будетъ ихъ паденіе. Совершенно также кажется, благодаря движенію земли, что лучи находящейся надъ нами въ зенитѣ звѣзды направлены наклонно. Зная скорость поѣзда и наклонъ дождевыхъ капель, мы легко можемъ вычислить ихъ скорость; скорость земли въ ея движеніи по орбитѣ мы знаемъ, вызываемый этимъ движеніемъ наклонъ лучей тоже; слѣдовательно, мы такъ же легко можемъ вычислить скорость свѣта