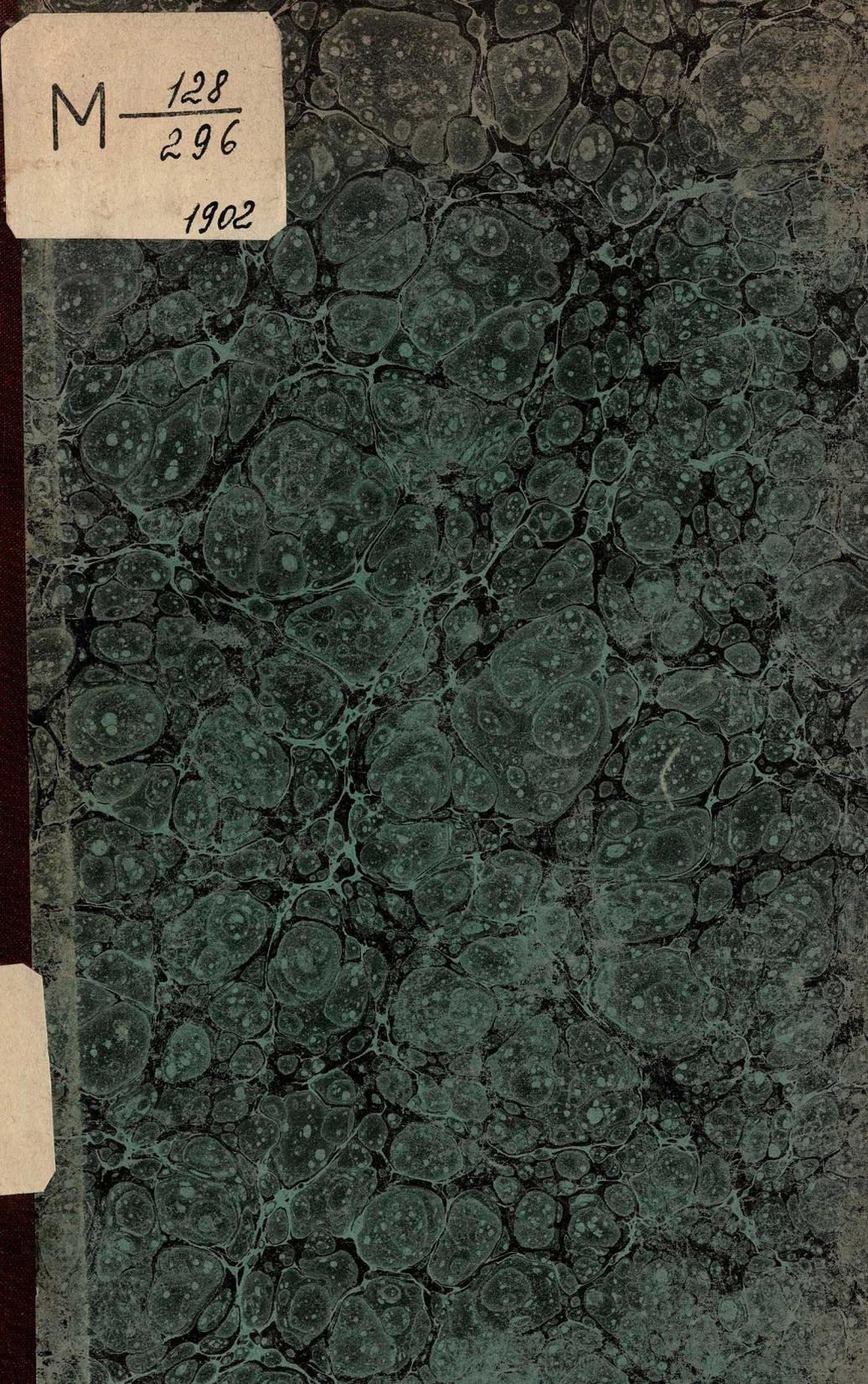


M

128

296

1902



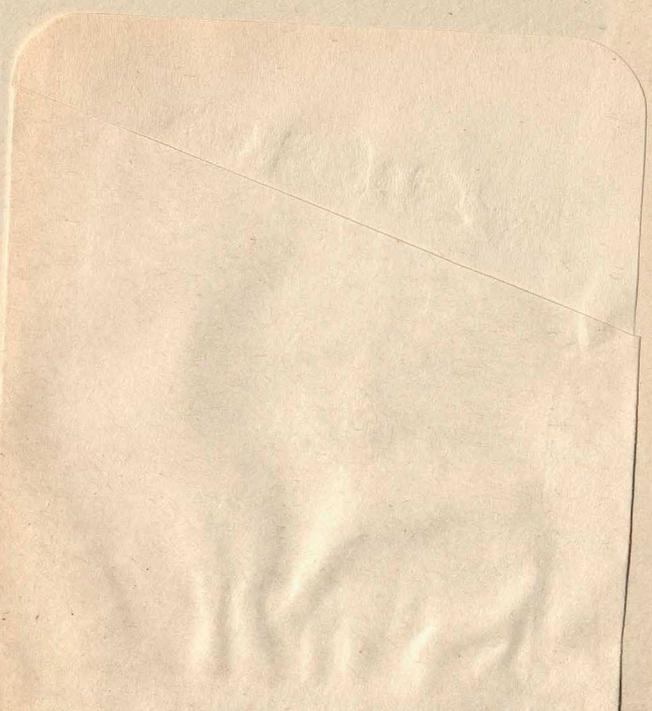
ШКАФЪ 73

ПОЛКА VII

№ 36

73. VII. 36.

M  $\frac{128}{296}$







M  $\frac{10}{296}$  73. 11. 36

# НАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТЪ

СБОРНИКЪ ОРИГИНАЛЬНЫХЪ И ПЕРЕВОДНЫХЪ СТАТЕЙ И ЛЕКЦІЙ

ДЛЯ САМООБРАЗОВАНИЯ,

издаваемый редакціей журнала „НАУЧНОЕ ОБОЗРѢНІЕ“.

№ 1 Джонъ Тиндаль. Лекціи о свѣтъ.

Переводъ Л. А. Левенстерна, подъ редакціей М. Филиппова.

Съ 57 рисунками.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія П. П. Сойкина, Стремянная, 12.

1902.



Фундаментальная Библиотека  
Восточно-Европейской Академии  
Информация № 0-12 b 8

Дозволено цензурою. С.-Петербургъ, 20 февраля 1902 года.

Государственная  
БИБЛИОТЕКА  
СССР  
им. В. И. Ленина

16582-64



2014312932

# С В Ъ Т Ъ.

## ЛЕКЦІЯ ПЕРВАЯ.

Введеніе.—Польза опыта.—Прежнія научныя воззрѣнія.—Наблюдательныя науки.—Познанія о свѣтѣ въ древности.—Недостатокъ зрѣнія.—Наши инструменты.—Прямолинейное распространеніе свѣта.—Законъ паденія и отраженія.—Научная непроезводительность среднихъ вѣковъ.—Преломленіе.—Открытие Снелля.—Частное и полное отраженіе.—Скорость свѣта.—Ремеръ, Бродлей, Фуко и Физо.—Принципъ наименьшаго дѣйствія.—Декартъ и радуга.—Опыты Ньютона надъ составомъ солнечнаго свѣта.—Ошибочность его взглядовъ на ахроматизмъ.—Синтезъ бѣлаго свѣта.—Полученіе бѣлаго свѣта при смѣшеніи желтаго и голубого.—Цвѣта гѣлы природы.—Поглощеніе.—Противоположность явленій смѣшенія разноцвѣтныхъ свѣтовыхъ лучей и красокъ.

### 1. Введеніе.

Много лѣтъ тому назадъ, я опубликовалъ въ Англіи небольшую книгу «Альпійскіе ледники», а нѣсколько лѣтъ спустя вторую, озаглавленную «Теплота, какъ родъ движенія». За этими книгами послѣдовали другія; всѣ онѣ были написаны безъ особенныхъ претензій, и всѣ преслѣдовали одну и ту-же цѣль, — развить и углубить связь между наукой и обществомъ.

Въ высшей степени нежелательно, — и многіе замѣчательные люди соглашались съ этимъ, — чтобы ученый міръ чуждался общества и обратно, профаны оставались чуждыми или даже враждебными наукѣ. Надѣясь устранить эту рознь хотя-бы для одного отдѣла науки, я отказался на время отъ самостоятельныхъ изслѣдованій, — а они были единственнымъ стремленіемъ, единственной радостью моей жизни.

### 2. Предметъ предстоящихъ лекцій. Источникъ свѣта.

Опыты примѣнимы, главнымъ образомъ, для двухъ важныхъ цѣлей: для открытія и выясненія явленій, и затѣмъ для цѣлей преподаванія. Уже давно ихъ называли вопросами, обращенными изслѣдователемъ къ природѣ, которая и даетъ на нихъ вразумительные отвѣты. Но она шепчетъ ихъ на ухо тому, кто спрашиваетъ, и «большая публика» обыкновенно не можетъ ихъ слышать. Къ счастью, вслѣдъ за естествоиспытателемъ является учитель, — и это ужъ его задача усовершенствовать и видоизмѣнить опыты

такъ, чтобы они сдѣлались доступны популярному изложенію. Это именно я и постараюсь выполнить въ данномъ случаѣ.

Выбравъ для своихъ лекцій одинъ только отдѣлъ физики, я покажу на немъ, какъ накопилося и росло подъ руководствомъ опыта научное знаніе. Прежде всего, я хотѣлъ-бы ознакомить васъ съ нѣкоторыми основными явленіями; затѣмъ я намѣренъ показать, какъ зарождаются въ человѣческой разумъ теоретическіе принципы, объясняющіе эти явленія,—и, наконецъ, я примѣню эти принципы ко всей области знанія, составляющей предметъ настоящихъ лекцій. Ученіе о свѣтѣ особенно удачно поддается такой обработкѣ, и изъ него-то я и позаимствую содержаніе своихъ лекцій. Лучше всего мы начнемъ съ тѣхъ немногихъ простыхъ явленій, которыя были извѣстны еще древнимъ,—а затѣмъ, въ исторической послѣдовательности, перейдемъ къ болѣе сложнымъ открытіямъ новѣйшихъ временъ.

Всѣ наши понятія о природѣ, какъ-бы возвышенны или грубы они ни были, основываются на опытѣ. Понятіе о личной волѣ въ природѣ имѣло то-же основаніе. Борьба стихій, какъ и мирная природа—все это казалось дикарю какъ-бы отраженіемъ его собственныхъ измѣчивыхъ настроеній, и онъ приписывалъ ихъ особымъ существамъ, съ такими-же страстями, какъ и онъ, но только гораздо болѣе могущественнымъ. Такимъ образомъ, уже въ сознаніи древнихъ при объясненіи явленій природы было заложено понятіе *причинности*, предполагающее, что въ природѣ ни одно явленіе не происходитъ само по себѣ, а непременно является послѣдствіемъ другихъ, невидимыхъ, и всѣ науки возникли благодаря этой основной чертѣ человѣческаго духа: стремиться познать причины явленій.

Мы не будемъ возвращаться къ самымъ первымъ шагамъ духовной жизни человѣчества; не будемъ также поднимать трудный вопросъ, какимъ образомъ человѣкъ развился до этой духовной жизни. Мы прямо возьмемъ его на той ступени его развитія, на которой онъ обладаетъ уже не только цѣлымъ аппаратомъ мышленія, но и способностью пользоваться имъ. Нѣкоторое время,—и исторически очень продолжительное,—человѣкъ долженъ былъ ограничиваться одними только наблюденіями; приходилось брать то, что давала сама природа, и на этомъ одномъ сосредоточивать свою умственную дѣятельность. Прежде всего, вызвали вопросы въ пытлимомъ умѣ человѣка видимыя движенія солнца и звѣздъ, и ранѣе другихъ наукъ возникла астрономія. Медленно, съ большимъ трудомъ, зародилось у человѣка понятіе о силахъ природы; съ еще большимъ трудомъ, возникла наконецъ изъ этого понятія новая наука,—механика, и только впоследствии дошли постепенно до полного примѣненія механическихъ принциповъ къ движенію небесныхъ тѣлъ. Эти успѣхи астрономіи связаны съ именами Гиппарха и Птолемея; затѣмъ, послѣ длиннаго промежутка времени, появились Коперникъ, Галилей, Тихо Браге и Кеплеръ. Но при всей высотѣ ихъ мышленія, Ньютонъ выситя среди нихъ, какъ вершина высокой горы надъ равниной: настолько онъ поднялся выше всѣхъ другихъ.

Но не только движенія звѣздъ привлекали вниманіе древняго міра. Всѣ были хорошо знакомы съ явленіемъ свѣта, и съ самыхъ древнихъ временъ человѣческой разумъ старался объяснить его. Но безъ *опыта*, а опытъ принадлежитъ только позднѣйшей ступени научнаго развитія,—можно было достигнуть только немногаго, и древнимъ удалось изслѣдо-

вать свѣтотыя 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, на примѣръ, въ водѣ содержится запасъ кислорода, который можетъ соединиться 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<sup>1)</sup> цинка; количество теплоты, развившееся въ батарее, можно выразить точнымъ числомъ. Пусть теперь горѣніе при накаливаніи тонкой проволоки продолжается до тѣхъ поръ, пока опять сгорятъ сто граммовъ цинка. Что-же, въ батарее разовьется такое-же количество теплоты, какъ и раньше? Нѣтъ, оно будетъ какъ разъ на столько меньше, сколько развилось теплоты въ тонкой проволоцѣ внѣ батареи. Если мы къ этому количеству внѣшней теплоты прибавимъ внутреннюю теплоту, развившуюся въ самой батарее, то въ суммѣ получится неизмѣнная величина, соотвѣтствующая

<sup>1)</sup> Въ подлинникѣ стоятъ англійскія мѣры вѣсовъ вмѣсто десятичныхъ.

сторанію 100 граммъ 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 Сантъ-Франциско.

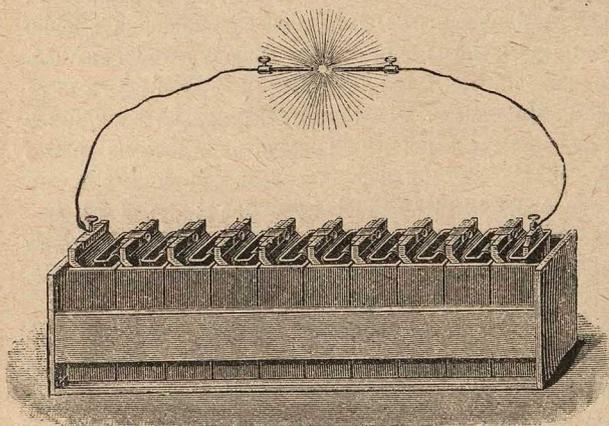
Если удалить тонкую проволоку и укрѣпить на обоихъ раздѣленныхъ концахъ толстой два коксовыхъ стержня, то при сближеніи концовъ углей между ними появляется свѣтящаяся звѣзда (фиг. 1).

Свѣтъ, которымъ мы будемъ пользоваться по нашихъ лекціяхъ, пред-

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

Здѣсь я кстати вспоминаю объ очень распространенномъ

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 камеры, служитъ 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 аберраціей*; 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-

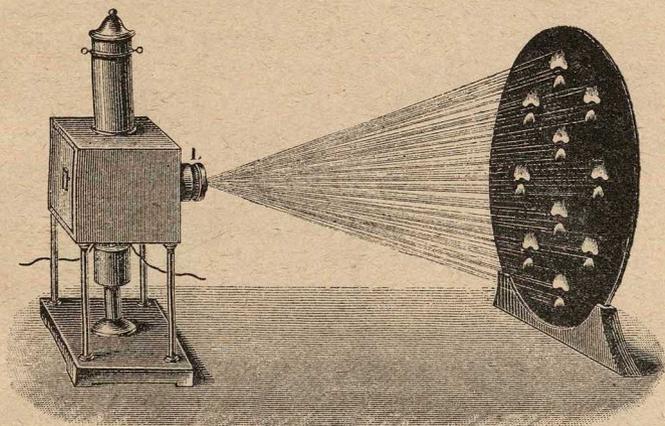


Фиг. 1.

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 все практическія приспособленія, при помощи которыхъ его недостатки въ общемъ нейтрализуются, то глазъ, какъ практическій 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



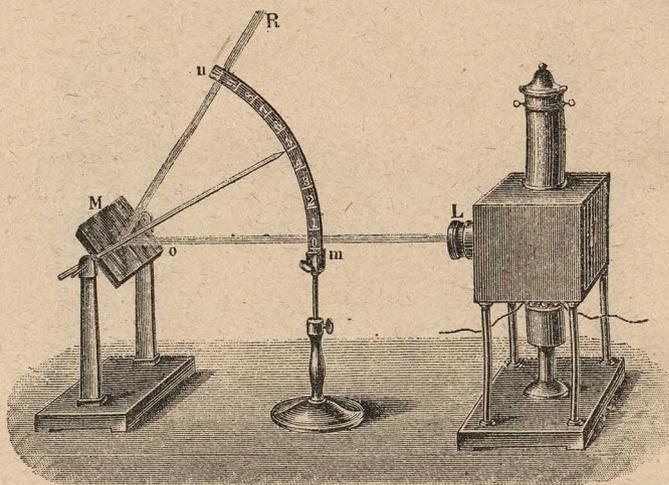
Фиг. 2.

выраженіе «свѣтовой лучъ» возникло благодаря прямолинейнымъ путямъ свѣта, излучаемымъ солнцемъ при извѣстныхъ состояніяхъ атмосферы во время его восхода и заката. Прямолинейное распространение свѣта можно обнаружить, если черезъ узкое отверстіе въ ставнѣ пропустить солнечный лучъ въ темную комнату, гдѣ было разсѣяно немного 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 всехъ лучей дастъ, стало быть, изображеніе предмета; а такъ все 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 иголки проколеть 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 безчисленныя 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 впоследствии, 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 отраженный 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 отраженного 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 четыремъ, — 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 теплою руки, можетъ быть настолько увеличено при помощи этого метода, что лучъ, играющій роль указателя отклонится на 20 — 30 футовъ. Точно также можно доказать удлиненіе 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 витаютъ 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 Виллебордомъ Снеллемъ, около 1621 года.

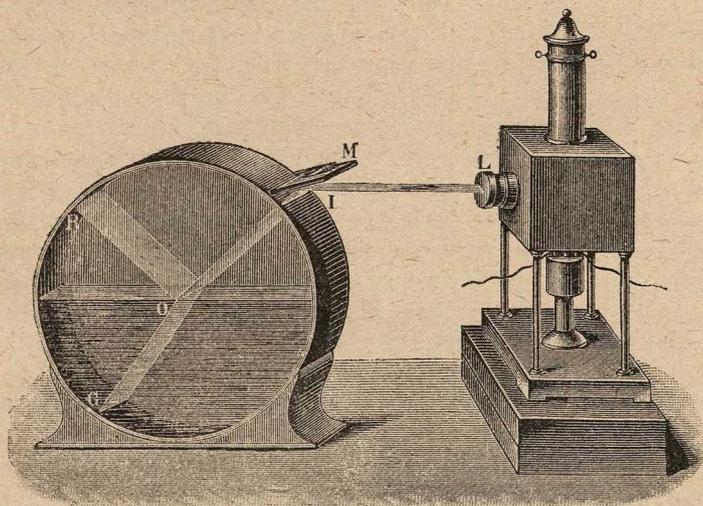
Теперь я покажу вамъ явленіе преломленія, — не столько ради самого этого явленія, сколько для того, чтобы представить его въ формѣ, которая впоследствии пояснитъ вамъ ходъ теоретическихъ разсужденій, сложившихся въ умѣ Ньютона. Я не буду чертить путь луча мѣломъ на черной доскѣ, — нѣтъ, пусть онъ самъ 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 разѣиваетъ 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 (близь *O*). Видно также, что преломленіе сопровождается *отраженіемъ* по направленію *OR*, и лучъ при вступленіи въ воду раздѣляется на двѣ части, — преломленную и отраженную <sup>1)</sup>.

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

<sup>1)</sup> Впоследствии я покажу, какъ при помощи этого прибора можно опредѣлить „уголъ поляризації“ 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  $nr$ ,  $n'r'$  на  $BD$ ; измѣривъ величины  $om$  и  $rn$  и раздѣливъ одну на другую, мы получимъ нѣкоторое частное; если такимъ же образомъ будемъ дѣлить  $m'o'$  на соотвѣтствующій перпендикуляръ  $r'n'$ , 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

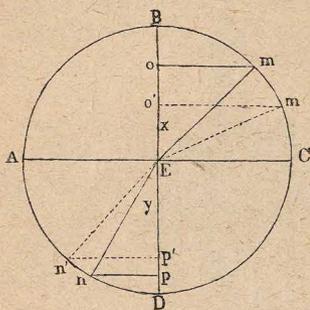


Фиг. 4.

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

Въ этомъ случаѣ наиболѣе 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  $40^\circ$ , вода отражаетъ 22 луча, при  $60^\circ$ —65 лучей, при  $80^\circ$ —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 въсплѣдствіи его примѣненіе, въ такъ называемой, призмѣ Николя, необходимо выяснить, при какихъ условіяхъ оно происходитъ. Для этого я долженъ познакомить васъ съ однимъ принципомъ, которому подчиняются всѣ оптическія явленія, — съ принципомъ обратимости <sup>1)</sup>. 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 неперемѣнно  $nEm$ . Прослѣдимъ теперь дальнѣйшія 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 ( $DEx$ ).

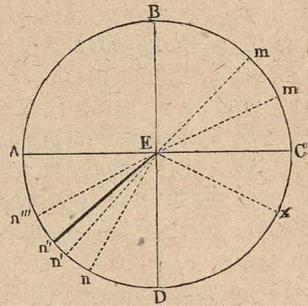
Слѣдующій простой опытъ можетъ показатъ полное внутреннее отраженіе: положимъ въ обыкновенный стаканъ съ водой серебряную монету и повернемъ его такъ, чтобы свѣтъ, идущій отъ монеты, встрѣчалъ находящуюся надъ нимъ поверхность воды подъ надлежащимъ угломъ; если мы теперь посмотримъ снизу на поверхность 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 таковой же красивый и поучительный эффектъ.

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

<sup>1)</sup> Изъ этого принципа сэръ Джонъ Гершель выводитъ такъ же просто, какъ и изящно 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 причрачныя 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 Тантала.

Уголъ, обозначающій границу, за которую уже наступаетъ полное отраженіе, называется *предельнымъ 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.  $180^\circ$ , 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 резбивать 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 <sup>1)</sup>, имѣетъ пять спутниковъ. Намъ интересуетъ 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

<sup>1)</sup> 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 разстояніе отъ мѣста перваго наблюденія до моего тепершняго 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, но 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

Такъ Брайлей и поступилъ, и найденная имъ на основаніи «абераціи свѣта»,—какъ стали называть его открытіе,—скорость оказалась почти тождественной съ величиной, опредѣленной Ремеромъ при помощи совершенно иного метода наблюденія. Затѣмъ скорость свѣта опредѣлили Физо, а позднѣе и Корню,—при чемъ они не прибѣгали уже къ разстояніямъ планетъ и звѣздъ, а пользовались лишь поперечникомъ Парижа; а Фуко, гениальный механикъ, разрѣшилъ эту задачу, не покидая своей комнаты. Вслѣдствіе неточности при опредѣленіи разстоянія земли отъ солнца, скорость, найденная Ремеромъ и Брайдлеемъ, слишкомъ велика. Съ довольно большою точностью ее можно принять равною 186,000 англійскихъ миль (299,300 километровъ) въ секунду.

Открытіе Ремера опровергло введенное Декартомъ и принятое Гукомъ возрѣніе, будто распространеніе свѣта въ пространствѣ не требуетъ времени. Узнали скорость свѣта въ міровомъ пространствѣ, возникъ вопросъ объ его скорости при прохожденіи различныхъ прозрачныхъ веществъ земли. «Показатель преломленія» при прохожденіи луча изъ воздуха въ воду  $= \frac{4}{3}$ . Ньютонъ принялъ, что эти цифры соответствуютъ предположенію, будто скорость свѣта въ водѣ равна 4, если его скорость въ воздухѣ есть 3, и изъ этого предположенія выводилъ всѣ явленія преломленія. Гюйгенсъ же предположилъ какъ разъ обратное и, какъ оказалось, онъ былъ ближе къ истинѣ. По его мнѣнію, скорость въ водѣ равняется 3, если скорость въ воздухѣ 4. Но какъ во времена Ньютона, такъ и теперь, путь свѣта опредѣляется и опредѣляется во всѣхъ случаяхъ однимъ великимъ принципомъ,—принципомъ кратчайшаго пути. Если свѣтъ идетъ отъ одной точки къ другой, какова бы ни была среда, черезъ которую онъ проходитъ, какъ бы онъ ни преломлялся и ни отражался, онъ идетъ тѣмъ путемъ, который требуетъ наименьшаго количества времени. Такъ, на фиг. 4 свѣтъ проходитъ отъ *I* къ *G*, если принять во вниманіе его скорость въ водѣ и въ воздухѣ, скорѣе, проходя черезъ *O* и мѣняя затѣмъ направленіе, чѣмъ если бы онъ шелъ прямо отъ *I* къ *G*. Это вполнѣ понятно: въ послѣднемъ случаѣ ему приходится пройти большее разстояніе въ водѣ, а въ водѣ его скорость меньше.

## 6. Объясненіе Декартомъ явленій радуги.

Законъ преломленія, установленный Снеллемъ, представляетъ собою краугольный камень оптики; онъ имѣетъ миллионы примѣненій. Вскорѣ послѣ этого открытія Декартъ примѣнилъ его къ объясненію явленія радуги. Лучъ солнечнаго свѣта, падая наклонно на дождевую каплю, преломляется при вступленіи въ нее. Часть его отражается отъ задней стѣнки капли и при выходѣ изъ нея снова преломляется. Благодаря этимъ двумъ преломленіямъ и одному отраженію лучъ попадаетъ въ глазъ наблюдателя, стоящаго лицомъ къ каплѣ и спиной къ солнцу.

Предположимъ, что отъ солнца проведена, черезъ затылокъ къ глазу наблюдателя прямая линія, и что она продолжена далѣе. Вообразимъ вторую прямую, идущую отъ дождя къ глазу и составляющую съ продолженіемъ первой уголъ въ  $42\frac{1}{2}^{\circ}$ . Если солнечный лучъ попадетъ на находящуюся въ концѣ этой линіи дождевую каплю, то отъ нея направится

къ глазу наблюдателя лучъ красного свѣта. Каждая расположенная подобнымъ же образомъ дождевая капля, т. е. каждая капля, находящаяся отъ прямой между солнцемъ и глазомъ въ угловомъ разстояніи, равномъ  $42\frac{1}{2}^{\circ}$ , дастъ такой же лучъ. Такимъ образомъ, кругомъ образуется полоса красного свѣта: она представляетъ собою какъ бы границу основанія конуса, вершина котораго находится въ глазу наблюдателя. Въ зависимости отъ величины солнца, уровня ширина этой красной полосы равняется  $\frac{1}{2}$  градуса.

Проведемъ теперь отъ глаза другую линію, и она составитъ съ продолженіемъ линіи отъ солнца уголъ не въ  $42\frac{1}{2}^{\circ}$ , а въ  $40\frac{1}{2}^{\circ}$ . Если солнечный свѣтъ попадаетъ на находящуюся на продолженіи этой линіи дождевую каплю, то отъ нея направится къ глазу уже фіолетовый свѣтъ. Всѣ расположенныя въ такомъ же угловомъ разстояніи капли дадутъ такой же свѣтъ, и мы получимъ такимъ образомъ полосу фіолетоваго свѣта такой же угловой ширины, какъ и краснаго. Эти двѣ полосы образуютъ крайніе цвѣта радуги; между ними располагаются полосы, соотвѣтствующія остальнымъ цвѣтамъ.

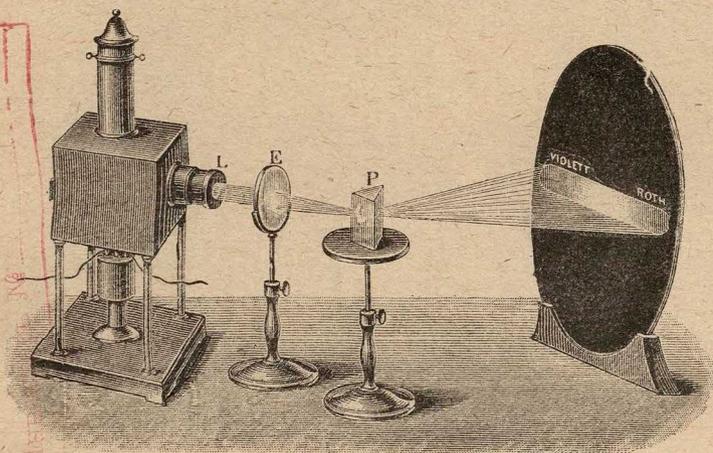
Такимъ образомъ, обѣ линіи, направленные отъ глаза къ серединѣ радуги и къ солнцу, всегда образуютъ уголъ около  $41^{\circ}$ . Найти причину этого явленія, въ этомъ и заключалась трудная задача, оставшаяся до Декарта неразрѣшенной.

Декартъ вычислилъ на бумагѣ по закону Снелля путь каждаго луча, попадающаго въ дождевую каплю; онъ нашелъ, что при одномъ частномъ значеніи угла лучи, отраженные заднею стѣнкою капли, выходятъ почти параллельно другъ другу; при этомъ они могутъ проходить все атмосферное пространство, сохраняя свою силу. При всѣхъ же иныхъ значеніяхъ угла, они выходятъ расходящимся пучкомъ; они достигаютъ глаза настолько ослабленными, что оказываются совершенно нечувствительными для него. Уголъ, при которомъ лучи выходятъ параллельно, равенъ  $41^{\circ}$ , и, какъ показали наблюденія, онъ неизмѣнно сопровождается радугой.

Изъ сказаннаго ясно, что два рядомъ или другъ надъ другомъ стоящіе наблюдателя,—и даже оба глаза одного и того же лица,—видятъ не одну и ту же радугу. Положеніе основанія конуса мѣняется съ измѣненіемъ положенія его вершины. Теперь намъ нетрудно отвѣтить на часто предлагаемый вопросъ: можно-ли видѣть отраженіе радуги въ водѣ? Когда мы видимъ двѣ радуги,—одну на небѣ, другую въ водѣ,—мы склонны думать, что онѣ относятся другъ къ другу такъ же, какъ дерево на берегу относится къ своему отраженію въ водѣ. Но на самомъ дѣлѣ лучи, попадающіе въ глазъ наблюдателя послѣ отраженія отъ поверхности воды и образующіе радугу въ водѣ,—если бы ихъ путь не былъ прегражденъ водою,—сошлись бы въ точкѣ, лежащей вертикально подъ наблюдателемъ,—на столько же ниже уровня воды, насколько глазъ наблюдателя выше его. Но ни при какихъ условіяхъ не могутъ видѣть одну и ту же радугу два глаза, изъ которыхъ одинъ находится надъ поверхностью воды, а другой—подъ нею; другими словами, однѣ и тѣ же капли дождя не могутъ образовать и радугу, видимую прямо на небѣ, и отраженную водою. Поэтому отраженная радуга и не представляетъ собою, въ обыкновенномъ оптическомъ смыслѣ этого слова, «отраженія» радуги, видимой прямо на небѣ.

## 7. Анализъ и синтезъ свѣта. Ученіе о цвѣтахъ.

Радуга вводитъ новое явленіе,—явленіе цвѣта. Здѣсь мы приближаемся къ такому моменту въ исторіи науки, когда труды многихъ великихъ людей настолько перемѣшиваются между собою, что трудно въ точности опредѣлить заслугу каждаго изъ нихъ. Уже Декартъ былъ на порогѣ открытія сложности солнечнаго свѣта; истинный законъ его состава былъ впервые высказанъ Ньютономъ. Ньютонъ поступилъ слѣдующимъ образомъ: продѣлавъ отверстіе въ ставнѣ, онъ впустилъ въ комнату тонкій пучекъ солнечнаго свѣта,—получилось круглое бѣлое изображеніе солнца на противоположной стѣнѣ комнаты. По пути этого пучка Ньютонъ помѣстилъ призму: онъ ожидалъ, что лучи подвергнутся преломленію, но что изобра-



Фиг. 7.

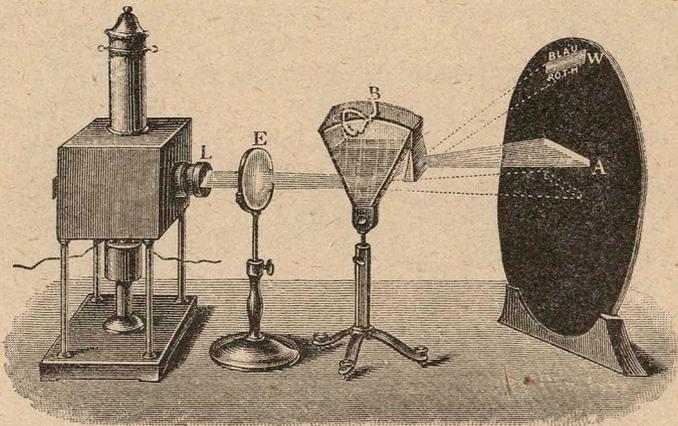
женіе солнца по прежнему останется круглымъ. Къ его большому удивленію, изображеніе удлинилось настолько, что его длина стала въ пять разъ больше ширины. Кромѣ того, оно не осталось бѣлымъ, но было раздѣлено на полосы различныхъ цвѣтовъ. Ньютонъ тотчасъ же понялъ, что лучи солнца—*составные*, а не простые. Удлиненное изображеніе показало ему, что нѣкоторые лучи, входящіе въ составъ солнечнаго свѣта, отклоняются призмою сильнѣе, чѣмъ другіе, и изъ этого онъ заключилъ, что бѣлый свѣтъ представляетъ собою смѣшеніе разноцвѣтныхъ лучей различной преломляемости.

Воспроизведемъ этотъ знаменитый опытъ. На экранѣ проектируется свѣтлый кружокъ,—онъ можетъ замѣнить для насъ изображеніе солнца у Ньютона. Пропустимъ пучекъ лучей (изъ отверстія *L*, фиг. 7), образующій кружокъ, черезъ линзу (*E*),—получится рѣзкое изображеніе отверстія. Помѣстивъ на пути луча призму (*P*), мы получимъ цвѣтное изображеніе Ньютона, съ краснымъ и фіолетовымъ цвѣтомъ по краямъ,—*спектръ*, какъ онъ его назвалъ. Ньютонъ раздѣлил спектръ на семь частей: красную, оранжевую, желтую, зеленую, голубую, синюю и фіолетовую. Эти цвѣта называются *семью основными* или *призматическими*

цвѣтами, а самое разложеніе бѣлаго свѣта на его составные цвѣта Ньютонъ назвалъ *дисперсіей*, т. е. разсѣяніемъ.

Такимъ образомъ Ньютонъ произвелъ первый анализъ солнечнаго свѣта. Но научное мышленіе любитъ провѣрку, оно всегда стремится найти ее, если только это возможно. И вотъ Ньютонъ дополнилъ свое доказательство синтезомъ. Спектръ, который вы видите, полученъ при помощи стеклянной призмы; пропустимъ теперь разложенный пучекъ черезъ другую такую же призму, но только расположимъ ее такъ, чтобы она отклоняла цвѣтные лучи къ прежнему ихъ направленію, соединяя ихъ вновь: мы опять получимъ совершенно бѣлый блестящій кружокъ.

Въ этомъ случаѣ уничтожаются сразу и преломленіе, и разсѣяніе. Что же, это всегда должно быть такъ? А не можемъ-ли мы получить отдѣльно преломленіе безъ дисперсіи или, наоборотъ, разсѣяніе безъ преломленія?



Фиг. 8.

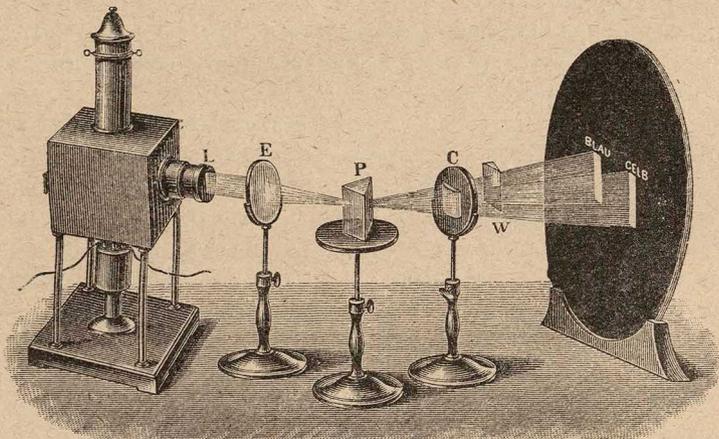
Ньютонъ рѣшилъ, что *не* можемъ. Здѣсь онъ ошибся, и его заблужденіе,—которое онъ сохранилъ до конца жизни,—задержало прогрессъ оптики. Позже Доллондъ доказалъ, что, пользуясь двумя различными сортами стекла, можно уничтожить цвѣтную окраску, сохранивъ преломленіе. Этимъ преломленіемъ онъ воспользовался для устройства ахроматическихъ линзъ,—линзъ, не дающихъ цвѣтной окраски,—а Ньютонъ считалъ это невозможнымъ. Поставимъ водяную призму,—вода заключается въ клинообразномъ сосудѣ со стеклянными стѣнками (*B*, фиг. 8)—передъ стеклянной призмой (вправо отъ *B*), направивъ ихъ въ противоположныя стороны,—тогда можно показать вамъ это явленіе. Прежде всего отмѣчаемъ на экранѣ мѣсто, куда попадаетъ непреломленный свѣтъ (пунктиръ), затѣмъ производимъ узкій водяной спектръ и, наконецъ, введя призму изъ флинтъ-стѣкла, преломляемъ лучи въ обратную сторону настолько, чтобы цвѣтное окрашиваніе исчезло (у *A*). Теперь мы видимъ бѣлое изображеніе щели; хотя дисперсія и уничтожена, но преломленіе,—и весьма замѣтное,—все-таки остается.

Скажемъ еще нѣсколько словъ о приборахъ, которыми мы будемъ пользоваться для опытовъ во время нашихъ лекцій. Всѣ тѣла значительно

отличаются другъ отъ друга по способности преломлять и разсѣивать лучи. Замѣтимъ положеніе водяного спектра на экранѣ. Не будемъ ни въ чемъ измѣнять положеніе сосуда, — замѣнимъ только воду прозрачнымъ сѣрнистымъ углеродомъ, — вы увидите, насколько выше отклонится лучъ, насколько богаче стала игра цвѣтовъ спектра. Чтобы увеличить ширину спектра, мы примѣняли щель (*L*), а не круглое отверстіе <sup>1)</sup>.

Синтезъ бѣлаго свѣта можно произвести тремя способами, на которыхъ стоитъ остановиться. Здѣсь мы имѣемъ прекрасный спектръ, полученный отъ разложенія пучка (изъ *L*, фиг. 9).

Одна грань призмы (*P*) покрыта діафрагмой, ее не видно на фигурѣ — съ продольной щелью, черезъ которую лучъ входитъ въ призму. Онъ



Фиг. 9.

выходитъ разложеннымъ съ другой стороны. Я пропускаю цвѣтные лучи черезъ цилиндрическую линзу (*C*), — она настолько сближаетъ ихъ, что на экранѣ получается рѣзко ограниченное прямоугольное изображеніе щели. Въ этомъ изображеніи цвѣта уничтожены, — оно совершенно бѣлое. Между призмой и цилиндрической линзой можно видѣть цвѣтные лучи, — они проходятъ черезъ комнатную пыль. Если задержать картой наиболѣе преломленную часть лучей, прямоугольникъ окажется краснымъ. Если же задержать лучи наименѣ преломленные, онъ будетъ голубымъ. Отклонимъ при помощи тонкой стеклянной призмы (*W*) часть лучей, — а остальные

<sup>1)</sup> Незначительность силы свѣторазсѣянія воды замаскировываетъ, какъ замѣтилъ Гельмгольцъ, неполный ахроматизмъ глаза. Невооруженнымъ глазомъ я могу видѣть рѣзкія очертанія удаленнаго отъ меня на значительное разстояніе голубого круга, но краснаго — не могу. Я вижу такъ же отчетливо на голубомъ концѣ линіи, составляющія верхнюю и нижнюю границы горизонтальнаго спектра; на красномъ же концѣ вижу ихъ чрезвычайно неясно. Если спроектировать на экранъ освѣщенное круглое отверстіе и одинъ полукругъ его покрыть краснымъ, а другой — голубымъ или зеленымъ стекломъ, то разница между шириною обоихъ полукруговъ покажется очень большою какъ для меня, такъ и для безчисленнаго количества другихъ лицъ. Но многимъ эта разница представляется обратной. Если я поправлю при помощи очковъ разсѣянне краснаго свѣта на ретинѣ, то голубой цвѣтъ не будетъ больше давать рѣзко очерченнаго изображенія. При помощи такого приема, глазъ оказывается на самомъ дѣлѣ далеко не ахроматичнымъ.

оставимъ безъ измѣненія: на экранѣ получается два прямоугольника различнаго цвѣта. Это *дополнительные* цвѣта,—при смѣшеніи они даютъ бѣлый. При правильной постановкѣ призмы одинъ прямоугольникъ будетъ желтый, другой—голубой. Если удалить тонкую призму, желтый и голубой непосредственно смѣшаются,—и въ результатѣ этого смѣшенія окажется бѣлый. Этотъ опытъ устраняетъ заблужденіе, на которое указалъ Вюншъ, а потомъ, независимо отъ него, и Гельмгольцъ: будто при смѣшеніи голубого и желтаго свѣта получается зеленый.

Если вновь ввести круглое отверстіе,—вновь получится спектръ Ньютона. При помощи линзы можно уловить и соединить эти цвѣта и получить не только изображеніе круглаго отверстія, но даже и углей, производящихъ свѣтящуюся дугу.

Наконецъ, при помощи вращающагося кружка, секторы котораго окрашены во всѣ цвѣта спектра, можно соединить ихъ въ самомъ глазу: получается впечатлѣніе бѣлаго цвѣта.

Мы отдѣлили другія, столь тѣсно соединенныя между собою составныя части бѣлаго свѣта. Теперь слѣдуетъ задаться вопросомъ: какую роль можетъ играть въ природѣ свѣтъ, благодаря своему, обнаруженному нами составу?—Отъ него зависятъ всѣ явленія окраски, но зависятъ они не отъ него одного. Для того, чтобы изъ бѣлаго свѣта можно было получить все богатство красокъ, необходимо извѣстное соотношеніе между мельчайшими частицами тѣлъ и бѣлымъ свѣтомъ. Тѣла не создаютъ красокъ,—они избираютъ ихъ. Бѣлый солнечный свѣтъ изливаетъ на тѣла природы полную сумму всевозможныхъ цвѣтовъ,—а ихъ дѣятельность ограничивается тѣмъ, чтобы, такъ сказать, просѣять эту сумму и одну часть ея усвоить или поглотить, а другую отразить. Вы еще прочнѣе усвоите это, если я скажу вамъ, что тѣло получаетъ окраску не отъ тѣхъ лучей, которые оно поглощаетъ, а отъ тѣхъ, которые отражаетъ.

Начнемъ наши экспериментальныя изслѣдованія съ вопроса: что представляетъ собою въ дѣйствительности черный цвѣтъ? Проляжемъ черную ленту передъ изображеніемъ спектра,—она погаситъ всѣ его цвѣта. Теперь ясно, что такое черный цвѣтъ: онъ представляетъ собою результатъ поглощенія всѣхъ лучей, составляющихъ солнечный свѣтъ. Протянемъ теперь передъ спектромъ красную ленту. Въ красномъ свѣтѣ она будетъ ярко-красной. Отчего это происходитъ? Оттого, что свѣтъ, падающій на ленту, не погашается и не поглощается,—большая часть его отражается обратно къ глазу. Положимъ ту же ленту на зеленую часть спектра,—она кажется черной, какъ уголь. Зеленый свѣтъ она поглощаетъ, и то мѣсто, на которое онъ падаетъ, погружается въ полную темноту. Положимъ зеленую ленту на зеленую часть спектра,—она яркаго зеленаго цвѣта. Перемѣстимъ ее на красную часть,—она кажется черною, какъ уголь; здѣсь она поглощаетъ весь свѣтъ, который на нее падаетъ, и глазъ видитъ только темноту.

Когда мы пользуемся бѣлымъ свѣтомъ, красная лента просѣиваетъ его, погашая зеленый свѣтъ,—а зеленая лента погашаетъ красный; остальные цвѣта онъ показываютъ. Поэтому процессъ, благодаря которому тѣла получаютъ окраску, можно назвать *негативнымъ*. Цвѣта получаютъ благодаря вычитанію, а не сложению. Это красное стекло—краснаго цвѣта по-

тому, что оно сильнѣе уничтожаетъ всѣ остальные, болѣе преломляемые лучи спектра. Эта голубая жидкость голубого цвѣта потому, что она уничтожаетъ всѣ менѣе преломляемые лучи спектра. Оба тѣла вмѣстѣ — черного цвѣта: свѣтъ, пропускаемый однимъ изъ нихъ, погашается другимъ. Такимъ образомъ, соединяя двѣ прозрачныя среды, мы получаемъ тѣло, которое при солнечномъ свѣтѣ кажется чернымъ, какъ деготь. Наконецъ, вотъ эта другая жидкость пурпуроваго цвѣта: она гаситъ желтый и зеленый свѣтъ, а крайніе цвѣта спектра пропускаетъ безпрепятственно. Этотъ красивый пурпуровый цвѣтъ получился отъ смѣшенія красного и голубого.

Скажемъ еще нѣсколько словъ, чтобы объяснить еще точнѣе. Свѣтъ, падающій на тѣло, дѣлится на двѣ части, и одна изъ нихъ отражается отъ его поверхности. Эта часть въ большинствѣ случаевъ такого же цвѣта, какъ и падающіе на тѣло лучи. Если падающій свѣтъ бѣлый, то и отраженный отъ поверхности свѣтъ будетъ бѣлымъ. Солнечный свѣтъ, напримѣръ, отраженный отъ поверхности какого-нибудь черного тѣла, все-таки остается бѣлымъ. Самый черный дымъ камина, если въ темную комнату черезъ отверстіе въ ставнѣ попадетъ солнечный лучъ, даетъ возможность видѣть бѣлый слѣдъ луча благодаря свѣту, отражаемому поверхностью частицъ сажи. Намъ кажется, что луна:

«Одѣта въ бѣлый бархатъ, таинственно-прекрасна»...;

но если бы даже она была одѣта и въ черный бархатъ, она все такъ же плыла бы по небесамъ, точно бѣлый шаръ, все такъ же свѣтила бы на землю.

## 8. Цвѣта красящихъ веществъ и ихъ отличіе отъ цвѣтовъ спектра.

Другая часть падающаго свѣта входитъ въ тѣло; отъ того, какъ тѣло воспринимаетъ ее, и зависитъ его цвѣтъ. Займемся болѣе подробнымъ анализомъ дѣйствія красящихъ веществъ на свѣтъ.

Тѣла состоятъ изъ частицъ, смѣшанныхъ съ носителемъ свѣта. Какъ бы близко другъ отъ друга ни были помѣщены частицы, — онѣ не могутъ образовать сплошного тѣла; хотъ ихъ раздѣляютъ и очень маленькія разстоянія, — все таки онѣ отдѣлены другъ отъ друга. Тѣла оказываются, — какъ принято выражаться, — «оптически прерывными», — а тамъ, гдѣ является разрывъ оптической непрерывности, тамъ всегда происходитъ отраженіе падающаго свѣта. Многократныя отраженія отъ поверхностей частицъ, — вотъ причина, мѣшающая свѣту проникать черезъ смѣсь, матовое стекло или каменную соль. Тутъ свѣтъ не погашается дѣйствительнымъ поглощеніемъ, — онъ расслабляется безчисленными «эхо». Это такое же отраженіе, какое дѣлаетъ такую непрозрачной грозовую тучу. Туча состоитъ изъ частицъ воды, а между ними — воздухъ; и вода, и воздухъ въ отдѣльности прозрачны, а вмѣстѣ они совершенно непроницаемы.

Если свѣтъ падаетъ на цвѣтное тѣло, то онъ отражается отъ поверхности частицъ, но часть лучей поглощается ими. Отраженіе необходимо для того, чтобы отослать свѣтъ обратно къ глазу, поглощеніе же сообщаетъ тѣлу окраску. То же самое можно сказать про растенія и ихъ цвѣты. Красный цвѣтъ розы зависитъ не отъ того свѣта, который отражается отъ ея поверхности, а отъ того, который проникъ въ ея лепестки:

онъ отразился отъ поверхностей частицъ, а при возвращеніи свѣта онъ утратилъ зеленые лучи.

Подобный же процессъ происходитъ въ яркозеленыхъ листьяхъ: красные лучи поглощаются, и изъ ткани листа выходятъ только зеленые.

Всѣ тѣла, даже самыя прозрачныя—поглощаютъ въ большей или меньшей степени свѣтъ. Возьмемъ воду. Если на пути нашего пучка лучей мы поставимъ стеклянный сосудъ съ прозрачною водою, то ни одинъ цвѣтъ спектра не измѣнится въ сколько-нибудь замѣтной степени. Но все-таки и тутъ происходитъ поглощеніе, хотя на глазъ оно и незамѣтно. Чтобы обнаружить его, достаточно увеличить толщину слоя воды, черезъ которую проходитъ свѣтъ. Въмѣсто сосуда толщиной въ 1 дюймъ поставимъ слой въ 10 или 15 футовъ, тогда цвѣтъ воды будетъ очень замѣтенъ. Если толщину слоя еще увеличить, то еще большая часть свѣта будетъ поглощена; ну а если слой воды будетъ ужъ очень толстъ, тогда весь свѣтъ цѣликомъ будетъ поглощенъ. Сажа или смола не могутъ погасить свѣтъ полнѣе; вся разница въ этомъ отношеніи состоитъ лишь въ томъ, что въ послѣднемъ случаѣ для погашенія достаточно и очень тонкаго слоя. Разница между самой большой извѣстной намъ прозрачною—только въ степени.

Если слой воды настолько толстъ, что можетъ погасить весь свѣтъ, и изъ воды до насъ не доходитъ ни одинъ лучъ, то мы имѣемъ на лицо всѣ условія, необходимыя для полученія чернаго цвѣта. Если взглянуть вглубь на воды Атлантическаго океана, то рѣдко гдѣ-нибудь удастся замѣтить хоть какой-нибудь цвѣтъ; самое большее, глазъ замѣтитъ гдѣ-нибудь темно-синюю окраску. Въ самомъ дѣлѣ, вода оказывается чернаго цвѣта, и это доказываетъ ея глубину и чистоту. Но картина совершенно мѣняется, если къ водѣ океана механически примѣшаны частицы какого-нибудь тѣла, способныя отражать падающій на нихъ свѣтъ.

Попробуйте, на примѣръ, бросить въ самую черную воду Атлантическаго океана бѣлый кирпичъ или бѣлую фарфоровую тарелку; по мѣрѣ того, какъ она погружается, она дѣлается все зеленѣе и зеленѣе, и, раньше чѣмъ исчезнуть, она приметъ яркую сине-зеленую окраску. Разломите этотъ кирпичъ или тарелку на нѣсколько кусковъ,—каждый кусокъ окрасится такъ же, какъ прежде вся тарелка; попробуйте размолоть кирпичъ въ порошокъ,—каждая частица дастъ немного зеленого свѣта. Если же частицы настолько малы, что могутъ плавать въ водѣ, то вы увидите отъ разсѣяннаго свѣта равномерную зеленую окраску. Отсюда зеленый цвѣтъ воды на отмеляхъ.

Вы ложитесь спать, плавая среди черныхъ водъ Атлантическаго океана; утромъ вы встаете,—вода ярко зеленого цвѣта. Изъ этого вы съ большою вѣроятностью можете заключить, что вы пробѣгаете Нью-Фаундлендскія мели. Вода тутъ наполнена мелкими, висящими въ ней частицами. Можно было бы также принять въ расчетъ свѣтъ, отраженный отъ дна, но это не необходимо случается. Пѣна, производимая подъ водою лопастями колеса или винтомъ парохода, тоже ярко зеленого цвѣта. Пѣна—отражающая поверхность, а вода между нею и глазомъ—поглощающая.

Пѣтъ ничего прекраснѣе зеленыхъ волнъ Атлантическаго океана, если только условія благоприятствуютъ образованію окраски. Пока волна

еще не разбилась, она не имѣетъ цвѣта, но разъ только на гребнѣ ея появилась пѣна, какъ снѣжная вершина на Альпахъ, подъ нею можно видѣть игру самыхъ красивыхъ зеленыхъ цвѣтовъ. Эта зелень металлическаго блеска. Сначала пѣна освѣщается и разсѣваетъ свѣтъ по всѣмъ направленіямъ. Только отъ верхней части гребня свѣтъ достигаетъ глаза, вызывая въ немъ ощущеніе необычайно красиваго цвѣта. Волна разбивается, получается рядъ продольныхъ колебаній вверхъ и внизъ; они дѣйствуютъ какъ цилиндрическія линзы, измѣняютъ интенсивность цвѣта и въ значительной степени повышаютъ его красоту.

Теперь мы уже настолько подготовлены, что можемъ подробнѣе обсудить одинъ уже затронутый нами вопросъ, который долго неправильно понимался. Вы, вѣроятно, читали во многихъ книгахъ, что отъ смѣшенія желтаго и голубого свѣта получается зеленый. Но мы только что доказали, что желтый и зеленый — дополнительные цвѣта, образующіе при смѣшеніи бѣлый. Безъ сомнѣнія, смѣшеніе голубого и желтаго красящихъ веществъ дастъ въ результатъ зеленое, но смѣшеніе тѣл и смѣшеніе цвѣтовъ спектра—это двѣ разныя вещи.

Гельмгольцъ открылъ причину, по которой смѣшеніе желтыхъ и голубыхъ тѣлъ даетъ зеленый цвѣтъ. Въ природѣ нѣтъ ни одного *чистаго* цвѣта. Голубая жидкость или голубой порошокъ пропускаютъ не только голубые лучи, но и часть смежныхъ съ ними зеленыхъ. Желтый порошокъ прозраченъ не только для желтыхъ лучей, но также и для части сосѣднихъ съ ними зеленыхъ. Если теперь мы смѣшаемъ желтый порошокъ съ голубымъ, то голубой уничтожитъ желтые, оранжевые и красные лучи; желтый, съ своей стороны, уничтожитъ фіолетовые, синіе и голубые. Зеленый—единственный свѣтъ, для котораго оба тѣла прозрачны; поэтому, если бѣлый свѣтъ падаетъ на смѣсь желтаго и голубого тѣла,—въ глазъ попадаетъ только зеленый свѣтъ. Вы уже видѣли, что красивая голубая сложная сѣрникоислая соль аммонія и мѣди пропускаетъ большую часть зеленого свѣта, а всѣ менѣе преломляемые лучи задерживаетъ. Желтый растворъ пикриновой кислоты тоже пропускаетъ зеленые лучи, но задерживаетъ всѣ сильнѣе преломляемые. Что произойдетъ, если пропустить лучъ черезъ обѣ жидкости? Вы можете видѣть, какой отвѣтъ даетъ опытъ: на экранѣ осталась только зеленая полоса спектра.

Вудбери сообщилъ мнѣ недавно объ одномъ наблюденіи, ясно обнаружившемъ нечистоту красокъ природы. Онъ смотрѣлъ при солнечномъ свѣтѣ черезъ голубое стекло на зеленые листья: съ ея поверхности отражался голубой свѣтъ, но изъ глубины листы шли лучи пурпуроваго цвѣта. При болѣе тщательномъ изслѣдованіи, я обнаружилъ, что стекло, которое примѣнялось для наблюденія, пропускало оба края спектра, красный и голубой, а средняя часть его погасалась. Такимъ образомъ, это явленіе объяснилось очень просто: нѣжные весенніе листья поглощаютъ большую часть голубыхъ солнечныхъ лучей, и къ глазу идетъ, главнымъ образомъ, желто-зеленый свѣтъ, содержащій одноако много и красныхъ лучей. Когда мы смотримъ на эти листья черезъ фіолетовое стекло, зеленые и желтые лучи задерживаются, и только красные лучи достигаютъ глаза; при этихъ условіяхъ листья кажутся розовыми, какъ блѣдно-красныя розы, и представляютъ собою очень красивое зрѣлище. При по-

мощи голубой сѣрнокислой соли аммонія и мѣди, не пропускающей красныхъ лучей, мы не можемъ получить того же явленія.

По мѣрѣ наступленія лѣта пурпурово-красный цвѣтъ измѣняется понемногу въ мѣдно-красный; въ темнозеленыхъ листьяхъ стараго плюща его уже совсемъ больше нѣтъ. Пропустимъ въ темной комнатѣ на свѣжѣе листья лучъ бѣлаго свѣта: мы неожиданно увидимъ, что красный цвѣтъ быстро чередуется съ зеленымъ, по мѣрѣ того какъ мы вводимъ или удаляемъ фіолетовое стекло. Черезъ это стекло въ маѣ луга кажутся окрашенными въ темно-пурпуровую окраску. Пользуясь растворомъ марганцовокислаго кали, уничтожающаго среднюю часть спектра, но пропускающаго крайніе лучи еще свободнѣе, чѣмъ фіолетовое стекло, можно вызывать такіе же поразительные эффекты <sup>1)</sup>.

Вопросъ объ отношеніи между поглощеніемъ свѣта и строеніемъ частицъ принадлежитъ къ числу самыхъ сложныхъ и трудныхъ въ физикѣ. При современномъ состояніи науки мы не можемъ еще разрѣшить его, но, несомнѣнно, мы разрѣшимъ его постепенно. А пока мы не безъ нѣкотораго удовлетворенія можемъ бросить взглядъ на цѣлую сѣть соотношеній, открытыхъ при помощи нашихъ опытовъ. Прежде всего мы открыли въ солнечномъ свѣтѣ весьма сложный факторъ природы, состоящій изъ безчисленнаго количества въ различной степени преломляемыхъ лучей. Далѣе мы видимъ, что атомы и молекулы обладаютъ способностью различнымъ образомъ разлагать солнечный свѣтъ и, такимъ образомъ, создавать всѣ естественныя и искусственныя окраски. Для этого строеніе частицъ должно по сложности соответствовать составу солнечнаго свѣта. Еще далѣе передъ нами человѣческой глазъ и мозгъ,—они устроены такъ, что могутъ воспринимать и отличать другъ отъ друга всѣ вызываемыя свѣтомъ впечатлѣнія.

Итакъ, испускаемый солнцемъ свѣтъ—составной; для того, чтобы «просѣивать» и «подбирать» его, какъ это дѣлаютъ тѣла природы, нужно, чтобы эти тѣла тоже были сложной структуры. Глазъ и мозгъ, воспринимающіе свѣтовые впечатлѣнія, какъ бы мы ни упрощали свои взгляды на ихъ дѣятельность <sup>2)</sup>, должны быть тоже очень сложнаго строенія.

<sup>1)</sup> Въ поглощеніи лучей, какъ зеленою листвою, такъ и цвѣтами, наблюдается удивительная разница. Напримѣръ, красный букъ и зеленый букъ поглощаютъ разные лучи.

Дерево обаяно своимъ ростомъ нѣкоторымъ изъ этихъ лучей. Возникаетъ вопросъ: одинаковы ли химическіе лучи, дѣйствующіе на красный и зеленый букъ? Одинаковы ли химическіе лучи для двухъ такихъ цвѣтковъ, какъ, напримѣръ первоцвѣтъ и фіалка,—для которыхъ поглощаемые лучи являются дополнительными,—насколько о томъ можно судить по ихъ вѣтву.

Общее соотношеніе между цвѣтомъ и химическимъ дѣйствіемъ можно подробнѣе изслѣдовать при помощи того метода, который былъ примененъ докторомъ Дрэнперомъ для доказательства химической дѣятельности желтыхъ лучей солнца.

(Наиболѣе полное изслѣдованіе вліянія различныхъ лучей на растенія принадлежитъ русскому ботанику, проф. Тимирязеву). *Ред.*

<sup>2)</sup> Юнгъ, Гельмгольцъ и Максвеллъ сводятъ все разнообразіе окрасокъ къ комбинаціямъ въ различныхъ пропорціяхъ трехъ основныхъ цвѣтовъ. Это доказывается опытомъ: при помощи краснаго, зеленаго и фіолетоваго можно получить всѣ остальные цвѣта спектра.

Чарльзъ Уитстонъ обратилъ мое вниманіе на работу Христіана Эрнста Вюнша (Лейпцигъ, 1792), гдѣ авторъ высказываетъ мнѣніе, что „простыхъ“ цвѣтовъ въ бѣломъ свѣтѣ не семь и не пять, а три. При помощи пяти призмъ

Чѣмъ же объясняется эта тройная сложность? Если бы приходилось служить только такъ называемымъ матеріальнымъ цѣлямъ, тогда было бы достаточно и гораздо болѣе простаго устройства. Но вмѣсто простоты мы скорѣе имѣемъ избытокъ соотношеній и приспособленій, повидимому, только для того, чтобы мы могли видѣть предметы окрашенными въ самые различные цвѣта. Не представляется ли вамъ, что природа стремится воспитать насъ не только для тѣхъ наслажденій, которыя доставляются ѣдою и питьемъ? Но каковы бы ни были цѣли природы, а относительно нихъ мы можемъ строить только предположенія, во всякомъ случаѣ мы, какъ «вѣнецъ творенія», можемъ наслаждаться не только матеріально полезными вещами,—мы одарены еще другими способностями, болѣе широкими, неограниченными по размѣрамъ и примѣненіямъ, имѣющими дѣло только съ истиной и красотой.

---

и пяти малыхъ отверстій Вюншъ получаетъ пять спектровъ. Сначала онъ смѣшиваетъ цвѣта попарно, потомъ онъ комбинируетъ ихъ различнымъ образомъ и въ различныхъ пропорціяхъ. Въ результатъ онъ убѣдился, что красный цвѣтъ—простой и его нельзя разложить; оранжевый состоитъ изъ ярко-краснаго и слабо-зеленаго; желтый есть смѣсь ярко-краснаго и ярко-зеленаго; зеленый—„простой“ цвѣтъ; голубой состоитъ изъ смѣси насыщеннаго фіолетоваго и насыщеннаго (густаго) зеленаго; синій—смѣсь густо-фіолетоваго и слабо-зеленаго; фіолетовый—„простой“ цвѣтъ. И онъ нашелъ также, что желтый и синеголубой свѣтъ даютъ при смѣшеніи бѣлый. Желтый и свѣтло-голубой даютъ тоже бѣлый, но послѣдній имѣетъ какъ будто зеленый оттѣнокъ; смѣсь же двухъ красящихъ веществъ, желтаго и голубого, всегда имѣетъ болѣе или менѣе красивую зеленую окраску. Вюншъ очень опредѣленно различаетъ смѣшеніе цвѣтовъ спектра и смѣшеніе красящихъ тѣлъ. Говоря о полученіи желтаго цвѣта, онъ пишетъ: „Я нарочно говорю красный и зеленый *свѣтъ*, потому что рѣчь идетъ о цвѣтѣ свѣта, а не какого-нибудь красящаго тѣла“. Какъ бы ошибочны ни были теоріи Вюнша,—его опыты, въ общемъ, повидимому, точны и послѣдовательны. Около десяти лѣтъ спустя Юнгъ принялъ красный, зеленый и фіолетовый за три основные цвѣта; каждый изъ нихъ можетъ вызвать три ощущенія, изъ которыхъ одно значительно превосходить остальные два. Гельмгольцъ согласился съ такимъ взглядомъ, разработалъ и расширилъ его. (Трактатъ Максвелля „Теорія сложныхъ цвѣтовъ“ былъ опубликованъ въ „Philosophical Transactions“, т. 150, стр. 57).

## ВТОРАЯ ЛЕКЦІЯ.

Начало физическихъ теорій.—Значеніе воображенія для развитія науки.—Ньютонъ и теорія истеченія.—Провѣрка физическихъ теорій.—Свѣтоносный эфиръ.—Теорія свѣтовыхъ волнъ.—Томасъ Юнгъ.—Френель и Араго.—Понятіе о волнообразномъ движеніи.—Интерференція волнъ.—Сложеніе звуковыхъ волнъ.—Аналогіи явленій звука и свѣта.—Примѣры волнообразнаго движенія.—Интерференція звуковыхъ волнъ.—Оптическія явленія.—Высота звука и цвѣтъ.—Длины свѣтовыхъ волнъ и періодъ колебанія частицъ эфира.—Интерференція свѣта.—Явленія, впервые наведшія на теорію волнъ.—Бойль и Гукъ.—Цвѣта тонкихъ пластинокъ.—Мыльный пузырь.—Кольца Ньютона.—Теорія „приспособленія“.—Объясненіе колець.—Устраненіе этой теоріи.—Диффракція свѣта.—Окраска, вызываемая ею.—Цвѣтъ перламутра.

### 1. Происхожденіе и приложимость физическихъ теорій.

Мы можемъ до бесконечности разнообразить и измѣнять наши опыты надъ свѣтомъ; они показали бы намъ, что мы замѣчательно «владѣемъ» этими явленіями. Но мы открыли только, какъ дѣйствуетъ нѣкоторая причина, а самая причина остается пока намъ неизвѣстной.

Человѣческій умъ устроенъ такъ, что онъ никогда не можетъ удовлетвориться однимъ только поверхностнымъ знаніемъ явленій природы; онъ радуется и веселится, когда удается познать принципы, доказывающіе, что явленія природы органически связаны другъ съ другомъ.

Спросимъ же себя, что же это такое, что мы прсизводили, отражали, преломляли и анализировали.

Рѣшая этотъ вопросъ, мы узнаемъ, что жизнь естествоиспытателя имѣетъ двѣ стороны. Экспериментаторъ по призванію, онъ живетъ жизнью чувствъ, пользуясь при своихъ опытахъ руками, глазами и ушами; но вопросъ, стоящій передъ нами теперь, лежитъ внѣ области чувствъ. Ученый не можетъ и обсуждать, не говоря уже о разрѣшеніи, вопроса: «Что такое свѣтъ», не перенесясь въ другой, недоступный чувствамъ, міръ, отъ котораго, тѣмъ не менѣе, зависятъ всѣ оптическія явленія. Чтобы ясно представить себѣ этотъ подчувственный міръ, чловѣкъ долженъ обладать нѣкоторымъ даромъ воображенія. Онъ долженъ умѣть составлять себѣ опредѣленное представленіе о предметахъ этого міра, такъ, чтобы можно было сказать: если въ подчувственномъ мірѣ существуетъ такое то положеніе вещей, то изъ него должны неизбѣжно вытекать явленія чувственного міра. Такъ возникаютъ всѣ физическія теоріи, а вѣрность

ихъ доказывается тѣмъ, что онѣ могутъ объяснять извѣстныя намъ явленія и предсказывать неизвѣстныя.

Такое понятіе о физическихъ теоріяхъ требуетъ, какъ вы видите, нѣкотораго напряженія фантазіи; это слово, повидимому, смущаетъ многихъ почтенныхъ лицъ, какъ стоящихъ въ рядахъ дѣятелей науки, такъ и стоящихъ внѣ ея области. Если ученые могутъ такъ смущаться, это доказываетъ, что они поддались общепринятому взгляду на нашу великую способность, вмѣсто того, чтобы самимъ наблюдать ея влияние на ихъ собственный умъ. Безъ фантазіи мы не могли бы сдѣлать ни одного шага за предѣлами чисто животнаго міра, быть можетъ, не могли бы дойти даже и до его границы. Но говоря такъ о фантазіи, я разумю вовсе не какую-то беспорядочную силу, произвольно обращающуюся съ фактами, но силу, правильно направленную, дисциплинированную, задача которой создавать только тѣ представленія, какихъ настойчиво требуетъ разумъ. Работающая подобнымъ образомъ фантазія на самомъ дѣлѣ никогда и не отдѣляется отъ міра фактовъ. Этотъ міръ — какъ-бы кладовая, изъ которой фантазія беретъ нужный ей матеріалъ. Не создать новые предметы, а измѣнить соответственно требованіямъ духа въ подчувственномъ мірѣ величину, положенія, группировку и другія соотношенія чувственныхъ предметовъ, вотъ въ чемъ заключается магическая сила ея искусства<sup>1)</sup>.

Декартъ представлялъ себѣ пространство наполненнымъ какимъ-то веществомъ, *моментально* переносящимъ свѣтъ. Во-первыхъ, насколько ему показывалъ опытъ, между появленіемъ свѣта на какомъ бы то ни было разстояніи и его дѣйствіемъ на наше сознаніе не было измѣримаго промежутка времени; затѣмъ, нигдѣ, куда проникалъ опытъ, физическая энергія не переносилась изъ одного мѣста въ другое безъ «посредника». Но тутъ явилась на помощь фантазія съ ея представленіями, взятыми изъ міра фактовъ. «Если идешь,—говорилъ онъ,—съ палкой въ рукахъ въ темнотѣ и наткнешься концомъ ея на какое-нибудь препятствіе, то рука почувствуетъ это немедленно. Это объясняетъ странное на первый взглядъ явленіе, что солнечный свѣтъ достигаетъ насъ моментально. Я хотѣлъ бы думать, что свѣтъ тѣлъ, которыя мы называемъ свѣтящимися, представляетъ собою не что иное, какъ очень быстрое и стремительное

<sup>1)</sup> Мой нынѣ покойный другъ, д-ръ Венсе Jones, бывший почетный секретарь Королевскаго Общества, нашелъ и списалъ для меня слѣдующую интересную замѣтку, относящуюся къ затронутому здѣсь вопросу:

„Въ величинахъ всякаго рода есть такое качество или степень, къ которымъ примѣнились наши чувства; познать ихъ очень желательно. Это—основа философіи; всѣ качества, всѣ степени одинаково могутъ быть предметами философскаго изслѣдованія, но философъ, въ своихъ изслѣдованіяхъ, долженъ исходить изъ тѣхъ, къ которымъ примѣнились чувства—впослѣдствіи онъ можетъ подниматься или опускаться, въ зависимости отъ того, чего требуютъ его заключенія. Онъ хорошо дѣлаетъ, исходя изъ различныхъ точекъ зрѣнія и восполняя недостатки чувствъ хорошо регулированнымъ воображеніемъ; точно также не долженъ онъ себя ограничивать никакими рамками пространства и времени. Но такъ какъ познаніе природы основывается на наблюденіи чувственныхъ предметовъ, то съ этого и слѣдуетъ начинать, и къ этимъ наблюденіямъ надо часто возвращаться, чтобы на нихъ измѣрить свои успѣхи. Здѣсь можно имѣть прочную точку опоры: исходя отъ нея, надо все-таки почаще предусмотрительно возвращаться къ ней обратно, иначе рискуешь затерять свой путь въ лабиринтъ природы.“ (Маклорэнъ „Описаніе научныхъ открытій Ньютона“, 1728. Второе изд. 1750, стр. 18, 19).

движеніе, достигающее черезъ пространство воздуха и другихъ прозрачныхъ веществъ глаза, такъ же, какъ толчокъ достигаетъ руки слѣпого черезъ посредство палки. Это происходитъ моментально, и если бы разстояніе между нами и источникомъ свѣта было даже больше разстоянія между небомъ и землей, то и тогда происходило бы моментально, и такъ же мало необходимо, чтобы что-нибудь матеріальное проходило отъ свѣтящагося тѣла къ глазу, какъ нѣтъ необходимости, чтобы что-нибудь переносилось отъ земли къ рукѣ слѣпого, когда онъ чувствуетъ ударъ палки». Знаменитый Робертъ Гукъ подвергъ сначала это воззрѣніе Декарта сомнѣнію, но потомъ согласился съ нимъ. Вѣра въ моментальное распространеніе свѣта была въ послѣдствіи разрушена, благодаря упомянутому въ нашей первой лекціи открытію Ремера.

## 2. Теорія истеченія.

Теорія Ньютона еще нагляднѣе доказываетъ, что матеріаль для созданія физическихъ теорій мы черпаемъ изъ міра фактовъ. Прежде, чѣмъ Ньютонъ приступилъ къ изученію свѣта, онъ былъ хорошо знакомъ съ законами удара упругихъ тѣлъ, которые все вы болѣе или менѣе знаете по игрѣ на билліардѣ. Ньютонъ зналъ, что при столкновеніи замѣтныхъ эластичныхъ массъ уголъ паденія равняется углу отраженія, зналъ также, что опытъ, какъ было показано на предшествующей лекціи (фиг. 3), доказалъ справедливость этого закона и для свѣта. Такимъ образомъ, его прежнія знанія дали ему матеріаль для теоретическихъ представленій. Ему оставалось только расширить прежнія представленія своего ума, чтобы придти къ теоріи истеченія. Согласно предположенію Ньютона, свѣтъ состоялъ изъ упругихъ частицъ безконечно малыхъ размѣровъ, съ невообразимой скоростью высылаемыхъ свѣтящимися тѣлами. Оптическое отраженіе дѣйствительно происходитъ такъ, какъ будто бы свѣтъ состоитъ изъ такихъ частицъ: это и дало Ньютону право ввести такую гипотезу.

Но это еще не все. Есть еще и другая точка зрѣнія, благодаря которой прежнія знанія Ньютона внушали ему такое представленіе о природѣ свѣта. Онъ много занимался явленіями притяженія и хорошо ознакомился съ дѣйствиемъ этой универсальной силы. Быть можетъ, эти явленія до такой степени занимали его умъ, что не могли допустить свободнаго сужденія о природѣ свѣта. Ньютонъ усмотрѣлъ въ преломленіи результатъ дѣйствія притягательной силы на частицы свѣта. Онъ проводилъ этотъ взглядъ съ самой строгой послѣдовательностью. При паденіи тѣла вертикально внизъ его движеніе ускоряется по мѣрѣ приближенія къ поверхности земли. При паденіи внизъ свѣта къ горизонтальной поверхности, изъ воздуха къ стеклу или водѣ, движеніе частицъ, согласно съ гипотезой Ньютона, тоже ускоряется, какъ только онѣ подходятъ къ самой поверхности. Если же онѣ подходятъ къ такой поверхности наклонно, онѣ притягиваются ею, какъ только приблизятся вплотную, подобно тому, какъ летящее ядро отклоняется тяжестью къ поверхности земли. Преломленіе, которое мы видѣли въ прошлой лекціи, и представляетъ собою, по Ньютону, такое отклоненіе. Наконецъ, онъ предполагалъ, что разница цвѣтовъ происходитъ отъ разницы «величины» частицъ. Такова была

физическая теорія свѣта, провозглашенная и защищаемая Ньютономъ; какъ вы видите, она состоитъ въ простомъ перенесеніи понятій, взятыхъ изъ чувственнаго міра, въ міръ подчувственный.

Область физическихъ теорій лежитъ въ подчувственномъ мірѣ, но вѣрность теорій провѣряется въ этомъ чувственномъ мірѣ.

Принявъ за основу наше теоретическое представленіе, мы должны путемъ строгой дедукці вывести, какія явленія должны неизбѣжно изъ него вытекать. Если выведенныя такимъ образомъ явленія согласуются съ наблюдаемыми въ дѣйствительности, то вѣрность теоріи повышается. Если открыта новая группа явленій, и оказывается, что и эти явленія согласуются съ теоріей, то она дѣлается еще вѣроятнѣе. Если же теорія сообщаетъ естествоиспытателю «очи пророка», такъ что онъ предсказываетъ явленія, которыхъ до тѣхъ поръ никто не наблюдалъ, и если его предсказанія подтверждаются опытомъ, тогда уже окончательно можно убѣдиться въ вѣрности теоріи.

Исходя при своихъ заключеніяхъ изъ ограниченнаго числа явленій, человѣческой разумъ достигаетъ, благодаря своему обобщающему могуществу, такого воззрѣнія, подъ которое подводятся всѣ явленія. Эта дѣятельность человѣческаго ума всѣхъ поразительнѣй, и въ ней мы не можемъ дать себѣ отчета. Мы такъ же мало можемъ сказать объ ея происхожденіи, какъ и о дарахъ святаго Духа въ Писаніи. Путь отъ факта къ познанію принципа иногда очень дологъ, иногда коротокъ, но зато всегда является источникомъ духовнаго удовольствія. Если онъ коротокъ, то радость какъ бы концентрируется, превращается въ экстазъ, увлеченіе.

Всякій, кто хоть въ малой степени испыталъ эту радость, пойметъ поступокъ Архимеда, съ крикомъ «эврика» выскочившаго изъ ванны и пробѣжавшаго безъ всякаго одѣянія по улицамъ Сиракузъ.

Что же оказалось, когда сравнили съ явленіями природы заключенія, выведенныя изъ теоріи истеченія? Когда ее стали провѣрять на опытѣ, нашли, что она объясняетъ нѣкоторыя явленія, и ея создатель съ гениальнымъ остроуміемъ старался убѣдить всѣхъ въ ея вѣрности. Дошло даже до того, что знаменитые ученые, какъ Лапласъ и Малюсъ, жившіе до 1812 года, и Біо и Брюстеръ, бывшіе нашими современниками, принадлежали къ ея сторонникамъ.

### 3. Теорія свѣтовыхъ волнъ.

Однако же непосредственно послѣ созданія теоріи истеченія одинъ или два выдающихся ученыхъ приняли другую теорію; они представляютъ собою новый примѣръ проявленія закона, по которому научная фантазія при созданіи теоріи должна черпать свой матеріалъ изъ міра фактовъ и опыта. Давно уже знали, что звукъ распространяется черезъ воздухъ волнами или толчками, и, какъ только человѣческой умъ позналъ эту истину, она сдѣлалась основой новаго теоретическаго представленія. Стали думать, что свѣтъ, такъ же какъ и звукъ, можетъ быть результатомъ волнообразнаго движенія. Но что же могло образовать свѣтовые волны? Для звуковыхъ волнъ имѣется воздухъ нашей атмосферы; но представленіе, что все міровое пространство наполнено свѣтоноснымъ эфиромъ,

колеблющимся въ свѣтовыхъ волнахъ, было слишкомъ смѣло, чтобы не испугать осторожныхъ людей. Какъ сказала мнѣ, чуть-ли во время моего послѣдняго разговора съ нимъ, сэръ Давидъ Брюстеръ, его главное возраженіе противъ теоріи волнообразнаго колебанія заключается въ томъ, что онъ не можетъ допустить, чтобы Творецъ сталъ прибѣгать къ такой грубой выдумкѣ, — наполнить пространство эфиромъ, для того лишь, чтобы получить свѣтъ. Это, конечно, очень серьезный аргументъ, и весь научный споръ съ сэромъ Давидомъ объ этомъ, какъ и споръ со многими другими почтенными людьми о подобныхъ вопросахъ, происходитъ только отъ того, что они приписываютъ себѣ слишкомъ много свѣдѣній о намѣреніяхъ Творца.

Понятіе о свѣтовомъ эфирѣ было принято знаменитымъ астрономомъ Гюйгенсомъ, который и приложилъ его съ большимъ успѣхомъ ко многимъ свѣтовымъ явленіямъ. Онъ вывелъ изъ него законы отраженія и преломленія и воспользовался имъ для объясненія двойного преломленія исландскаго шпата. Затѣмъ эту теорію призналъ и сталъ защищать ее знаменитый математикъ Эйлеръ. Но Ньютонъ выступилъ противъ нея, и его авторитетъ подавилъ ее. Только-ли авторитетъ? Нѣтъ не только: перевѣсъ Ньютона объясняется въ значительной степени тѣмъ еще обстоятельствомъ, что Гюйгенсъ и Эйлеръ, правые по существу, не имѣли однако въ своемъ распоряженіи фактовъ, способныхъ *доказать*, что они правы. Черезъ посредство опыта говорить голосъ самой природы, и передъ нимъ не можетъ устоять никакой человѣческой авторитетъ, — какъ бы высокъ онъ ни былъ! Но при недостаткѣ доказательствъ, голосъ природы можетъ звучать неопредѣленно; такъ въ то время и было, и поэтому авторитету Ньютона должны были уступить все его противники.

Мысль подвигается впередъ ритмически, а не равномерно; эта великая теорія истеченія, такъ долго державшаяся, подобна одному изъ тѣхъ круговъ, которые, — какъ сказала американскій поэтъ и мыслитель Эмерсонъ, — периодически описываются гениемъ вокругъ изобрѣтеній человѣческаго ума; но въ концѣ концовъ, эти круги уступаютъ напору и прорываются. Въ 1773 году, въ Мильвертонѣ, въ Соммерсетширѣ, родился тотъ, кому суждено было прорвать этотъ кругъ. Онъ готовился къ медицинской дѣятельности, но былъ слишкомъ одаренъ, чтобы ограничиться профессиональною рутинной. Онъ занялся естественными науками и овладѣлъ всеми ихъ стѣлами. Точно также изучилъ онъ и филологію, владѣлъ новыми и древними языками и, говоря словами его надгробнаго памятника, онъ «первый разсвѣялъ мракъ, окутывавшій много столѣтій египетскіе іероглифы». Такъ этому человѣку и было суждено открыть оптическія явленія, для объясненія которыхъ теорія Ньютона было недостаточно, и съ тѣхъ поръ его умъ сталъ искать болѣе удовлетворительной теоріи. Онъ ознакомился со всеми явленіями волнообразнаго движенія и со всеми явленіями акустики; въ этихъ областяхъ онъ съ большимъ успѣхомъ работалъ, какъ самостоятельный изслѣдователь. При такой подготовкѣ, при такой эрудиціи, онъ, конечно, могъ замѣтить малѣйшую аналогію между явленіями свѣта и волнообразнымъ движеніемъ. И онъ открылъ сходства между ними. Поощряемый своимъ открытіемъ, онъ продолжалъ свои работы и опыты, пока, наконецъ, ему не удалось неопровержимо обосновать теорію свѣтовыхъ волнъ.

Изобрѣтателемъ этой великой теоріи былъ Томасъ Юнгъ (по англійски произносится Йонгъ): быть можетъ, это имя неизвѣстно нѣкоторымъ изъ васъ, но оно заслуживаетъ, чтобы все его знали.

Чтобы объяснить вамъ, какъ высоко стоитъ этотъ ученый, позвольте мнѣ воспользоваться однимъ геометрическимъ построениемъ, которое я однажды рѣшился показать въ Лондонѣ. Пусть Ньютонъ стоитъ прямо, во весь ростъ, среди своихъ современниковъ, а Юнгъ — среди своихъ. Проведемъ отъ Ньютона къ Юнгу прямую линію такъ, чтобы она касалась ихъ голсы. Линія будетъ опускаться внизъ отъ Ньютона къ Юнгу: изъ нихъ обоихъ Ньютонъ, конечно, выше. Но паденіе будетъ ничтожное, такъ какъ разница въ ростѣ невелика. Итакъ, линія образуетъ, какъ говорятъ инженеры, небольшой «спускъ» отъ Ньютона къ Юнгу. Поставимъ подъ нею самаго выдающагося человѣка, родившагося въ промежутокъ времени между ними. Сомнительно, чтобы онъ достигъ этой линіи, потому что, если бы онъ достигъ ея, это значило бы, что онъ умственно стоитъ выше Юнга, а такого человѣка навѣрное не было. Я не требую отъ васъ, чтобы при оцѣнкѣ Юнга вы полагались на англичанъ. Вотъ какъ говоритъ о немъ Гельмгольцъ, нѣмецкій ученый, тоже родственникъ ему гений: «Онъ одинъ изъ самыхъ умныхъ людей, какихъ когда-либо видѣлъ свѣтъ, но онъ имѣлъ несчастіе быть на много впереди своего времени. Онъ возбуждалъ удивленіе въ своихъ современникахъ, но они не могли слѣдовать за нимъ на ту высоту, которая была привычна для его отважнаго ума, и самыя важныя идеи его лежали погребенными и забытыми въ фоліантахъ Королевскаго Общества. Такъ продолжалось до тѣхъ поръ, пока новое поколѣніе постепенно и съ большимъ трудомъ не сдѣлало тѣхъ же самыхъ открытій и не подтвердило точности и вѣрности его доказательствъ».

Правду сказалъ Гельмгольцъ, Юнгъ былъ впереди своего времени, но слѣдуетъ добавить еще нѣсколько словъ, чтобы показать, какъ велика должна быть отвѣтственность нашихъ публицистовъ и журналистовъ.

Двадцать лѣтъ тому назадъ этого гения не оцѣнили его сограждане: они считали его пустымъ мечтателемъ, и это благодаря ѣдкому сарказму одного популярнаго тогда писателя, изливавшаго въ «Edinburgh Review» насмѣшки надъ Юнгомъ и его теоріями. Юнгъ былъ впервые признанъ лишь благодаря знаменитымъ французскимъ ученымъ, Френелю и Араго; они, и главнымъ образомъ Френель, независимо отъ него сдѣлали тѣ же открытія и значительно расширили ихъ. Тѣ, кто изучалъ труды Юнга, давно уже поняли, кто онъ; но благодаря этимъ двадцати годамъ неизвѣстности, публика забыла его: ее слишкомъ занимала слава товарища Юнга по Королевскому Обществу, Дэви, а позже слава Фарадея. Карлейль упоминаетъ о замѣчаніи Новалиса, что самоувѣренность человѣка неизменно возрастаетъ съ того момента, какъ другіе увѣруютъ въ него. Если вѣрно обратное положеніе, если вѣрно, что недоувѣріе общества понижаетъ силу человѣка, тогда — какъ неисчислимы вредъ, принесенный этими двадцатью годами забвенія продуктивности трудовъ такого изслѣдователя, какъ Юнгъ! Добавимъ еще, что нападавшій на Юнга писатель былъ Генри Брумъ (Brougham), впоследствии лордъ-кавалеръ Англій.

#### 4. Волнообразное движение. — Интерференція волнъ.— Мѣстечко «Whirlpool Rapids», на рѣкѣ Niagara.

Самая трудная работа еще предстоитъ намъ. Способность преодолевать затрудненія зависитъ въ значительной степени отъ настроенія духа, поэтому я прошу васъ съ надлежащею бодростью приготовиться къ предстоящимъ трудамъ.

Мы можемъ прочесть въ самыхъ раннихъ писаніяхъ древнихъ, что звукъ передается воздухомъ. Уже Аристотель выражаетъ такое мнѣніе, а великій архитекторъ Витрувій сравниваетъ звуковыя волны съ волнами воды. Но истинная механика волнообразнаго движенія была имъ неизвѣстною, она оставалась неясною до временъ Ньютона. Основная трудность заключалась тутъ въ томъ, чтобы отличить движеніе самой волны отъ движенія частицъ, составляющихъ въ каждый моментъ волну.

Станьте на морскомъ берегу и посмотрите на приближающуюся морской валъ, пока онъ еще не разбился, благодаря тренію о дно. У каждой волны есть передняя и задняя сторона. Если вы ясно уловили характеръ движенія волны, вы замѣтите, что каждая частица воды на передней сторонѣ волны поднимается, а на задней — опускается. Частицы передней стороны одна за другой достигаютъ гребня волны, но какъ только онѣ его достигнутъ, то начинаютъ падать; затѣмъ онѣ достаютъ впадины волны: дальше ужъ падать некуда. Тотчасъ влѣдъ за этимъ частица оказывается на передней сторонѣ слѣдующей волны, снова поднимается до тѣхъ поръ, пока не достигнетъ гребня и затѣмъ опять опускается. Волна передвигается въ горизонтальномъ направленіи, но частицы воды перемѣщаются только вверхъ и внизъ. Взгляните на плывущую водоросль, или, если умѣете плавать, предоставьте свое тѣло дѣйствию волнъ: вы не будете подвигаться впередъ, васъ просто качаетъ вверхъ и внизъ. Передвиженіе волны есть передвиженіе *формы*, а не массы, изъ которой состоитъ волна.

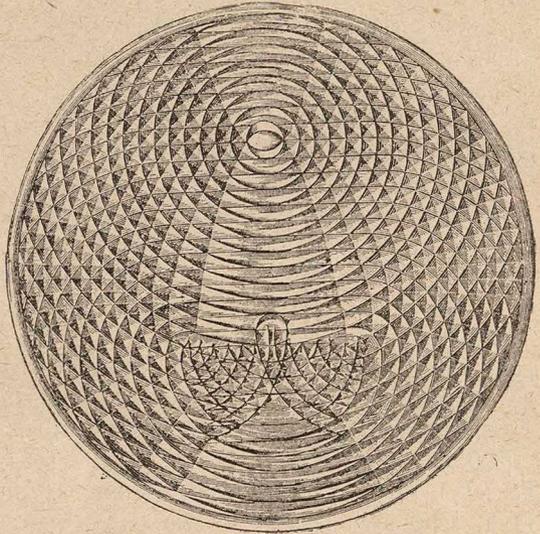
*Длиною* волны называется разстояніе отъ одного гребня до другого; величина же перемѣщенія каждой отдѣльной частицы называется *амплитудой* (размахомъ) колебанія. Я прошу васъ замѣтить также, что частицы воды движутся при этомъ перпендикулярно, т. е. поперечно къ направленію распространенія волнъ<sup>1)</sup>.

Теперь намъ предстоитъ сдѣлать еще одинъ шагъ впередъ и это будетъ самый важный шагъ. Представьте себѣ, на одной и той же поверхности воды, два рода волнъ, происходящихъ изъ различныхъ источниковъ. Если, напримѣръ, вы бросите въ спокойную воду два камня, то круговыя волны, образующіяся вокругъ двухъ центровъ возмущенія, пересѣкутся. Какъ бы велико ни было ихъ число, явленіе непремѣнно подчиняется слѣдующему закону: движеніе каждой частицы воды представляетъ собой

<sup>1)</sup> Я не желалъ бы обременять ваше представленіе объ этомъ излишними деталями движенія, но хочу обратить ваше вниманіе на прекрасную модель профессора Лаймана, которая показываетъ, какъ волны образуются *круговымъ* движеніемъ частицъ. Это и есть, какъ доказали братья Веберы, истинное движеніе водяныхъ волнъ.

алгебраическую сумму всѣхъ движеній, какія только были ей сообщены. Если гребень совпадаетъ съ гребнемъ, а впадина съ впадиной, то волна поднимется вдвое выше; если гребень совпадаетъ съ впадиной, движенія будутъ противоположныхъ знаковъ, и сумма ихъ составитъ нуль; вода будетъ спокойна. Дѣйствія волнъ другъ на друга называютъ *интерференцией*; это выраженіе надо запомнить.

Для человѣка, знакомаго съ законами интерференціи, нѣтъ ничего интереснѣе, чѣмъ видъ пересѣкающихся водяныхъ волнъ. Благодаря этой интерференціи, вся поверхность воды разбивается какъ бы на чудную мозаику, ритмическія вздрагиванія которой представляютъ собою родъ «видимой музыки». Если волны вызваны надлежащимъ образомъ на блюдѣ со ртутью, то яркій свѣтъ, бросаемый на блестящую поверхность и отражаемый потомъ на экранъ, покажетъ намъ движенія жидкаго металла. Форма сосуда опредѣляетъ форму получаемыхъ фигуръ. Если, напримеръ, мы имѣемъ круглое блюдо, то изъ центра возмущеніе распространяется рядами круговыхъ волнъ, — отразившись отъ стѣнокъ, волны снова сходятся въ центрѣ. Если точка возмущенія лежитъ немного въ сторонѣ отъ центра, то интерференція прямыхъ и отраженныхъ волнъ вызоветъ прекрасную рѣзбу, показанную на слѣдующей фигурѣ <sup>1)</sup>. (См. фиг. 10).



Фиг. 10.

Отраженный отъ такой поверхности свѣтъ даетъ замѣчательно красивую картину. Если коснуться слегка ртути иглкой по линіи, концентрической съ поверхностью сосуда, то образуется цѣлая сеть линій, причудливо переплетающихся между собою и вновь расходящихся. Если сосудъ четырехугольный, интерференція прямыхъ и обратныхъ волнъ образуетъ необычайно красивую картину. Такъ, самые простые факты приводятъ при волнообразномъ движеніи къ замѣчательнымъ эффектамъ. Къ нимъ очень подходятъ слова Эмерсона:

„Thou can't not wave thy staff in the air,  
Or dip thy paddle in the lake;  
But it carves the brow of beauty there,  
And the ripples in rhymes the oars forsake“.  
(Ты не можешь махнуть твоей палкой въ воздухъ  
Или погрузить твое весло въ озеро  
Чтобы не произвелъ красиваго узора  
И весла оставляютъ за собой рюмованныя строки).

<sup>1)</sup> Взята изъ „Теоріи волнъ“ Вебера.

Самое сильное впечатлѣніе, какое я когда-либо испыталъ, производить интерференція волнъ Ниагары. На разстояніи двухъ англійскихъ миль, или около того, ниже водопада рѣка Ниагара течетъ спокойно по размытому ея устью. Затѣмъ русло понемпогу суживается и скорость теченія увеличивается. Въ томъ мѣстѣ, которое называется «Whirlpool Rapids», я опредѣлилъ ширину рѣки въ 300 футовъ и мѣстные жители подтвердили эту оцѣнку.

Вспомнимъ, что вода, стекающая съ половины континента, собирается въ этомъ мѣстѣ, тогда можно вообразить, какъ стремительно вырывается вода изъ этого устья.

Здѣсь, несомнѣнно, имѣется движеніе двухъ родовъ, — поступательное и волнообразное: быстрое теченіе рѣки черезъ ея русло, громадныя волны, вызываемыя препятствіями этому теченію. Быстрины и водовороты всего бурливѣе посрединѣ потока; во всякомъ случаѣ, могучая сила каждой отдѣльной волны проявляется всего сильнѣе здѣсь. Цѣлыя пирамиды воды безпрестанно поднимаются надъ поверхностью рѣки, съ такою силой, что вершины разбрасываются въ воздухъ, образуя цѣлыя тучи жидкихъ жемчужинъ; когда ихъ освѣщаетъ солнце, получается необычайно красивая картина.

Первое впечатлѣніе даетъ и обычное объясненіе этихъ пороговъ: середина русла рѣки наполнена большими каменными глыбами, столкновенія съ этими препятствіями и производятъ быстрины и водовороты. Но находясь тамъ на мѣстѣ, я пришелъ къ совсѣмъ другому объясненію этого явленія. Можно рассмотреть, что каменные массы, оторванныя отъ прибрежныхъ скалъ, лежатъ у береговъ рѣки. По нимъ поднимается и стекаетъ внизъ вода, ритмично и съ большою скоростью: получаютъ громадныя волны. Какъ только появилась волна, ея движеніе немедленно соединяется съ движеніемъ рѣки. Гребни волны, которые при спокойной водѣ распространялись бы кругами вокругъ центра возмущенія, пересѣкаютъ рѣку наискось, и въ результатъ въ серединѣ сходятся волны, вызванныя берегами. Пересѣченіе волнъ въ меньшемъ масштабѣ, конечно, можно видѣть въ любой лужѣ послѣ дождя; это явленіе можно также наблюдать, если выливать воду изъ сосуда съ широкимъ отверстіемъ. Если совпадаютъ другъ съ другомъ гребень и впадина, волна уничтожается; совпадаютъ впадины, уровень рѣки опускается ниже; если же два гребня увеличиваютъ волну, то мы видимъ поразительный подъемъ воды, когда сцѣпленіе воды разрывается и она брызгами разлетается въ воздухъ. Наблюдаемая въ «Whirlpool Rapids» явленія, действительно, представляютъ собою одинъ изъ грандіознѣйшихъ примѣровъ проявленія закона интерференціи.

## 5. Аналогіи между звукомъ и свѣтомъ.

Примѣнимость закона интерференціи къ свѣту, — вотъ главное открытіе Томаса Юнга въ области оптики. Еще задолго до него одинъ итальянскій естествоиспытатель, Гримальди, показалъ, что два тонкихъ луча, изъ которыхъ каждый, дѣйствуя отдѣльно, образовывалъ на бѣлой стѣнѣ свѣтлое пятно, дѣйствуя при извѣстныхъ условіяхъ вмѣстѣ, частью погашаютъ другъ друга и затемняютъ пятно. Это было чрезвычайно важное наблюденіе, но требовалась изобрѣтательность и геніальность Юнга, чтобы объяснить его. Ходъ его изслѣдованій станетъ постепенно

понятенъ вамъ. Вы знаете, что воздухъ сжимаемъ: что сжатіемъ можно сдѣлать его гуще, а отъ расширенія онъ разрѣжается. Если ударить камертономъ, вы всё услышите, какъ онъ звучитъ; большинство изъ васъ знаетъ, что воздухъ, черезъ который проходитъ звукъ, раздѣленъ на части, попеременно сгущенныя и разрѣженныя. Эти сгущенія и разрѣженія и представляютъ собою то, что мы называемъ *волнами* звука. Вообразите себѣ, что черезъ воздухъ какой-нибудь комнаты проходитъ рядъ такихъ волнъ; затѣмъ черезъ этотъ же воздухъ проходитъ второй рядъ волнъ, и эти волны такъ относятся къ первымъ, что сгущеніе совпадаетъ съ сгущеніемъ, а разрѣженіе — съ разрѣженіемъ. Результатомъ такого совпаденія явится звукъ болѣе сильный, чѣмъ вызванные каждой системой волнъ въ отдѣльности. Но вы можете тоже представить себѣ такой случай, когда сгущенія одной системы совпадаютъ съ разрѣженіями другой. Въ этомъ случаѣ обѣ системы, если только онѣ были одинаковы во всѣхъ остальныхъ отношеніяхъ, — совершенно уничтожаютъ другъ друга. Каждая система въ отдѣльности вызываетъ звукъ; вмѣстѣ же онѣ не вызываютъ никакого звука. Такъ слагая два звука, — мы получимъ тишину, какъ Гримальди въ своемъ опытѣ получилъ темноту, прибавляя къ одному свѣту еще другой.

Благодаря успѣшнымъ и глубокимъ изслѣдованіямъ звука, Юнгу удалось изслѣдовать и свѣтъ. Онъ объяснилъ наблюденія Гримальди, и повелъ ихъ гораздо дальше. Ему съ блестящимъ успѣхомъ удалось примѣнить теорію волнообразнаго движенія къ объясненію цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ и полосатыхъ поверхностей. Онъ открылъ и объяснилъ цѣлыя группы цвѣтовъ, до него незамѣченныхъ и никому неизвѣстныхъ. Предположеніе, что свѣтъ представляетъ собою волнообразное движеніе, объясняло всё его опыты надъ интерференціей, а гипотеза, что свѣтъ представляетъ собою летающія частицы, не объясняла ровно ничего. Во времена Гюйгенса и Эйлера предполагали, что существуетъ особая среда, передающая свѣтотыя волны, но Ньютонъ возражалъ на это, что если бы свѣтъ дѣйствительно представлялъ собою волны такой среды, то не было бы тѣней.

Далѣе, — говорилъ онъ, — волны огибаютъ непрозрачныя тѣла и вызываютъ бы свѣтотыя движенія, по другую сторону ихъ, какъ звукъ огибаетъ уголъ или морскія волны омывають скалу. Но ему доказали, что свѣтотыя волны и на самомъ дѣлѣ огибаютъ непрозрачныя тѣла, какъ онъ говорилъ; но послѣ этого волны уничтожаются, благодаря взаимной интерференціи. Юнгъ подмѣтилъ также еще одно основное различіе между звуковыми и свѣтотыми волнами. Если бы вы могли видѣть воздухъ, чрезъ который проходятъ звуковыя волны, вы замѣтили бы, что каждая отдѣльная частица воздуха колеблется впередъ и назадъ *по направленію распространенія* звука. Но если бы вы наблюдали свѣтоносный эфиръ, вы также убѣдились бы, что каждая отдѣльная частица дѣлаетъ маленькія движенія впередъ и назадъ, но здѣсь движенія происходятъ перпендикулярно къ направленію распространенія волнъ, подобно движенію частицъ воды, которыя мы рассматривали выше. Колебанія воздуха *продольны*, а колебанія эфира *поперечны*.

Самый лучший примѣръ интерференціи звуковыхъ волнъ представляютъ собою *біенія*, вызываемыя двумя не совсѣмъ унисонными музы-

кальными звуками. Если мы ударимъ два совершенно унисонныхъ камертона, — оба звука полются ровно, какъ будто бы ихъ было не два, а одинъ. Но если мы приклеимъ къ одному изъ нихъ кусочекъ воска, онъ будетъ колебаться медленнѣе, чѣмъ другой. Предположимъ, что одинъ изъ нихъ совершаетъ 101 колебаніе въ то время, какое требуется второму для 100 колебаній, и что первоначально сгущенія и разрѣженія обоихъ камертоновъ совпадали. Послѣ 101 колебанія перваго камертона они опять совпадутъ, но этотъ камертонъ уже опередитъ второй на цѣлое колебаніе или на цѣлую длину волны. Стоитъ немного подумать, и вамъ будетъ ясно, что на 30-мъ колебаніи движенія камертоновъ будутъ противоположны другъ другу: одинъ будетъ вызывать сгущеніе, а другой разрѣженіе; ихъ совмѣстное дѣйствіе уничтожитъ звукъ, — нѣкоторое время ничего не будетъ слышно. Это происходитъ тогда, когда одинъ камертонъ опережаетъ другой на длину полуволны. На 101-мъ колебаніи, какъ мы уже говорили, произойдетъ опять совпаденіе, — звукъ усилится; на 150-мъ колебаніи онъ опять заглухнетъ, — тутъ одинъ камертонъ опередилъ другой на три полуволны. Вообще, волны усиливаютъ другъ друга когда одинъ рядъ ихъ опережаетъ другой на четное число полуволнъ, и уничтожаетъ другъ друга при опереженіи на нечетное число полуволнъ. Имѣя два такихъ камертона, мы получаемъ перемежающіеся (дребезжащіе) звуки, которые мы и называемъ бѣніями. При помощи соответствующихъ приспособленій можно вызвать также полное уничтоженіе одного звука другимъ.

*Высота* звука вполне опредѣляется быстротою колебанія, *сила* звука — его амплитудой. По теоріи волнообразнаго колебанія цвѣтъ аналогиченъ высотѣ звука. Хотя свѣтовыхъ волнъ никто и не видалъ, но длина ихъ измѣрена. Существованіе волнъ доказывается вызываемыми ими эффектами; на основаніи этихъ же эффектовъ можно съ точностью опредѣлить ихъ длину. Кромѣ того, это можно сдѣлать нѣсколькими способами; когда же потомъ сравнили результаты нѣсколькихъ различныхъ опредѣленій, оказалось, что они въ точности совпадаютъ. Это совпаденіе является однимъ изъ самыхъ строгихъ подтвержденій теоріи волнъ. Самыя короткія волны видимаго спектра — это волны фіолетоваго края, самыя длинныя — краснаго; волны остальныхъ цвѣтовъ по своей длинѣ помѣщаются между ними. Длина волны краснаго цвѣта такова, что ихъ потребовалось бы 39,000, чтобы покрыть одинъ дюймъ; а волнъ фіолетоваго свѣта потребовалось бы 64,631, чтобы покрыть то же самое разстояніе.

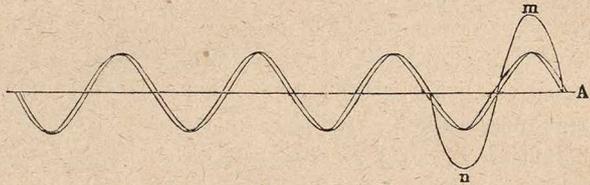
Скорость свѣта, выражая ее въ круглыхъ цифрахъ, составляетъ 186,000 англійскихъ миль (около 300,000 километровъ) въ секунду. Переведемъ это въ дюймы и полученное такимъ образомъ число помножимъ на 39,000: тогда мы найдемъ, что число волнъ крайняго краснаго свѣта на разстояніи 186,000 миль будетъ 460 билліоновъ. Въ теченіе одной секунды всѣ эти волны вступаютъ въ глазъ и попадаютъ на ретину глаза. Подобнымъ же образомъ можно найти, что число колебаній, соответствующихъ впечатлѣнію фіолетоваго цвѣта будетъ 678 билліоновъ.

Все міровое пространство наполнено матеріей, колеблющейся съ такими скоростями. Волны такихъ размѣровъ распространяются со скоростью свѣта по всѣмъ направленіямъ отъ каждой звѣзды. Въ эфирѣ, такъ же какъ

и въ водѣ, движеніе каждой частицы представляетъ собою алгебраическую сумму всѣхъ отдѣльныхъ движеній, какія только были ей сообщены. И никогда одно движеніе не можетъ быть уничтожено другимъ: если въ одномъ мѣстѣ произойдетъ погашеніе, оно вполнѣ уравнивается усиленіемъ движенія въ другомъ. Каждая звѣзда безпрепятственно проявляетъ свою жизнь, какъ будто бы она одна посылаетъ сквозь пространство свѣтотыя колебанія.

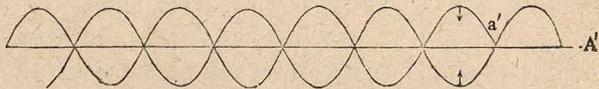
## 6. Интерференція свѣта.

Принципъ интерференціи, какъ мы доказали, примѣнимъ не только къ звуковымъ волнамъ и волнамъ воды, но также и къ свѣтовымъ. И условія интерференціи здѣсь такія же. Если два ряда волнъ одинаковой длины выходятъ одновременно изъ одной и той же точки (А, фиг. 11), то гребень волны совпадаетъ съ гребнемъ, а впадина съ впадиной, — и обѣ системы сливаются въ одну съ удвоенной амплитудой ( $A m n$ ). Если оба ряда волнъ начнутся въ одинъ и тотъ же моментъ, но одинъ рядъ будетъ на длину цѣлой волны впереди другого, — обѣ системы также сольются, и свѣтовой эффектъ усилится. То же самое произойдетъ, если одинъ рядъ волнъ будетъ впереди другого на *четное* число полуволнъ. Но если одинъ рядъ опередитъ другой на *нечетное* число полуволнъ, то гребни совпадутъ съ впадинами,



Фиг. 11.

и одна волна будетъ стремиться перемѣстить частицу эфира вверхъ, въ то время какъ другая будетъ тянуть ее внизъ: подъ влияніемъ двухъ направленныхъ въ противоположныя стороны силъ (онѣ показаны стрѣлками) частица эфира останется въ покоѣ. Этотъ покой эфира и представляетъ собою то, что мы называемъ темнотой, — онъ соответствуетъ спокойной поверхности воды. Говоря о цвѣтахъ, вызываемыхъ поглощеніемъ, мы еще въ первой лекціи замѣтили, что тѣла природы не «создаютъ», а «избираютъ» цвѣта, — что они погашаютъ нѣкоторые лучи, входящіе въ составъ бѣлаго солнечнаго свѣта, и кажутся окрашенными въ дополнительный цвѣтъ лучами. Вы тотчасъ поймете, что если интерференція даетъ свѣтовымъ лучамъ возможность погашать другъ друга, то она создаетъ всѣ условія, необходимыя для полученія различныхъ цвѣтовъ: одну часть лучей можно погасить, другую — оставить. Это оказывается вполнѣ возможнымъ, и единственно благодаря различной длинѣ волнъ различнаго цвѣта.



Фиг. 12.

## 7. Цвѣта тонкихъ пленокъ и пластинокъ. Наблюденія Бойля и Гука.

Для объясненія цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ лучше всего воспользоваться тѣми же самыми явленіями, которыя навели Гука на теорію волнообразнаго колебанія. Я говорю о цвѣтахъ всякаго рода тонкихъ прозрачныхъ пленокъ; эти явленія и извѣстны подъ названіемъ цвѣта тонкихъ пластинокъ!

Нѣтъ въ мірѣ предмета, который заслуживалъ бы съ этой точки зрѣнія болѣе глубокаго научнаго интереса, чѣмъ обыкновенный мыльный пузырь. Въ обществѣ такихъ людей практики, какъ американцы и англичане, представитель чистой науки наталкивается на большую трудность: едва ли можно ожидать, что въ такомъ обществѣ почувствуютъ глубокую симпатію къ дѣлу, которое, повидимому, такъ же далеко отъ запросовъ практической жизни, какъ и многіе научные труды ученыхъ. Ну представьте себѣ, что д-ръ Дрэперъ посвящаетъ свои дни выдуванію мыльныхъ пузырей и изученію ихъ цвѣтовъ? Проявили ли бы вы надлежащее терпѣніе, оказали ли бы ему поддержку? А все же этимъ занимались такіе люди, какъ Бойль, Ньютонъ и Гукъ; на этихъ опытахъ было обоснована теорія, успѣхи которой неисчислимы. Для дилеттантовъ не остается другого пути, какъ возложить выборъ предмета изслѣдованія на самихъ людей науки; они подлежатъ лишь суду «равныхъ» имъ, и ихъ приговору надъ научными трудами вы должны подчиняться!

Въ самомъ дѣлѣ, откуда происходятъ цвѣта мыльныхъ пузырей? Вообразимъ, что лучъ бѣлаго свѣта падаетъ на пузырь. Когда онъ достигаетъ первой поверхности пленки, извѣстная часть луча отражается обратно. Но другая, тоже значительная, часть вступаетъ въ пленку, достигаетъ второй поверхности, и здѣсь частью опять отражается. Волны направляются отъ этой второй поверхности обратно и быстро нагоняютъ отраженные отъ первой поверхности колебанія. Если толщина пленки такова, что можетъ вызвать необходимое замедленіе, обѣ системы волнъ интерферируютъ между собою и, смотря по обстоятельствамъ, получается усиленіе или ослабленіе свѣта.

Но свѣтотыя волны — различной длины; ясно, что для погашенія длинной волны пленка должна быть толще, чѣмъ для короткой. Поэтому при пленкахъ различной толщины должны появиться различные цвѣта.

Возьмите съ собою небольшую бутылку скипидара и вылейте ее въ какой-нибудь прудъ: вы увидите, что на поверхности воды заиграютъ яркіе цвѣта. Въ меньшемъ масштабѣ мы можемъ вызвать это явленіе и здѣсь. Нальемъ воды на обыкновенный подносъ и погрузимъ въ нее конецъ пипетки. Лучъ свѣта падаетъ на поверхность воды и отражается отъ нея на экранѣ. Нальемъ въ пипетку скипидару; спустившись внизъ, онъ начнетъ вытекать изъ нея маленькими каплями, которыя одна за другой будутъ подниматься на поверхность. Достигнувъ поверхности, каждая капля быстро разольется по ней тонкой пленкой, и на экранѣ тотъ часъ же появятся яркіе цвѣта. Эти цвѣта будутъ измѣняться по мѣрѣ того, какъ будетъ уменьшаться, благодаря испаренію, толщина пленки

скипидара. Они расположены полосами, такъ какъ толщина пленки уменьшается отъ центра къ краямъ.

Всякая пленка можетъ вызвать подобнымъ же образомъ яркіе цвѣта. Тонкій слой воздуха между двумя прижатыми другъ съ другомъ стеклянными пластинками даетъ, — какъ показалъ Гукъ, — яркія цвѣтныя полосы. Особенно интересный примѣръ такихъ цвѣтныхъ полосъ находится сейчасъ передъ вами. Въ воздухѣ вовсе нѣтъ необходимости: достаточно одного разрыва «оптической непрерывности». Ударьте топоромъ по черному прозрачному льду подъ моренами <sup>1)</sup> глетчера, — черному, потому что онъ чистъ и находится въ большой массѣ; внутри этой массы тотчасъ произойдутъ трещины, недоступныя для воздуха, и отъ нихъ получатся, яркіе какъ огни, «цвѣта тонкихъ пластинокъ». Но съ исторической точки зрѣнія, — какъ мы уже говорили, — наибольшій интересъ представляетъ полученіе этихъ цвѣтовъ при помощи мыльныхъ пузырей.

Пользуясь составомъ, который примѣнялъ въ своихъ изслѣдованіяхъ надъ фигурами сѣпленія тонкихъ пластинокъ знаменитый слѣпой естествоиспытатель Плато, мы можемъ при спокойномъ воздухѣ получать пузыри въ десять или двѣнадцать дюймовъ въ діаметрѣ. Вы можете смотрѣть или на самый пузырь, или на его проекцію на экранѣ: въ обоихъ случаяхъ вы увидите яркіе цвѣта, расположенные поясами. Пустимъ пучекъ параллельныхъ лучей на пузырь сверху, снизу и сбоку: на экранѣ отразится великолѣпный цвѣтной вѣеръ. Если обводить лучи около пузыря, и вѣеръ будетъ вращаться. При этомъ опытѣ можно также ясно разглядѣть и внутреннія движенія пленки.

Великія теоріи вырабатываются не сразу; прежде всего замѣчаютъ факты, которые впоследствии приводятъ къ нимъ; затѣмъ, послѣ періода наблюденія, наступаетъ періодъ обсужденія и объяснительныхъ попытокъ. При помощи такихъ усилій человѣческой умъ постепенно готовится къ полному теоретическому пониманію явленій. Такъ, цвѣта тонкихъ пластинокъ привлекли вниманіе Роберта Бойля. Въ своей «Experimental History of Colours» онъ борется противъ школы, утверждающей, что «цвѣтъ есть внутреннее свойство, проникающее въ глубину во всѣ частицы предметовъ», и приводитъ противорѣчащіе этому факты. «Чтобы привести первый примѣръ, — говоритъ онъ, — мнѣ стоитъ только напомнить вамъ, что я говорилъ вначалѣ этого труда относительно голубого, краснаго и желтаго цвѣта закаленной стали; какъ бы ярки эти краски ни были, при изломѣ будетъ ясно видно, что онѣ имѣются только на поверхности». Затѣмъ онъ описываетъ слѣдующій прекрасный опытъ, при чемъ между строкъ у него сквозитъ удовольствіе, доставляемое ему этимъ трудомъ.

«Мы взяли нѣкоторое количество чистаго свинца, расплавили его на сильномъ огнѣ и затѣмъ вылили въ чистый сосудъ соотвѣтствующихъ размѣровъ, сдѣланный изъ надлежащаго матеріала (мы пользовались желѣзомъ, чтобы сильный и внезапный жаръ не могъ повредить ему); затѣмъ мы осторожно и быстро сняли пѣну, сообразную на поверхности. Какъ мы и ожидали, оказалось, что гладкая и блестящая поверхность расплавленной массы покрыта великолѣпной окраской; эта окраска была

<sup>1)</sup> Морены — массы, состоящія изъ обломковъ горныхъ породъ, разрушенныхъ глетчерами.

очень красива, но... преходяща: она очень скоро уступила мѣсто другой яркой окраскѣ, за которой послѣдовала третья, которая въ свою очередь была вытѣснена четвертою. Эти прекрасныя яркія окраски появлялись одна за другой и исчезали до тѣхъ поръ, пока металлъ не сталъ недостаточно горячимъ для такихъ быстрыхъ переменъ. Тотъ цвѣтъ, который покрывалъ поверхность какъ разъ въ то время, какъ металлъ началъ становиться холоднымъ, остался на ней, но только на самой поверхности: стоило соскоблить самый тонкій слой, и окраска уничтожилась». «Эти опыты, — добавляетъ онъ, — возбудили во мнѣ мысли и предположенія, которыхъ я не могу теперь сообщить за недостаткомъ времени» <sup>1)</sup>.

Онъ распространяетъ свои изслѣдованія на самыя употребительныя эфирныя масла и винный спиртъ; если ихъ долго встряхивать, они образуютъ значительное число пузырьковъ, обнаруживающихъ при внимательномъ наблюденіи красивую разноцвѣтную окраску; окраска эта тотчасъ же исчезаетъ, какъ только пленки, образующія пузырьки, вновь соединяются съ остальной массой. Онъ говоритъ также и о цвѣтахъ стеклянныхъ пластинокъ: «Мнѣ пришлось наблюдать слѣдующій фактъ, его удалось вызвать, надувая стеклянный шаръ въ лампѣ до тѣхъ поръ, пока онъ лопнулъ: благодаря вязкости стекла, прежде чѣмъ сломаться, пленка оказалась настолько тонкой, что на ея поверхности играли всѣ цвѣта радуги» <sup>2)</sup>.

Послѣ Бойля цвѣтами тонкихъ пластинокъ стали заниматься Робертъ Гукъ; въ его сочиненіяхъ мы уже видимъ какъ бы зарю волновой теоріи свѣта. Онъ съ большою точностью описываетъ цвѣта, полученные при помощи тонкихъ слоевъ слюды, а также при помощи трещинъ въ кристаллахъ, въ которыхъ нарушается оптическая непрерывность. Онъ совершенно ясно показываетъ зависимость цвѣта отъ толщины пластинки; при помощи микроскопическихъ наблюденій онъ доказываетъ, что пластинки одинаковой толщины производятъ и одинаковую окраску. «Если вы возьмете, — говоритъ онъ, — тонкую пластинку слюды, и начнете иглой или другимъ подходящимъ инструментомъ расщеплять ее на все болѣе и болѣе тонкія пластинки, вы увидите, что до тѣхъ поръ, пока вы не дойдете до извѣстной тонкости пластинки, всѣ онѣ будутъ вамъ казаться прозрачными и безцвѣтными; но если вы будете продолжать расщеплять и дѣлать ихъ далѣе, вы въ концѣ-концовъ скажете, что каждая пластинка имѣетъ свой оттѣнокъ или окрашена опредѣленнымъ цвѣтомъ. Затѣмъ, если вы въ толстомъ кускѣ сдѣлаете при помощи какого-нибудь инструмента трещину, такъ что нѣкоторый слой начнетъ отдѣляться, и между ними помѣстите какое-нибудь прозрачное вещество, тогда на пластинчатомъ или прозрачномъ веществѣ, заполняющемъ это пространство, появятся нѣсколько радугъ или цвѣтныхъ полосъ, расположенныхъ сообразно съ толщиной различныхъ частей листочка». Затѣмъ онъ подробно и ясно описываетъ опытъ съ прижатыми другъ къ другу стеклами, о которомъ мы уже говорили.

«Возьмемъ двѣ маленькія полированныя пластинки зеркальнаго стекла, каждую размѣромъ съ шиллингъ; высушимъ ихъ, и крѣпко прижмемъ другъ къ другу; когда онѣ окажутся достаточно близкими другъ къ другу,

<sup>1)</sup> Сочиненія Бойля, изд. Birch'a, стр. 675.

<sup>2)</sup> Тамъ же, стр. 743.

вы увидите нѣсколько радугъ или цвѣтныхъ линій, подобно тому, какъ это было со слюдою; прижимая ихъ другъ къ другу то крѣпче, то слабѣе, вы легко можете измѣнять окраску какого-нибудь тѣла, поставленнаго на пути этихъ радужныхъ лучей, т. е., если оно окрашено, напримѣръ, краснымъ цвѣтомъ, ему можно сообщить оттѣнокъ желтаго, голубого, зеленаго, пурпуроваго, и т. д.». «Всякое тѣло,—говоритъ онъ,—можетъ дать такіе цвѣта». Также, какъ и Бойль, онъ получилъ ихъ при помощи стекла; онъ вызывалъ ихъ также при помощи пузырей изъ дегтя, смолы, канифоли, скипидара, различныхъ растворовъ гумми, напр., раствора гумми-арабика въ водѣ, или вообще какой-нибудь вязкой жидкости, какъ сусло, вино, терпентинное масло, винный спиртъ и др.

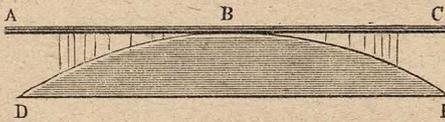
Изъ сочиненій Гука видно, что уже и въ то время многіе были охвачены мыслью, что и свѣтъ, и теплота представляютъ собою родъ движенія. «Прежде всего,—говоритъ онъ,—со мной легко, я думаю, согласятся, что частицы всѣхъ горящихъ тѣлъ находятся въ движеніи; въ другомъ мѣстѣ я доказывалъ, что искра, полученная изъ стали и кремня, находится въ состояніи быстрого движенія. Что теплота заключается въ движеніи внутреннихъ частицъ (какъ я говорилъ уже раньше)—признано всѣми, а что всѣ накаленные, свѣтящіеся тѣла обладаютъ очень быстрымъ движеніемъ, производящимъ свѣтъ, а еще болѣе быстрое движеніе вызываетъ теплоту,—это доказывается уже тою быстротою, съ которою эти тѣла разрушаются. И это должно быть колебательное движеніе... Это указаніе на быстрое движеніе, производящее свѣтъ, и еще болѣе быстрое, производящее теплоту, доказываетъ необыкновенную проникаемость. Но его непосредственную догадку слѣдуетъ цѣнить гораздо больше, чѣмъ его аргументацію. Его доказательствамъ, что «свѣтъ есть колебательное движеніе» нельзя придавать особеннаго значенія для рѣшенія вопроса о природѣ свѣта.

Но несомнѣнно, что волновая теорія была уже намѣчена въ умѣ этого замѣчательнаго ученаго. Стараясь объяснить цвѣта тонкихъ пластинокъ, онъ снова возвращается къ соотношеніямъ между толщиной и цвѣтомъ; останавливается на томъ фактѣ, что пленки, вызывающія эти цвѣта, должны быть прозрачны, и доказываетъ это, показавъ, что непрозрачное тѣло, какъ бы тонко оно ни было, не можетъ вызвать окраски. «Я часто дѣлалъ такіа попытки,—говоритъ онъ,—зажимая каплю ртути между двумя стеклянными пластинками: слой ртути я доводилъ до гораздо большей степени тонкости, чѣмъ требуется, чтобы получилась окраска отъ прозрачнаго тѣла». Далѣе, слѣдуетъ правильное замѣчаніе, что для полученія цвѣтовъ необходимо, чтобы вблизи нижней стороны тонкой пластинки непременно была сильно отражающая поверхность. «Я всегда замѣчалъ, что чѣмъ сильнѣе была отражающая поверхность, тѣмъ живѣе и ярче была игра цвѣтовъ». «Изъ этихъ наблюденій ясно,—продолжалъ онъ,—что главною причиною образованія этихъ цвѣтовъ является отраженіе отъ нижней стороны тѣла».

Онъ чертитъ диаграмму, ясно изображающую отраженіе отъ обѣихъ поверхностей пластинки, но тутъ кончается его пониманіе. Онъ приписываетъ цвѣта соединенію обѣихъ отраженныхъ колебаній; но такъ какъ онъ не зналъ закона интерференціи, его объясненія должны были на этомъ и остановиться.

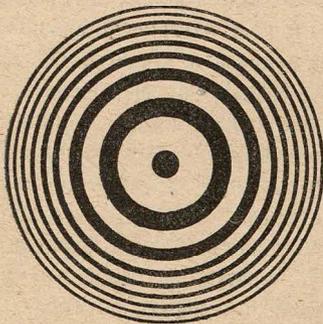
## Кольца Ньютона. — Соотношение между цвѣтомъ и толщиной пластинокъ.

Такимъ образомъ, благодаря тщательной работѣ многихъ изслѣдователей, наблюдались и изслѣдовались факты и точно опредѣлились условия ихъ появленія. Но въ наукѣ эта работа служитъ только подготовительной къ другой; труды Бойля и Гука приготовили путь для оптическихъ изслѣдованій Ньютона. Онъ преодолѣлъ затрудненія, казавшіяся Гуку непреодолимыми: и при помощи точныхъ измѣреній ему удалось опредѣлить соотношеніе между толщиной пластинки и получаемымъ отъ нея цвѣтомъ. Для этого



Фиг. 13.

онъ прежде всего постарался получить пластинку перемѣнной, но доступной измѣренію толщины. На плосковыпуклое стекло (*DBE* фиг. 13) небольшой кривизны онъ положилъ плоскую стеклянную пластинку (*AC*): такимъ образомъ онъ получилъ воздушное пространство, толщина котораго непрерывно увеличивалась отъ точки соприкасанія къ краямъ. Когда онъ сталъ смотрѣть на это воздушное пространство въ монохроматическомъ (одноцвѣтномъ) свѣтѣ, онъ увидѣлъ, съ тою радостью, какую обыкновенно доставляетъ подтвержденіе предложеній, — что точка соприкасанія окружена рядомъ яркихъ



Фиг. 14.

колець, раздѣленныхъ темными кольцами, которыя придвигались ближе другъ къ другу по мѣрѣ удаленія отъ центра (какъ на фиг. 14). Онъ пользовался краснымъ свѣтомъ, — діаметръ колець имѣлъ нѣкоторую опредѣленную величину; бралъ голубой свѣтъ, — діаметръ уменьшался. Вообще, чѣмъ сильнѣе преломлялись лучи свѣта, тѣмъ меньше былъ діаметръ. Онъ проводилъ стекла по спектру отъ краснаго конца къ фіолетовому, — кольца постепенно сжимались; шель отъ фіолетоваго къ красному — кольца какъ бы раздвигались. Это очень удачный опытъ, и онъ, повидимому, доставилъ Ньютону большое удовольствіе.

Когда на стекла падалъ бѣлый свѣтъ, получались «радужные» круги, если только цвѣта не накладывались другъ на друга. Передъ вами теперь увеличенное изображеніе Ньютонovýchъ колець; пользуясь послѣдовательно краснымъ, голубымъ и бѣлымъ свѣтомъ, мы можемъ получить всѣ тѣ явленія, которыя наблюдалъ Ньютонъ. Вы замѣчаете, что по мѣрѣ удаленія отъ центра, кольца все ближе и ближе прилегаютъ другъ къ другу. Это происходитъ отъ того, что на нѣкоторомъ разстояніи отъ центра толщина воздушнаго слоя увеличивается быстрѣе, чѣмъ около него. Если пользоваться бѣлымъ свѣтомъ, то такое сближеніе колець вызываетъ наложеніе другъ на друга различныхъ цвѣтовъ; при нѣкоторой толщинѣ

они слагаются въ бѣлый цвѣтъ, и кольца исчезаютъ совершенно. Стоитъ немного подумать, и мы поймемъ, что цвѣта тонкихъ пластинокъ, вызываемые бѣлымъ свѣтомъ, не могутъ быть монохроматическими, простыми.

Ньютонъ сравнилъ полученные такимъ образомъ оттѣнки съ цвѣтами мыльнаго пузыря и вычислилъ соотвѣтствующую имъ толщину. Я хотѣлъ бы вполне разъяснить вамъ его методъ. Предположимъ, что вода океана находится въ абсолютномъ покоѣ; тогда она въ точности соотвѣтствовала бы кривой поверхности земли. Пусть совершенно горизонтальная плоскость касается поверхности воды въ какой-нибудь точкѣ. Зная діаметръ земли, любой инженеръ или математикъ, находящійся въ этой комнатѣ, могъ бы сказать вамъ, насколько поверхность воды лежитъ ниже этой плоскости на разстояніи одного, десяти, ста или тысячи ярдовъ отъ точки соприкасания горизонтальной плоскости и поверхности океана. И въ самомъ дѣлѣ при геодезическихъ работахъ принимаютъ во вниманіе кривизну земли.

Въясненія Ньютона были совершенно такія же. Плоское стекло у него касалось выпуклага. Зная его показатель преломленія и фокусное разстояніе, онъ опредѣлялъ діаметръ того шара, сегментъ котораго и представляло собою выпуклое стекло; затѣмъ онъ измѣрялъ разстояніе колецъ отъ точки соприкасания и вычислялъ высоту касательной плоскости надъ кривой поверхностью,—совершенно такъ же, какъ инженеръ вычислялъ бы разстояніе между касательной плоскостью и поверхностью океана. Разстоянія, съ которыми приходилось считаться, были безконечно малы; можно только удивляться, какъ это Ньютонъ могъ работать съ такой поразительной точностью при тѣхъ средствахъ, какія были въ его распоряженіи.

Объясненіе этихъ колецъ было самымъ большимъ затрудненіемъ, съ какимъ Ньютону приходилось встрѣчаться въ оптикѣ. Онъ вполне сознавалъ трудность вопроса,—передъ его орлинымъ взоромъ не было завѣсы,—его взглядъ былъ совершенно ясенъ. Въ самомъ началѣ этой работы его теорія наталкивалась на вопросъ: почему, когда лучъ свѣта падаетъ на прозрачное тѣло, одна часть свѣтовыхъ частицъ отражается, другая пропускается? Не потому-ли, что существуютъ частицы двухъ родовъ, изъ которыхъ однѣ специально приспособлены для прохода, другія—для отраженія? Нѣтъ, это не могло быть такъ: если мы заставимъ падать на стеклянную пластинку лучъ свѣта, уже отраженный отъ другой пластинки, онъ также раздѣлится на двѣ части, отраженную и пропущенную. Частицы, разъ уже отраженные, вовсе не будутъ отражаемы всегда; разъ пропущенныя частицы не будутъ пропускаемы всегда. Ньютонъ видѣлъ все это; онъ зналъ, что онъ долженъ объяснить, почему одна и та же частица то отражается, то въ слѣдующій моментъ пропускается. Это можетъ происходить только благодаря *измѣненіямъ въ самой частицѣ*. Онъ сталъ утверждать, что частица «приспособляется» то къ тому, чтобы легче отражаться, то къ тому, чтобы проходить.

Если вы согласитесь слѣдить за мною при попыткѣ разъяснить умозрительныя основы его теоріи, необходимое для этого напряженіе вниманія будетъ для васъ хорошей школой.

Ньютонъ очень мало говорилъ о томъ, что онъ считаетъ причиною этихъ «приспособленій»,—однако же несомнѣнно, что онъ предполагалъ причины физическаго свойства. Несомнѣнно также, что и здѣсь, какъ и

при всѣхъ попыткахъ создать теорію, онъ былъ вынужденъ обратиться за фактами для нея опять-таки къ опыту. Попробуемъ прослѣдить его разсужденія и наблюденія. Благодаря магниту, онъ имѣлъ представленія о притягивающемъ и отталкивающемъ полюсѣ. Но онъ привыкъ въ видимомъ усматривать невидимое,—естественно было ожидать, что такіе же полюсы онъ припишетъ и своимъ частицамъ свѣта. Если частица обращена своимъ притягивающимъ полюсомъ къ прозрачной средѣ, частица притягивается и пропускается черезъ нее; если она обращена отталкивающимъ полюсомъ, она отталкивается и отражается. Такимъ образомъ, принявъ существованіе полюсовъ, можно объяснить, что одна и та же частица въ разное время то пропускается, то отражается.

Будемъ разсматривать кольца Ньютона въ чистомъ красномъ свѣтѣ: они будутъ попеременно темными и свѣтлыми. Слой воздуха, соответствующій крайнему изъ нихъ, не толще, чѣмъ обыкновенный мыльный пузырь, а по мѣрѣ приближенія къ центру онъ дѣлается еще тоньше; однако же Ньютонъ измѣрилъ, какъ я уже говорилъ, соответствующую каждому кольцу воздушнаго слоя, а также и приращеніе толщины отъ кольца къ кольцу. А вотъ результаты. Для удобства толщины слоя воздуха, соответствующаго первому темному кольцу, назовемъ черезъ  $d$ ; Ньютонъ нашелъ, что разстояніе, соответствующее второму темному кольцу, равняется  $2d$ ; соответствующаго третьему темному кольцу —  $3d$ , десятому кольцу —  $10d$ , и т. д. Очевидно, эта маленькая величина  $d$ , которая упорно возвращается къ намъ снова, должна имѣть какое-нибудь скрытое значеніе. Можно себѣ представить, съ какимъ интересомъ Ньютонъ старался его объяснить. Прослѣдимъ вѣроятный ходъ его мыслей. Онъ сообщилъ своимъ свѣтовымъ частицамъ полюсы,—теперь надо было ввести понятіе о «*периодическомъ возвращеніи*». Благодаря его способности переносить понятіе чувственнаго міра на сверхчувственное, ему не трудно было дойти до предположенія, что свѣтovyя частицы имѣютъ не только поступательное, но и вращательное движеніе. Такого рода сложные движенія были хорошо знакомы ему изъ астрономіи. Подобное двойное движеніе имѣетъ земля. Въ то время, какъ наша планета проходитъ по своей орбитѣ болѣе чѣмъ  $1\frac{1}{2}$  милліона англійскихъ миль въ сутки, т. е. въ двадцать четыре часа, она совершаетъ полное вращеніе вокругъ своей оси; можно предположить что свѣтovyя частицы Ньютона совершаютъ полное вращеніе вокругъ оси какъ разъ въ такой промежутокъ времени, въ какой онѣ совершаютъ полное обращеніе поступательнымъ движеніемъ. Правда, свѣтovая частица меньше земли; зато и разстояніе  $d$  равняется не  $1\frac{1}{2}$  милліонамъ миль,—оно гораздо меньше  $\frac{1}{90000}$  дюйма. Но оба эти представленія съ принципиальной точки зрѣнія совершенно тождественны.

Вообразите себѣ, что свѣтovая частица вступаетъ въ воздушный слой, какъ разъ тамъ, гдѣ онъ имѣетъ надлежащую толщину. Для вступленія въ воздухъ необходимо, чтобы притягивающій полюсъ былъ впереди. Въ воздушномъ слое частица можетъ сдѣлать одно полное вращеніе вокругъ самой себя. На другой сторонѣ слоя притягивающій полюсъ ояетъ будетъ впереди; она войдетъ въ стекло, находящееся по другую сторону воздушнаго слоя и *будетъ потеряна для глаза*. Вездѣ вокругъ точки

соприкасанія, гдѣ воздушный слой имѣетъ ту же толщину, свѣтъ исчезнетъ и мы будемъ имѣть темное кольцо.

Обратимъ теперь вниманіе на то, какъ удачно это предположеніе согласуется съ открытымъ Ньютономъ закономъ пропорціональности. Если толщина слоя  $2d$ , то частица успѣетъ сдѣлать въ немъ два полныхъ вращенія; если толщина будетъ  $3d$ ,—три полныхъ вращенія. Ясно, что въ каждомъ изъ этихъ случаевъ частица окажется на второй поверхности слоя притягивающимъ полюсомъ впередъ. Она вступитъ въ стекло, глазъ не получитъ свѣтового ощущенія и въ каждомъ случаѣ получится темное кольцо.

Свѣтлыя кольца можно объяснить совершенно также, исходя изъ тѣхъ же представлений. Они являются между темными кольцами и соотвѣтствующая имъ толщина воздушнаго слоя лежитъ между толщинами слоевъ, образующихъ темные круги. Возьмемъ первое свѣтлое кольцо; толщина слоя равняется половинѣ  $d$ , и въ немъ частица можетъ сдѣлать только поворотъ; когда частица достигнетъ второй поверхности слоя, отталкивающей полюсъ будетъ впереди: она будетъ отражена и попадетъ въ глазъ. Вездѣ вокругъ центра, гдѣ толщина слоя равняется половинѣ  $d$ , результатъ будетъ тотъ же и мы получимъ свѣтлое кольцо. Остальные свѣтлыя кольца объясняются тою же причиной. Второму кольцу соотвѣтствуетъ толщина слоя полтора  $d$ ,—частица дѣлаетъ полтора вращенія; для третьяго кольца—два съ половиною вращенія; въ каждомъ изъ этихъ случаевъ частицы достигаютъ нижней поверхности воздушнаго слоя отталкивающимъ полюсомъ впередъ: онѣ отражаются обратно къ глазу и вызываютъ въ немъ свѣтовое впечатлѣніе. Такое объясненіе при болѣе подробной критикѣ ведетъ къ кое-какимъ затрудненіямъ, но все же не трудно понять, почему теорія «приспособленія» могла такъ прочно укорениться въ умѣ Ньютона.

Какъ мы уже говорили, по теоріи истеченія свѣтъ долженъ обладать большею скоростью въ воздухѣ, чѣмъ въ міровомъ пространствѣ; въ этомъ она прямо противорѣчитъ теоріи волнообразнаго колебанія, по которой свѣтъ въ воздухѣ или міровомъ пространствѣ распространяется скорѣе, чѣмъ въ стеклѣ или водѣ. Араго предложилъ произвести опытъ, который долженъ былъ дать отвѣтъ на этотъ вопросъ; опытъ замѣчательно искусно былъ произведенъ знаменитыми физиками Фуко и Физо, и вопросъ былъ рѣшенъ въ пользу волновой теоріи.

Въ последнемъ случаѣ объ теоріи опять противорѣчатъ другъ другу. Ньютонъ принимаетъ, что появленіе свѣтлыхъ и темныхъ круговъ обуславливается явленіями только на *одной поверхности*,—на нижней поверхности воздушнаго слоя. По теоріи волнообразнаго колебанія кольца получаются, благодаря интерференціи волнъ, отраженныхъ отъ обѣихъ поверхностей. И это было доказано опытомъ: какъ мы ниже увидимъ, при помощи соотвѣтствующихъ приспособленій, можно уничтожить отраженіе одной изъ поверхностей слоя, тогда кольца совершенно пропадаютъ.

Блѣдныя кольца можно получить также и отъ *проходящаго* свѣта. Волновая теорія приписываетъ ихъ интерференціи волнъ, часть которыхъ прямо прошла черезъ воздушный слой, а часть претерпѣла дважды отраженіе. Это вполне объясняетъ явленіе.

## 10. Диффракція свѣта.

Принято говорить, что Ньютонъ задержалъ научныя открытія, принявъ теорію истеченія. Но можно было-бы спросить, не имѣють-ли ошибки великихъ ученыхъ тѣхъ благодѣтельныхъ результатовъ, что умственный прогрессъ дѣлается періодическимъ, а не равномернымъ; «задержка» въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ является прологомъ болѣе быстрыхъ успѣховъ. Не ошибокъ слѣдуетъ избѣгать, а смятенія и застоя. Если волновая теорія немного и задержалась, то за это время она стала сильнѣе; ея развитіе за послѣднее полустолѣтіе было такъ быстро и побѣдоносно, что у нея не осталось ни одного соперника.

Теперь мы должны обратиться къ изслѣдованію новой группы явленій, которыя могутъ быть удовлетворительно объяснены только волновой теоріей. Ньютонъ, знакомый съ идеями объ эфирѣ и даже вводившій его въ нѣкоторыя свои разсужденія, возражалъ противъ нея, какъ мы уже говорили, что если-бы свѣтъ состоялъ изъ волнъ, то не существовало-бы тѣней: волны огибали-бы углы непрозрачныхъ тѣлъ и приводили-бы въ движеніе и эфиръ за ними. Онъ былъ правъ, утверждая, что волны должны огибать тѣла, но неправъ, предполагая, что онѣ этого не дѣлаютъ. Въ дѣйствительности такое огибаніе происходитъ, хотя обыкновенно его не видно, благодаря интерференціи. Это огибаніе получило названіе *диффракціи*.

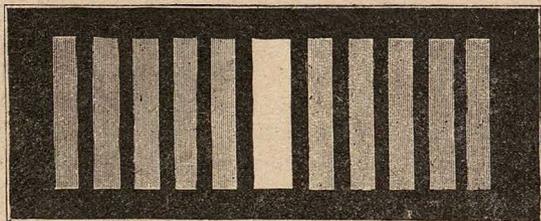
Для изученія явленій диффракціи необходимо, чтобы источникъ свѣта представлялъ собою физическую точку или тонкую линію; если-бы мы хотѣли примѣнять свѣтящуюся поверхность, волны, получаемыя различными точками ея, затемняли-бы и погашали другъ друга. Свѣтящуюся интенсивно точку можно получить, пропустивъ параллельный пучекъ солнечныхъ лучей черезъ отверстіе въ оконномъ ставнѣ и собравъ ихъ при помощи короткофокусной линзы. Маленькое изображеніе солнца въ ея фокусѣ представляетъ собою подходящую для насъ свѣтящуюся точку. Изображеніе солнца получается также при помощи выпуклой поверхности стеклянаго шарика или отъ часового стекла, покрытаго снизу черной краской. Такое изображеніе тоже подойдетъ для насъ, хотя оно будетъ менѣе интенсивно. Ярко свѣтящуюся линію свѣта можно получить, пропустивъ солнечный свѣтъ въ щель, а затѣмъ черезъ сильную цилиндрическую линзу. Полоса свѣта образовала бы въ въ фокусѣ линзы свѣтящуюся линію. Стеклая трубка, вычерненная внутри и помѣщенная на пути свѣта, тоже отразитъ отъ своей поверхности свѣтящуюся линію, вполне подходящую для нашихъ цѣлей, хотя и менѣе интенсивную.

Въ томъ опытѣ, который мы теперь будемъ описывать, вертикальная щель переменной толщины помѣщается передъ электрической лампой; эту щель разсматриваютъ черезъ находящуюся на нѣкоторомъ разстояніи другую вертикальную щель, — эта щель имѣетъ тоже переменную толщину, — эту часть прибора держать въ рукахъ.

Прежде всего дѣлаютъ свѣтъ лампы монохроматичнымъ, помѣстивъ передъ щелью чистое красное стекло; если глазъ помѣщается на прямой линіи, проходящей черезъ обѣ щели, то наблюдается замѣчательное явленіе (фиг. 15).

Щель, находящаяся передъ лампой, образуетъ яркій прямоугольникъ; но вправо и влѣво отъ него тянется цѣлый рядъ прямоугольниковъ; они постепенно тускнѣютъ и раздѣлены совершенно темными промежутками.

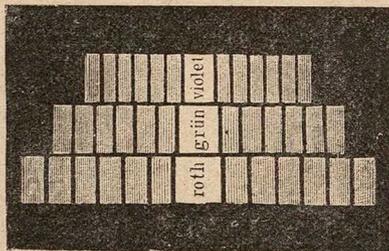
Ширина этихъ прямоугольныхъ полосъ мѣняется въ зависимости отъ ширины щели, находящейся передъ глазами. Если щель становится шире, полосы свѣта суживаются и располагаются тѣснѣе; если щель дѣлается уже, отдѣльные полосы свѣта расширяются, какъ-бы раздвигаются и тѣсные промежутки между ними дѣлаются шире.



Фиг. 15.

Оставимъ все остальное по прежнему и вставимъ только вмѣсто краснаго стекла синее, или поставимъ на пути лучей растворъ сложной сѣрнокислой соли аммонія и мѣди, который дастъ очень чистый синій цвѣтъ. Мы получимъ рядъ синихъ полосъ—такихъ же, какъ и раньше, но только отличающихся отъ нихъ въ одномъ отношеніи: синіе прямоугольники уже и расположены они ближе другъ къ другу, чѣмъ красные.

Если мы будемъ пользоваться свѣтомъ, который по преломляемости находится между краснымъ и синимъ,—а для этого слѣдуетъ пропустить черезъ щель различные цвѣта спектра,—тогда мы получимъ цвѣтныя полосы шире, чѣмъ синія, и уже, чѣмъ красныя, онѣ будутъ замѣнять мѣсто промежутковъ между послѣдними. Видъ полосъ въ красномъ, зеленомъ и фіолетовомъ свѣтѣ изображенъ на фиг. 16.



Фиг. 16.

Если же теперь пропустить черезъ щель бѣлый свѣтъ, то различные цвѣта не будутъ накладываться другъ на друга и вмѣсто ряда монохроматическихъ полосъ, отдѣленныхъ другъ отъ друга темными промежутками, мы получимъ рядъ цвѣтныхъ спектровъ, расположенныхъ другъ подлѣ друга. Если болѣе отдаленная отъ насъ щель будетъ освѣщаться свѣчкой, а не интенсивнымъ электрическимъ свѣтомъ, или если мы воспользуемся раскаленной до блага каленія электрическимъ токомъ платиновой проволокой, то явленіе получится по существу то же.

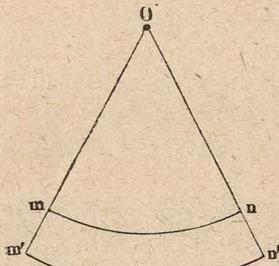
## 11. Примѣненіе волновой теоріи къ явленіямъ дифракціи.

Теорія истеченія не можетъ дать удовлетворительнаго объясненія не только этихъ явленій, но и многихъ другихъ, подобныхъ имъ. Посмотримъ, какъ объясняетъ ихъ теорія волнообразнаго движенія.

Чтобы разъяснить дѣлю волнѣ, я долженъ обратиться здѣсь опять

къ той способности, значеніе которой я выдвигалъ такъ сильно и здѣсь, и въ другомъ мѣстѣ,—къ способности воображенія. Вообразите, что вы на берегу моря и что къ вамъ катится полная, красивая волна. Возьмемъ рядъ частицъ въ передней части волны, находящихся на одной и той же глубинѣ подъ ея гребнемъ; всѣ онѣ поднимаются совершенно одинаково, съ одинаковой скоростью. Возьмемъ такой же рядъ частицъ въ задней половинѣ волны,—онѣ опускаются одинаково, съ одинаковой скоростью. Частицы, составляющія непрерывный рядъ на гребнѣ волны, находятся, съ точки зрѣнія движенія волны, тоже въ одинаковыхъ условіяхъ. То же самое справедливо и относительно частицъ, находящихся во впадинѣ волны.

Такъ какъ частицы одного и того же ряда всегда находятся въ одинаковомъ отношеніи къ движенію волны, то говорятъ, что онѣ находятся въ одной и той же *фазѣ* колебанія; но если сравнить частицы въ передней части волны или въ задней ея половинѣ или, вообще, двѣ частицы, занимающія не одинаковыя положенія въ волнѣ, то ихъ условія движенія будутъ различны, и тогда говорятъ, что онѣ находятся въ различной *фазѣ* колебанія. Если одна изъ частицъ лежитъ на гребнѣ волны, а другая—во впадинѣ, такъ что одна изъ нихъ какъ разъ сейчасъ начнетъ опускаться, а другая—подниматься, тогда говорятъ, что онѣ находятся въ *противоположныхъ* фазахъ колебанія.



Фиг. 17.

Есть и еще одинъ пунктъ, очень важный для нашего вопроса. Его мы и должны разъяснить. Предположимъ, что *O* представляетъ собою (фиг. 17) нѣкоторое мѣсто на спокойной поверхности воды; въ немъ было произведено возмущеніе, благодаря чему получился рядъ круговыхъ волнъ. Возмущеніе, вызвавшее эти волны, представляетъ собою только простое колебаніе воды въ *O* вверхъ и внизъ. Пусть *mn* — положеніе гребня одной изъ волнъ въ нѣкоторый моментъ, *m'n'* — его положеніе секунду или двѣ спустя.

Каждая частица воды, когда черезъ нее проходитъ волна, колеблется, какъ мы уже знаемъ, вверхъ и внизъ. Но если этого колебанія достаточно для образованія волнообразнаго движенія, каждая отдѣльная частица волны *mn* должна дать начало цѣлому ряду круговыхъ волнъ.

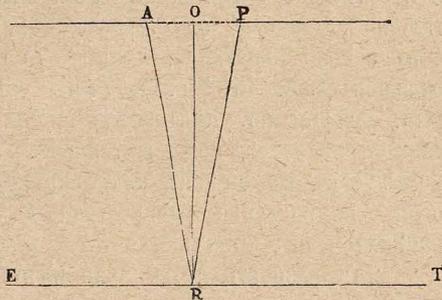
Въ этомъ и заключается тотъ важный пунктъ, который я вамъ хотѣлъ разъяснить. Каждая частица волны *mn* производитъ такое же дѣйствіе. Примемъ каждую частицу за центръ и опишемъ около нея круговую волну радіусомъ, равнымъ разстоянію между *mn* и *m'n'*,—совокупность всѣхъ этихъ маленькихъ волнъ и образуетъ большую волну *m'n'*, какъ мы это въ точности и наблюдаемъ въ природѣ. Такимъ образомъ мы разлагаемъ волнообразное движеніе на его элементы; сдѣлавъ это, мы безъ труда приложимъ наши знанія къ оптическимъ явленіямъ.

Возвратимся теперь къ нашей щели, и для простоты рассмотримъ сначала случай монохроматичнаго свѣта. Представьте себѣ рядъ волнъ эфира, который, идя отъ первой щели ко второй, въ концѣ концовъ запол-

няютъ послѣднюю; пройдя черезъ вторую щель, каждая волна не только направляется по прямому направленію къ сѣтчаткѣ глаза, но также отклоняется вправо и влѣво, стремясь привести въ движеніе всю массу эфира по другую сторону щели. Въ самомъ дѣлѣ, какъ мы уже объяснили, каждая волна, заполняющая щель, сама является центромъ новой системы волнъ, распространяющихся по всемъ направленіямъ въ эфиръ по другую сторону ея.

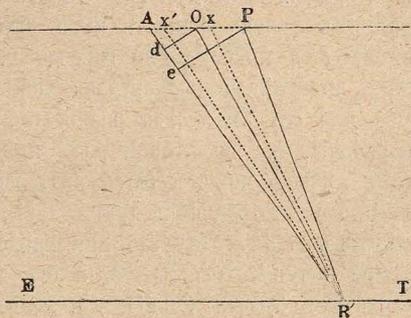
Это и есть знаменитый принципъ Гюйгенса; мы же должны изслѣдовать, какъ эти вторичныя волны дѣйствуютъ другъ на друга.

Разсмотримъ сначала среднюю прямоугольную полосу. Пусть  $AP$  (фиг. 18) изображаетъ ширину отверстія, которое мы держимъ передъ глазами, — конечно, въ сильно увеличенномъ видѣ, — и пусть точки въ этомъ отверстіи изображаютъ



Фиг. 18.

частицы эфира, находящіяся въ одной и той же фазѣ колебанія.  $ET$  изображаетъ часть сѣтчатки. Вообразимъ перпендикуляръ  $OR$ , опущенный изъ середины отверстія  $O$  на сѣтчатку. Движеніе, сообщенное точкѣ  $R$ , представитъ собою сумму всѣхъ движеній, распространяющихся по направленію къ ней отъ частицъ эфира, находящіяся въ отверстіи. Если мы обратимъ вниманіе на то, какъ незначительно это отверстіе, мы безъ чувствительной погрѣшности сможемъ принять, что всѣ точки волны  $AP$  находятся въ одинаковомъ разстояніи отъ  $R$ . Ни одна изъ отдѣльныхъ волнъ не отстаетъ отъ другихъ на сколько нибудь значительную величину. Поэтому въ  $R$  и непосредственно около  $R$  интерференція не ведетъ къ сколько нибудь замѣтному потускнѣнію свѣта. Этотъ неизмѣнный свѣтъ и образуетъ яркую среднюю полосу.



Фиг. 19.

Теперь рассмотримъ волны, расходящіяся за вторую щелью въ стороны. Въ этомъ случаѣ волны, идущія изъ двухъ разныхъ сторонъ щели, должны пройти неодинаковыя разстоянія, чтобы достигнуть сѣтчатки глаза. Пусть  $AP$  (фиг. 19), какъ и раньше, изображаетъ ширину второй щели. Теперь мы должны разобрать вліяніе различныхъ частей волны  $AP$  на точку сѣтчатки  $R'$ , которая не лежитъ на прямой, соединяющей обѣ щели. Возьмемъ тотъ частный случай, когда разность разстояній отъ крайнихъ точекъ  $A$  и  $P$  до сѣтчатки представляетъ собою цѣлую длину волны для краснаго свѣта. Какъ же отзовется эта разность на свѣтовомъ впечатлѣніи въ сѣтчаткѣ?

Обратимъ специальное вниманіе на наклонную линію, проходящую черезъ середину щели  $O$  и черезъ точку сѣтчатки  $R'$ . Разность пути для

волнъ, проходящихъ по этой линіи, и для волнъ, проходящихъ по  $AR'$  и  $PR'$ , равняется во взятомъ нами случаѣ длинѣ одной полуволны.

Отложимъ  $eR'$  равнымъ  $PR'$ , соединимъ  $P$  и  $e$ , и проведемъ  $Od$  параллельно  $Pe$ . Тогда  $Ae$  представитъ собою длину одной свѣтовой волны, а  $Ad$ —длину полуволны. Стоить немного подумать, и вы поймете, что такая разность пути существуетъ не только для крайнихъ волнъ и средней, но что каждой такой линіи, какъ  $xR$ , по одну сторону  $OR'$  соответствуетъ по другую ея сторону линію  $x'R'$ , отличающаяся отъ нея на длину одной полуволны,—такъ что колебанія ихъ будутъ въ противоположной фазѣ. Вслѣдствіе этого свѣтъ, идущій изъ одной половины щели, совершенно уничтожаетъ идущій изъ другой; — результатомъ ихъ сложения является полная темнота. Такъ объясняется первый темный промежутокъ въ нашемъ ряду свѣтлыхъ полосъ. Онъ получается благодаря косому направленію распространенія волнъ, вслѣдствіе котораго пути крайнихъ волнъ отличаются на длину цѣлой волны.

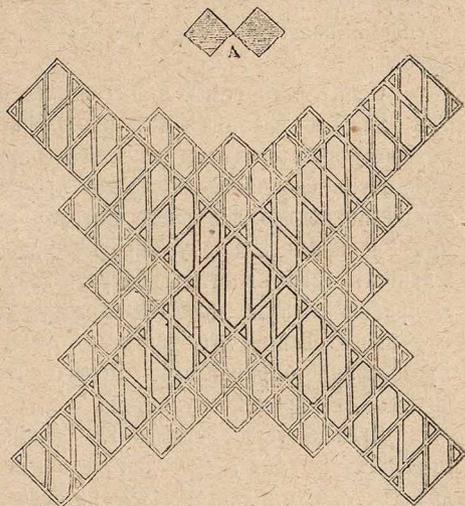
Если разность путей крайнихъ волнъ равняется длинѣ одной полуволны, то погашеніе свѣта происходитъ только отчасти. Яркость соответствующаго такому направленію свѣта немного менѣе—ровно 0,4—яркости свѣта, вовсе не подвергавшагося диффракціи.

Если пути крайнихъ лучей отличаются другъ отъ друга на длину трехъ полуволнъ, и если мы раздѣлимъ весь пучекъ лучей на три равныя части, то двѣ изъ нихъ, по причинамъ, вполне понятнымъ изъ предъидущихъ объясненій,—взаимно уничтожатся, и только третья будетъ дѣйствовать. Поэтому для такого направленія, которое образуетъ для крайнихъ лучей разность пути въ три полуволны, мы тоже получаемъ свѣтящуюся полосу,—но гораздо менѣе яркую, чѣмъ центральная полоса, свѣтъ которой не подвергался диффракціи.

Для случая, когда разность пути крайнихъ лучей составляютъ четыре полуволны, мы во второй разъ получаемъ полное погашеніе всего пучка: этотъ пучекъ можетъ быть раздѣленъ на четыре равныя части, попарно взаимно уничтожающія другъ друга. Такимъ образомъ второй темный промежутокъ соответствуетъ направленію, обуславливающему разность въ четыре полуволны. Мы могли бы продолжать такъ и дальше, — общій результатъ будетъ слѣдующій: если направленіе распространенія волнообразнаго движенія таково, что вызываетъ для крайнихъ лучей разность пути, равную *четному* числу полуволнъ,—свѣтъ совершенно погашается; если же эта разность равняется *нечетному* числу полуволнъ,—происходитъ только частичное погашеніе, и часть пучка образуетъ свѣтлую полосу.

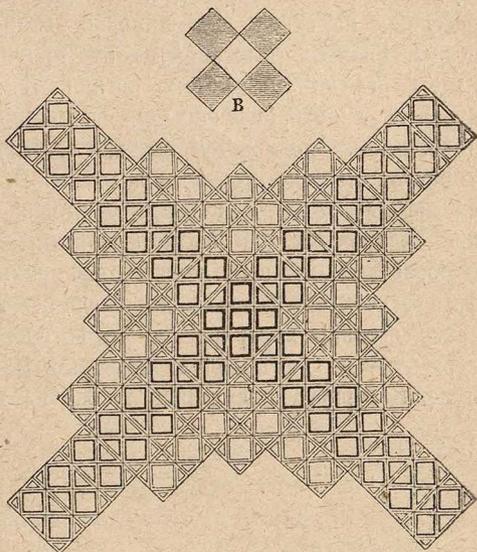
Послѣ небольшого размышленія вамъ станетъ ясно, что чѣмъ шире щель, тѣмъ меньше потребуется отклоненіе, чтобы получилась необходимая разность пути. Поэтому при широкой щели свѣтлыя полосы, — какъ мы уже говорили раньше,—расположены ближе другъ къ другу, чѣмъ при узкой. Ясно также, что чѣмъ короче волна, тѣмъ меньше потребуется отклоненіе, чтобы вызвать необходимую отсталость ея. Поэтому *maxima* и *minima* фіолетоваго свѣта должны быть ближе къ центру, чѣмъ краснаго; *maxima* и *minima* остальныхъ цвѣтовъ лежатъ между ними. Вотъ какъ просто объясняетъ вышеприведенныя поразительныя явленія волновая теорія!

Если вмѣсто щели и невооруженнаго глаза воспользоваться тою же щелью и телескопомъ, то явленіе увеличивается въ масштабъ и дѣлается еще эффектнѣе. Если смотрѣть въ правильно поставленный телескопъ съ небольшимъ круглымъ отверстіемъ передъ нимъ на находящуюся отъ него на нѣкоторомъ разстояніи свѣтящуюся точку, то эта точка будетъ казаться окруженной рядомъ цвѣтныхъ колецъ. Если примѣнять монохроматичный свѣтъ, — кольца будутъ темныя и свѣтлыя, — но въ бѣломъ свѣтѣ они образуютъ всѣ цвѣта радуги. Если сократить длину щели настолько, что она образуетъ квадратное отверстіе, мы получимъ два ряда спектровъ, расположенныхъ подъ круглымъ угломъ другъ къ другу. Явленіе можно бесконечно разнообразить, измѣняя форму, величину и число отверстій, черезъ которыя смотрятъ на свѣтящуюся точку. Швердъ



Фиг. 20.

(Schwerd) наблюдалъ черезъ два четырехугольныхъ отверстія, углы которыхъ соприкасались у *A*, явленіе, изображенное на фиг. 20. Когда онъ присоединилъ къ нимъ еще два отверстія, какъ показано у *B* (фиг. 21), получилось явленіе изображенное на фигурѣ 21. Положеніе на этихъ фигурахъ каждой свѣтлой и темной линіи было предвычислено на основаніи теоріи Френелемъ, Фрауэнгоферомъ, Гершелемъ, Швердомъ и другими; опытъ вполнѣ подтвердилъ ихъ расчеты. Ваши глаза не могутъ дать такое вѣрное понятіе объ этихъ полосахъ, какъ теоретическое вычисленіе.



Фиг. 21.

Если смотрѣть ночью сквозь ткань носоваго платка на уличные фонари, то замѣтимъ явленія диффракціи. Тѣ же явленія, — но еще эффектнѣе, — получаются, какъ показалъ Швердъ, если смотрѣть сквозь птичье перо. Радуги нѣкоторыхъ альпійскихъ облаковъ также представляютъ собою явленія диффракціи. — ихъ можно воспроизводить, пользуясь порошкомъ ликоподія (плауна). Если смотрѣть на свѣтящуюся точку черезъ посыпанную

ликоподіемъ стекляную пластинку, то она кажется окруженной цвѣтными полосами,—очень блестящими, если свѣтъ достаточно яркъ. Можно разсѣять этотъ порошокъ въ воздухѣ,—получатся тѣ же явленія. Явленія диффракціи получаютъ тоже очень эффектныя во время искусственнаго сгущенія облаковъ пара различныхъ жидкостей въ сильно освѣщенной трубѣ.

Одинъ изъ самыхъ интересныхъ случаевъ диффракціи въ зависимости отъ малыхъ частицъ мнѣ пришлось наблюдать на одномъ художникѣ, которому всѣ предметы казались окруженными яркою цвѣтною каймой. Онъ очень беспокоился за свое зрѣніе, боясь потерять его окончательно; его безпокойство все расло потому, что кайма расширялась и становилась ярче. Я приписалъ эту окраску маленькимъ частицамъ, плавающимъ въ жидкости глаза, и сталъ ободрять его, доказывая, что увеличеніе размѣровъ и яркости каймы является признакомъ уменьшенія самыхъ частицъ, и что впоследствии эти частицы, быть можетъ, совсѣмъ поглотятся. Мое предсказаніе оправдалось. Нечего и говорить, какъ необходимо знаніе оптики для врачей-окулистовъ.

Прежде чѣмъ перейти къ разсмотрѣнію цвѣтовыхъ явленій въ кристаллахъ, я укажу еще два источника окраски. Свѣтъ звѣзды, какъ показалъ Араго, можетъ самъ погасить себя, благодаря интерференціи въ атмосферѣ земли; мерцаніе звѣздъ и измѣненіе ихъ цвѣта слѣдуетъ приписать той-же причинѣ. Если смотрѣть на такую звѣзду въ бинокль и потрясти его—такъ, что звѣзда будетъ быстро передвигаться по сѣтчаткѣ,—то получится рядъ круглыхъ блестящихъ кружковъ, отдѣленныхъ промежутками, соответствующими періодамъ погасанія. Тонкія царшины, проведенныя на стеклѣ или на полированномъ металлѣ, отражаютъ свѣтовые волны. Волны, отраженныя отъ противоположныхъ концовъ царшины, интерферируютъ и взаимно погашаются. Но при наклонномъ направленіи лучей, при которомъ короткія волны погашаются, болѣе длинныя волны не остаются, получается цвѣтная окраска. Это явленіе носитъ названіе «цвѣтовъ полосатыхъ поверхностей». Особенно хорошо видно такое явленіе на перламутрѣ. Эта раковина состоитъ изъ очень тонкихъ слоевъ; если при полированіи они были перерѣзаны, то выступающіе наружу ихъ края и образуютъ нужныя намъ тонкія правильныя бороздки. Брюстеръ привелъ фактъ, неопровержимо доказывающій, что цвѣта зависятъ отъ механическаго состоянія поверхности; онъ осторожно придавилъ раковину къ черному сургучу,—на немъ получались такія же бороздки, и, такимъ образомъ, при помощи сургуча получались тѣ же цвѣта, что и при помощи перламутра.

## ТРЕТЬЯ ЛЕКЦІЯ.

Соотношеніе между теоріей и опытом.—Происхожденіе понятія о тяготѣнн.—Понятіе о полярности и его происхожденіе.—Полярность атомовъ.—Структура тѣлъ, какъ результатъ полярности.—Строеніе кристалловъ.—Введеніе въ изученіе ихъ вліянія на свѣтъ.—Отношеніе понятія о полярности атомовъ къ строенію кристалловъ.—Опыты.—Кристаллизація воды.—Расширеніе отъ теплоты и отъ охлажденія.—Объясненіе кристаллизаціи воды.—Вліяніе кристаллизаціи на оптическія явленія.—Преломленіе.—Двойное преломленіе.—Поляризація.—Вліяніе турмалина.—Свойства выходящихъ изъ исландскаго шпата лучей.—Поляризація при обыкновенномъ отраженіи и преломленіи.—Деполаризація.

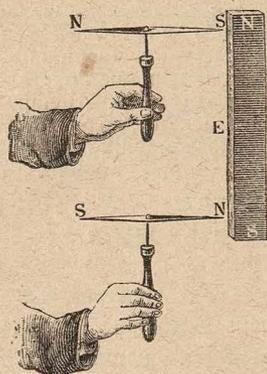
### 1. Возникновеніе теоретическихъ понятій изъ опыта.

Цѣлью нашей прошлой лекціи, — и не послѣднюю, — было показать, какъ образуются научныя теоріи. Онѣ обязаны своимъ происхожденіемъ, прежде всего, стремленію ума проникнуть къ источникамъ явленій. Такое стремленіе возникло еще въ незапамятныя времена, а теперь оно уже выросло до настоятельнѣйшей потребности человѣческой природы. Охваченный имъ, Цезарь сказалъ какъ-то, что онъ всѣ свои побѣды отдалъ-бы за одинъ взглядъ на источники Нила; оно создало атомистическія теоріи Лукреція. Это-же стремленіе привело Дарвина къ его теоріямъ, такъ сильно повліявшимъ на умы. Но при возникновеніи теорій матеріалъ для нихъ никогда не *создается* воображеніемъ, — оно только увеличиваетъ, уменьшаетъ, измѣняетъ и перерабатываетъ, смотря по обстоятельствамъ, то, что взято изъ міра фактовъ и наблюденій.

Это особенно приложимо къ такой теоріи, какъ теорія свѣта, гдѣ уму приходится имѣть дѣло съ движеніями неощутимой для чувства среды, эфира. Но и никакая другая теорія не освобождается отъ этихъ условій возникновенія. Ньютонъ старался не усложнять понятіе о тяготѣннъ ненужными физическими представленіями, но мы знаемъ, что онъ и не отрицалъ ихъ: онъ только не связывалъ съ ними своихъ теорій. Но и современная теорія не явилась намъ откровеніемъ, ничѣмъ не связаннымъ съ міромъ опыта. Основаніемъ нашего воззрѣнія, что солнце и планеты связываются силой взаимнаго притяженія, могло послужить то обстоятельство, что мы раньше видѣли, какъ магнитъ притягиваетъ желѣзо. Понятіе о притяженіи одной массою другою явилось, такимъ образомъ, не «изнутри», а «снаружи». Въ настоящей лекціи магнитная сила должна служить какъ-

бы воротами, вводящими насъ въ новую область; поэтому мы прежде всего должны изучить ея элементарныя явленія.

Общія явленія магнетизма можно проще всего прослѣдить при помощи намагниченнаго стального бруска или, какъ обыкновенно говорятъ, просто магнита. Поставимъ такой магнитъ вертикально на столъ и поднесемъ къ его нижнему концу намагниченную иглу; мы замѣтимъ, что одинъ конецъ ея удаляется отъ магнита, а другой быстро приближается. Затѣмъ игла будетъ колебаться, — подъ вліяніемъ какой-то невидимой, дѣйствующей на нее силы. Станемъ поднимать иглу вдоль магнита, избѣгая, однако, соприкосновенія; колебанія замедлятся, дѣйствующая на иглу сила станетъ слабѣе. Въ серединѣ магнита колебанія прекратятся. По другую сторону ея тотъ же конецъ иглы, который раньше притягивался къ магниту, отдалится отъ него, а другой приблизится. Когда мы поднимаемся выше, колебанія становятся быстрѣе, сила увеличивается. У верхняго конца магнита, какъ и у нижняго, она достигаетъ максимума. Но нижняя половина магнита, отъ Е до S (фиг. 22) притягиваетъ одинъ конецъ иглы, а верхняя, отъ Е до N, — другой.



Фиг. 22.

Это двоякое дѣйствіе магнитной силы и называется *полярностью*, а точки на концахъ магнита, въ которыхъ силы кажутся какъ-бы сконцентрированными, называются *полюсами*.

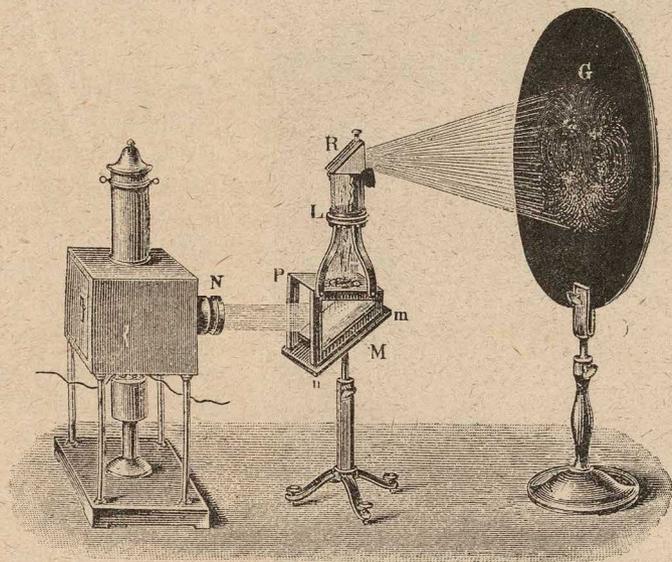
А что произойдетъ, если мы переломимъ магнитъ пополамъ? Получимъ-ли мы два магнита, съ однимъ полюсомъ каждый? — Нѣтъ; каждая половина обратится въ цѣлый магнитъ и будетъ имѣть два полюса. Это можно доказать, сломавъ дѣйствительно магнитъ, только не такой дорогой, какъ этотъ, а напримѣръ, закаленную и намагниченную стальную вязальную спицу, которая дѣйствуетъ совершенно какъ магнитъ. Если ее переломить, то каждая половина будетъ дѣйствовать, какъ цѣлый магнитъ. Переломимъ эти части опять на двое: мы опять, какъ и въ первомъ случаѣ, получимъ по два магнита, съ двумя полюсами каждый. Продолжайте ломать до возможнаго практическаго предѣла и вамъ не придется остановиться. Заключение, выведенное изъ этого наблюденія, безошибочно приведетъ васъ въ область, лежащую за границами чувствъ; оно побуждаетъ васъ согласиться, что эта сила, которую мы называемъ магнитною полярностью, свойственна каждой малѣйшей частицѣ стали. Итакъ, вы приходите къ заключенію, что каждая молекула стали обладаетъ полярною силой.

Сила магнетизма, такъ-же, какъ и всѣ другія силы, подчиняется законамъ механики; зная направленіе и величину этой силы, мы можемъ предсказать ея дѣйствіе. Помѣстимъ небольшую намагниченную иголку вблизи магнитнаго бруска; она займетъ нѣкоторое вполне опредѣленное положеніе, которое можно вывести теоретически на основаніи взаимодѣйствія полюсовъ. Если обнести иголку вокругъ бруска, то каждой точкѣ обойденнаго пространства будетъ соответствовать свое положеніе иглы. Желѣзная иголка могла-бы съ успѣхомъ замѣнять намагниченную сталь-

ную: она намагничивается магнитомъ, и дѣйствуетъ совершенно такъ-же, какъ и заранѣе намагниченная стальная игла.

Если мы помѣстимъ вблизи магнита двѣ или болѣе желѣзныхъ иглы, дѣйствіе будетъ гораздо сложнѣе; не только магнитъ будетъ дѣйствовать на иглы, но онѣ будутъ еще дѣйствовать другъ на друга. Обратимся къ еще меньшихъ размѣровъ кускамъ желѣза, напримѣръ, къ опилкамъ: онѣ точно также, какъ иглы, подчиняются дѣйствію магнитной силы и располагаются вполне опредѣленными фигурами.

Положимъ на магнитъ листъ бумаги или стеклянную дощечку и насыпемъ сверху желѣзныхъ опилокъ, мы замѣтимъ, что онѣ стремятся расположиться по опредѣленнымъ линіямъ. Вслѣдствіе тренія о бумагу онѣ



Фиг. 23.

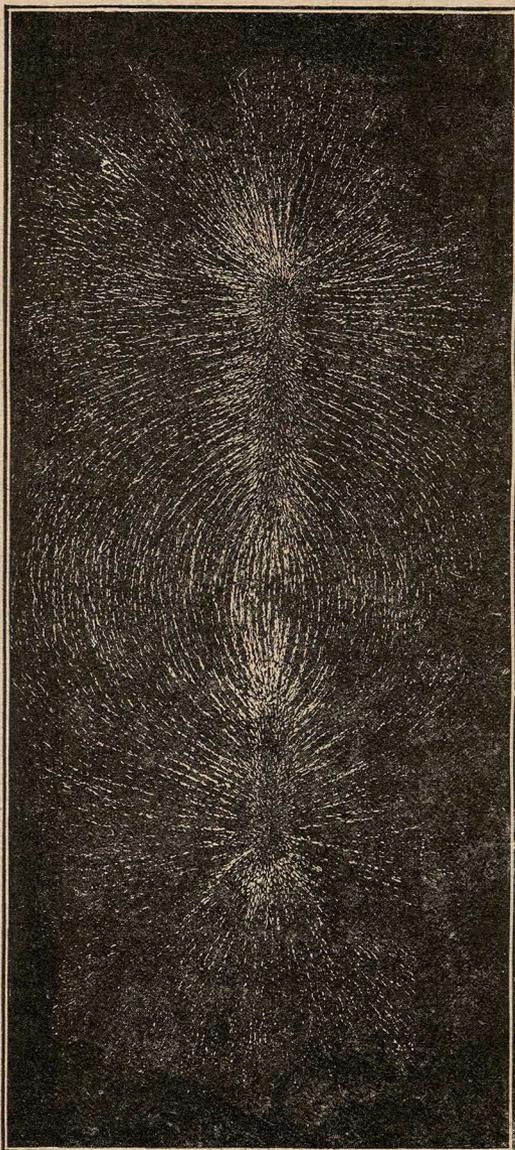
не могутъ свободно слѣдовать этому стремленію. Если-жъ будемъ встряхивать бумагу, мы поможемъ имъ; каждое сотрясеніе освобождаетъ ихъ на одинъ моментъ отъ этого тренія, и онѣ могутъ слѣдовать своему стремленію. Но это такой опытъ, который виденъ только одному мнѣ. Чтобы показать его всѣмъ вамъ, я возьму два небольшихъ магнита и при помощи простыхъ оптическихъ приспособленій брошу на экранъ ихъ изображеніе въ увеличенномъ масштабѣ (фиг. 23).

Если на стеклянную пластинку, на которой укрѣплены оба магнита, насыпать опилокъ и встряхнуть, то можно видѣть, какъ онѣ располагаются по магнитнымъ кривымъ, уже давно извѣстнымъ ученымъ.

Профессору Майеру въ Гобокенѣ удалось, благодаря остроумному приему, укрѣпить и сфотографировать магнитныя кривыя. Его любезности я обязанъ вотъ этимъ превосходнымъ изображеніемъ ихъ (фиг. 24).

Видъ такихъ кривыхъ настолько приковалъ къ себѣ вниманіе Фарадея, что онъ большую часть своего научнаго труда посвятилъ попыткамъ изслѣдовать и объяснить ихъ. Пространство, въ которомъ онѣ образуются, онъ

представлялъ себѣ наполненнымъ особаго рода матеріей; весьма вѣроятно, что впоследствии, съ развитіемъ науки, — когда явленія магнетизма будутъ объяснены въ связи съ свѣтоноснымъ эфиромъ, окажется, что эти «линіи силъ», — какъ назвалъ ихъ Фарадей, — представляютъ собою нѣкоторое



Фиг. 24.

состояніе той таинственной субстанции, которая является носителемъ всякаго дѣйствія, распространяющагося лучами.

Но мы не будемъ говорить о самыхъ магнитныхъ кривыхъ, — мы постараемся разобраться въ ихъ отношеніяхъ къ теоретическимъ понятіямъ. Благодаря дѣйствию магнитнаго бруска на иглу, у насъ возникаетъ понятіе о полярной силѣ; ломая намагниченную стальную иглу, мы убѣждаемся, что «полярность» можетъ принадлежать бесконечно малой частицѣ матеріи. Опытъ съ опилками приводитъ насъ къ новой идеѣ, — къ идеѣ о *строении* вещества. У каждой пары опилокъ есть четыре полюса, — два притягивающихъ и два отталкивающихъ. Притягивающіе полюса приближаются другъ къ другу, отталкивающіе — раздвигаются; въ результатъ получается нѣкоторое опредѣленное относительно расположеніе частицъ.

## 2. Теорія кристаллизаціи.

Эта идея о строении вещества, вызываемомъ по-

лярными силами, открываетъ намъ путь въ совершенно новую область, куда я и попрошу васъ послѣдовать за мной. Предметомъ нашего ближайшаго изслѣдованія будетъ вліяніе кристалловъ на свѣтъ. Прежде чѣмъ говорить объ этомъ вліяніи я желаю бы разъяснить вамъ «архитектуру» кристалловъ.

Взгляните на гранитный камень и посвятите минутъ пять на изслѣдованіе его. Онъ вовсе не имѣеть однообразнаго строенія. Онъ представляетъ собою скорѣе аггломератъ кусочковъ, которые, какъ оказывается при внимательномъ изслѣдованіи, имѣють однообразную опредѣленную форму. Вы видите здѣсь то, что минералоги называютъ кварцемъ, затѣмъ полевою шпата и слюда. Въ минералогическомъ кабинетѣ, гдѣ эти вещества хранятся въ отдѣльности, можно составить себѣ болѣе точное понятіе объ ихъ формахъ и, вообще, о кристаллахъ. Тамъ вы увидите еще образчики берилла, топаза, смарагда, турмалина, тяжелаго шпата, плавиковаго шпата, исландскаго шпата, а можетъ быть даже совершенно образовавшійся алмазь, въ такомъ видѣ, какимъ его создала природа, какой онъ имѣеть, раньше чѣмъ попадетъ въ руки гранильщика. Эти кристаллы, какъ вы замѣтите, образованы всѣ сообразно съ нѣкоторыми законами; ихъ форма не носитъ случайнаго характера: если вы разсмотрите ихъ повнимательнѣе, вы увидите, что можно подмѣтить нѣкоторый законъ ихъ образованія. По извѣстнымъ направленіямъ они легко расщепляются ножомъ, образуя гладкія и блестящія поверхности, такъ называемыя плоскости спайности.

Если вы прослѣдите внимательно эти плоскости, вы узнаете основныя формы кристалла, скрывавшіяся за его наружной формой. Остается только съ удивленіемъ взирать на замѣчательное строеніе, созданное невѣдомымъ творцомъ; но теперь вы уже знакомы съ полярными силами и знаете, что онѣ могутъ обуславливать извѣстную структуру тѣла, и вы неизбежно отвѣтите себѣ, что строеніе кристалловъ — результатъ игры полярныхъ силъ, свойственныхъ каждой частицѣ. Благодаря этимъ силамъ, каждая молекула прилегаеть къ другимъ, сосѣднимъ съ нею, по вполне опредѣленному закону; конечная видимая форма кристалла зависитъ отъ расположенія послѣднихъ частицъ его.

Вездѣ въ природѣ мы замѣчаемъ стремленіе къ извѣстнымъ, опредѣленнымъ формамъ, и нѣтъ ничего легче, какъ показать это наглядно при помощи искусственныхъ опытовъ. Растворимъ въ водѣ немного селитры, и предоставимъ ей понемногу испаряться. Селитра остается, а растворъ быстро достигаетъ такой степени концентраціи, что не можетъ дольше оставаться въ жидкомъ состояніи: частицы селитры приближаются другъ къ другу настолько, что вступаютъ въ «кругъ дѣйствія» полярныхъ силъ. Повинуясь этимъ силамъ, онѣ принимаютъ извѣстное расположеніе, и образуется первый небольшой кристаллъ. На этотъ кристаллъ осаждаются частицы селитры изъ окружающей его жидкости. Кристаллъ все растетъ, и, въ концѣ концовъ, мы получаемъ большія селитренныя призмы; каждая призма имѣеть совершенно опредѣленную форму. Квасцы легко кристаллизуются подобнымъ же образомъ, но форма получающихся кристалловъ иная, чѣмъ у селитры: расположеніе полюсовъ въ ихъ частицахъ неодинаково. Если приложить извѣстныя старанія, то можно довести эти кристаллы до весьма значительныхъ размѣровъ.

Совершенное образованіе кристалловъ обуславливается тѣмъ обстоятельствомъ, что сила кристаллизаціи можетъ дѣйствовать только медленно. Необходимо, чтобы каждая частица могла безпрепятственно выполнить свое дѣло. Если кристаллизація происходитъ слишкомъ быстро, та правильность ея нарушается. Можно насытить воду глауберовой солью, растворивъ ее

въ горячей водѣ и затѣмъ охлаждая растворъ. При низшей температурѣ растворъ пересыщенъ, т. е. содержитъ для данной температуры слишкомъ много твердаго тѣла. Но признаковъ скопленія частицъ вовсе не обнаруживается.

Это явленіе, хотя и вполнѣ обычное, представляетъ большой интересъ. Каждая частица, находящаяся въ жидкости, такъ связана окружающими ея другими частицами, что не можетъ свободно слѣдовать своему стремленію. Обратимъ вниманіе на какую-нибудь одну частицу. Стремясь соединиться и съ частицами, находящимися направо отъ нея, и съ находящимися налѣво, она не соединяется ни съ тѣми, ни съ другими: одно стремленіе парализуетъ другое. Но если погрузить въ растворъ одинъ кристаллъ глауберовой соли, то нерѣзительности немедленно наступаетъ конецъ. Окружающія этотъ кристаллъ частицы немедленно осаждаются на него. На нихъ тотчасъ же осаждаются другія, и это явленіе распространяется на весь сосудъ, пока весь растворъ, насколько это возможно, не получитъ твердую форму. Полученные такимъ образомъ кристаллы имѣютъ небольшіе размѣры и расположены въ перемежку другъ съ другомъ. Процессъ кристаллизаціи происходилъ слишкомъ быстро, и дѣйствіе силъ кристаллизаціи не могло проявиться вполнѣ, въ своемъ чистомъ видѣ. Это вполнѣ соответствуетъ состоянію націи, въ которой до тѣхъ поръ сопротивлялись естественнымъ и полезнымъ реформамъ, пока общество не оказалось слишкомъ насыщеннымъ желаніемъ переменъ, и это желаніе не проявилось вдругъ беспорядочно, въ формѣ переворота.

Теперь позвольте мнѣ показать вамъ дѣйствіе силъ кристаллизаціи на двухъ примѣрахъ. Можно было бы воспользоваться селитрой, но еще удобнѣе будетъ обратиться къ другому тѣлу, — тоже хорошо извѣстному; я говорю о растворѣ хлористаго аммонія, т. е. обыкновеннаго нашатыря. Взявъ чистую стеклянную пластинку, я наливаю на нее растворъ и, наклонивъ пластинку, даю ему стекать, такъ что остается только тонкій слой жидкости. Если стекло слегка нагрѣть, то начнется испареніе, при чемъ испаряться будетъ только вода. Затѣмъ я помѣщаю пластинку въ солнечный микроскопъ и отбрасываю на бѣлый экранъ изображеніе слоя жидкости. Теплота освѣщающихъ пластинку лучей настолько ускоряетъ испареніе, что черезъ моментъ или два растворенная не можетъ ужъ болѣе оставаться въ жидкомъ состояніи. Одна частица примыкаетъ къ другой, и вы ясно видите, какъ кристаллизація распространяется по всему экрану. Нѣчто подобное вы увидите, если, дохнувъ зимой на покрытое льдомъ оконное стекло, вы будете смотрѣть въ лупу, какъ вода снова замерзаетъ.

Въ послѣднемъ случаѣ проявленію силъ кристаллизаціи мѣшаетъ прилипаніе жидкости къ стеклу, — но все-таки онѣ проявляются очень эффектно. Часто кристаллы, выходя изъ одного конца, пробѣгаютъ весь слой; разъ кристаллизація началась, молекулы стремятся осаждаться на уже образовавшихся кристаллахъ. Часто кристаллизація распространяется изъ нѣсколькихъ точекъ жидкости, — каждый небольшой кристаллъ дѣлается какъ бы центромъ кристаллизаціи. Но вы замѣтите, что во время всего процесса одна величина остается неизмѣнной, — это величина угловъ. Отъ ствола отходятъ вѣтви, — отъ нихъ опять другія отвѣтвленія, — углы

ихъ остаются неизмѣнными. Точно такъ же вы можете наблюдать кристаллы квасцовъ, кварца и другихъ тѣлъ, — въ самыхъ разнообразныхъ формахъ, — настолько они подчинены произвольнымъ случайностямъ кристаллизаціи; но въ одномъ отношеніи они выше случая: величина угловъ сохраняется постоянно неизмѣнной.

Мой второй примѣръ дѣйствія кристаллизаціи слѣдующій: если пропустить черезъ жидкость гальванической токъ, то, какъ вы знаете, она разлагается, и если въ ней содержится металлъ, то онъ, благодаря электролизу, выдѣляется. Вотъ этотъ небольшой сосудъ содержитъ растворъ уксуснокислаго свинца (свинцоваго сахара); я выбралъ его для нашего отвѣта потому, что свинецъ кристаллизуется легко и свободно. Въ сосудъ погружены двѣ тонкія платиновыя проволоки; онѣ соединены другими проволоками съ небольшою гальванической батареей. Пропустимъ черезъ растворъ токъ: свинецъ начнетъ понемногу освобождаться отъ тѣхъ атомовъ, съ которыми онъ теперь соединенъ; онъ будетъ выдѣляться на одной изъ проволокъ и, повинаясь въ моментъ выдѣленія полярнымъ силамъ своихъ атомовъ, образуетъ необычайно красивыя формы кристалловъ. Вы видите ихъ теперь; онѣ, какъ цвѣты, вырастаютъ на проволокахъ: кажется, будто бы это растеніе, растущее такъ быстро, что его ростъ замѣтенъ простому глазу. Измѣнимъ направленіе тока: свинцовыя цвѣты какъ бы растворятся, а отъ другой проволоки начнутъ выдѣляться лучи свинца. Черезъ нѣсколько времени цвѣты опять вырастаютъ, — но уже теперь они покрываютъ другую проволоку.

Итакъ, въ процессѣ кристаллизаціи «строителемъ» оказалась сама природа. Гдѣ же будетъ предѣлъ ея дѣятельности? Не образуетъ ли она при помощи тѣхъ же самыхъ силъ также и растенія, а затѣмъ и животныхъ? Какъ бы мы ни отвѣтили на это, вы можете мнѣ говорить, что взгляды грядущихъ поколѣній на эти таинственные предметы, — которые называли даже «грубой матеріей», — будутъ рѣзко отличаться отъ взглядовъ поколѣній, уже ушедшихъ въ вѣчность.

Едва ли найдется болѣе эффектный и поучительный примѣръ дѣйствія силъ кристаллизаціи, чѣмъ тотъ, который мы получаемъ въ водѣ. Вы видѣли на холодномъ оконномъ стеклѣ эти красивые какъ цвѣты узоры, образованные кристаллизаціей на тонкомъ слое воды<sup>1)</sup>. Вы, вѣроятно, замѣтили также хорошенькія розетки, связанныя изъ выпавшаго снѣга въ тихій зимній день силой кристаллизаціи. Откосы и вершины Альпъ покрыты зимой этими цвѣтами мороза. Рисунокъ ихъ безконечно разнообразенъ, но величина угла сохраняется та же: неизмѣнная сила соединяетъ иглы и вѣтви подъ угломъ въ 60°.

При образованіи обыкновеннаго льда на нашихъ озерахъ тоже сохраняется эта величина угла. Въ замерзшей водѣ можно замѣтить небольшіе кристаллы звѣздообразной формы; каждая звѣзда состоитъ изъ шести лучей, и каждая пара сосѣднихъ лучей образуетъ уголъ въ 60°. То же самое строеніе замѣтно и въ обыкновенномъ льдѣ. Въ солнечномъ или, за неимѣніемъ такового, въ электрическомъ свѣтѣ мы имѣемъ достаточно тонкое орудіе, чтобы отдѣлить другъ отъ друга замерзшія частицы, не

<sup>1)</sup> Эти узоры прекрасно сфотографированы профессоромъ Лочеттомъ.

нарушая однако ихъ строенія. Вырѣжемъ изъ чистаго, крѣпкаго, равномерно замерзшаго льда параллельно плоскостямъ замерзанія тонкую пластинку, и пропустимъ черезъ нее пучекъ лучей. Въ нѣкоторыхъ точкахъ ледъ растаетъ, и вокругъ этихъ точекъ образуются прекрасные шестилучевые водяные цвѣты. Такихъ цвѣтовъ можно получить очень много. Въ ледяномъ погребѣ часто можно найти куски блестящаго льда, съ тусклыми пятнами на нѣкоторыхъ мѣстахъ, а остальная масса непрерывно свѣтла и одинакова; если мы зададимся вопросомъ, откуда эти тусклыя пятна, то окажется, что они представляютъ собою мириады шестилучевыхъ цвѣтовъ, — это ледъ, благодаря теплотѣ, теперѣ мѣстами растаялъ.

Стоитъ остановить еще наше вниманіе на кристаллизаціи воды; разнообразіе свойствъ, благодаря которымъ вода играетъ такую важную роль въ природѣ, возбуждаетъ и удивленіе, и интересъ къ изслѣдованіямъ. Какъ и почти всѣ другія тѣла, вода при нагрѣваніи расширяется, а при охлажденіи сжимается. Разсмотримъ это расширение и сжатіе.

Небольшая бутылъ наполнена окрашенной водой и закупорена пробкой. Сквозь пробку водонепроницаемо проходитъ стекляная трубка; вода поднимается въ трубкѣ до нѣкоторой высоты. Бутылъ и трубка соотвѣтствуютъ шару и трубкѣ термометра. Нагрѣемъ воду при помощи спиртовой лампочки: она въ трубкѣ поднимется и, наконецъ, начнетъ выливаться черезъ ея верхній конецъ. Такимъ образомъ, мы видимъ, что вода расширяется.

Отодвинемъ лампу и окружимъ бутылъ охлаждающей смѣсью; столбъ жидкости опустится, доказывая такимъ образомъ, что вода при охлажденіи сжимается. Пусть охлаждающая смѣсь продолжаетъ дѣйствовать; столбъ жидкости опустится до извѣстной точки, но затѣмъ остановится; верхній конецъ нѣсколько секундъ простоитъ на мѣстѣ, а затѣмъ начнетъ подниматься. Сжатіе прекратилось и началось *расширеніе отъ холода*. Пусть жидкость расширяется до тѣхъ поръ, пока опять не перельетъ черезъ край трубочки. Повидимому, охлаждающая смѣсь произвела на воду такое же дѣйствіе, какъ пламя. При 4° Цельсія (39° Фаренгейта) сжатіе воды отъ охлажденія прекращается, и она начинаетъ расширяться. При этой температурѣ началась кристаллизація: частицы какъ бы приготовляются къ предстоящему при 0° Ц. отвердѣванію, при которомъ и расширеніе достигаетъ максимума. Благодаря этому расширенію, ледъ, какъ вы знаете, легче воды; ихъ всѣа относятся какъ восемь къ девяти <sup>1)</sup>.

Здѣсь затрогивается одинъ очень интересный вопросъ о молекулярной формѣ; чтобы удовлетворить вашей любознательности, я намѣчу возможное его разрѣшеніе.

<sup>1)</sup> Въ одной небольшой брошюрѣ: „The forms of water“ я замѣтилъ, что холодное желѣзо плаваетъ въ расплавленномъ. Я имѣлъ случай наблюдать это явленіе вмѣстѣ съ моимъ другомъ, сэромъ Уильямомъ Армстронгомъ, на его заводѣ въ Эльсвикѣ, въ 1863 году. Фарадей, мнѣ помнится, высказалъ при мнѣ мнѣніе, что совершенствомъ желѣзныхъ отливокъ, мы обязаны вѣроятно тому обстоятельству, что металлъ при застываніи „растетъ“. Я не занимался специально этимъ вопросомъ, но я знаю, что многіе литейные мастера сомнѣваются, чтобъ желѣзо „росло“. Возможно также, что твердые куски плаваютъ, не смачиваясь расплавленнымъ желѣзомъ, и объемъ увеличивается благодаря молекулярному отгалкиванію. Извѣстныя часѣкомыя перебѣгаютъ свободно по поверхности воды благодаря такому дѣйствію. Но висмутъ, напримѣръ, легко взрываетъ желѣзный сосудъ, расширяясь при затвердѣваніи.

Представьте себѣ извѣстное число воображаемыхъ магнитовъ, не имѣющихъ вѣса, но сохранившихъ свои полярныя силы. Если бы въ нашемъ распоряженіи была жидкость такого же удѣльнаго вѣса, какъ сталь, то, опустивъ въ нее магниты, мы могли бы осуществить вышеприведенныя условія: магниты не тонули бы, но и не плавали бы на поверхности. Но по открытому Ньютономъ закону тяготѣнія, каждая частица какой-нибудь массы притягиваетъ всякую другую частицу съ силой, обратно пропорціальной квадрату разстоянія. Благодаря такому притяженію магниты, если только они могутъ свободно двигаться, будутъ понемногу приближаться другъ къ другу.

Но кромѣ неполярной силы тяготѣнія, свойственной всякой массѣ, магниты обладаютъ еще полярной силой магнетизма. Нѣкоторое время эти полярныя силы не будутъ проявляться замѣтно. При этихъ условіяхъ магниты аналогичны частицамъ воды при температурѣ, такъ, градусовъ въ 50. Но, наконецъ, магниты приближаются другъ къ другу настолько, что полюсы могутъ дѣйствовать. Съ этого момента явленіе уже не представляетъ собою только всеобщее притяженіе массъ.

Однѣ точки притягиваются, другія отталкиваются: понятно, что благодаря этимъ новымъ силамъ расположеніе магнитовъ можетъ потребовать для этихъ силъ большаго пространства. Мнѣ кажется, эта воображаемая схема явленій вполнѣ аналогична частицамъ воды. Какъ и воображаемые магниты, онѣ нѣкоторое время представляютъ собою сплошную, непрерывную массу, приближаются другъ къ другу. Полярныя силы, несомнѣнно, начинаютъ дѣйствовать, уже раньше, чѣмъ температура достигнетъ 4° Ц., а какъ разъ при этой температурѣ обусловливаемое ими стремленіе къ расширенію компенсируется сжатіемъ отъ охлажденія. При низшихъ температурахъ вліяніе полярныхъ силъ на измѣненіе объема уже преобладаетъ,—но до самой температуры замерзанія онѣ еще борются съ сжимающими силами. Тутъ ужъ частицы смыкаются въ крѣпкіе кристаллы, непосредственнымъ результатомъ чего и является столь замѣтное увеличеніе объема.

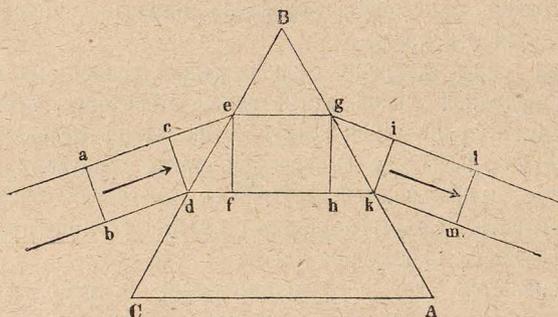
### 3. Объясненіе простаго преломленія при помощи волновой теоріи свѣта.

Теперь намъ предстоитъ изслѣдовать вліяніе кристаллизаціи на оптическія явленія. Согласно съ теоріей волнообразнаго колебанія, скорость свѣта въ водѣ и въ стеклѣ меньше, чѣмъ въ воздухѣ. Разсмотримъ небольшую часть волны, выходящую изъ очень отдаленной свѣтящейся точки, — такъ что эту небольшую часть волны можно считать плоскою. Она проходитъ вертикально внизъ и, вступивъ въ стекло или воду, ограниченныя плоскою поверхностью стремится пройти дальше, не мѣняя направленія. Но такъ какъ скорость въ водѣ или въ стеклѣ меньше, чѣмъ въ воздухѣ, то, проходя въ болѣе плотной средѣ, волна отстанетъ.

Предположимъ, что волна, вступающая въ стекло, наклонена къ его поверхности; тотъ конецъ ея, который ранѣе достигнетъ поверхности, начнетъ отставать раньше другихъ, остальные частицы будутъ запаздывать постепенно, въ порядкѣ ихъ вступленія въ другую среду. Легко

видѣть, что это запозданіе одного конца волны заставляетъ ее перемѣнить направленіе: когда волна уже совсѣмъ вступитъ въ стекло, ея направленіе будетъ составлять нѣкоторый уголъ съ первоначальнымъ. По теоріи волнообразнаго колебанія, *свѣтъ претерпѣлъ* здѣсь *преломленіе*.

Руководствуясь такими соображеніями, прослѣдимъ *ходъ* пучка монохроматичнаго свѣта черезъ нашу стеклянную призму. Скорость свѣта въ воздухѣ относится къ его скорости въ стеклѣ какъ 3 : 2. Пусть *ABC* (черт. 25) представляетъ собою сѣченіе призмы, *ab*—сѣченіе плоской волны, приближающейся къ призмѣ въ направленіи стрѣлки.



Фиг. 25.

*ef* изображаетъ теперь сѣченіе волны. Находясь цѣликомъ въ стеклѣ, волна продвигается до *gh*, и здѣсь конецъ волны *g* выступаетъ въ воздухъ. Пока конецъ волны *h* проходитъ разстояніе *hk* до поверхности призмы, другой конецъ, обладая большею скоростью движенія, пройдетъ разстояніе *gi*. Оказывается волна опять измѣнила свое направленіе; по выходѣ изъ призмы она придетъ въ *ml*, двигаясь все время по направленію стрѣлки. Преломленіе пучка свѣта такимъ образомъ объяснено вполне и оно основывается на произведенныхъ въ дѣйствительности опытахъ, доказывающихъ, что отношеніе скоростей свѣта въ воздухѣ и въ водѣ дѣйствительно таково, какъ было указано. Очевидно, что если бы измѣненіе скорости при переходѣ изъ воздуха въ стекло было значительнѣе, то и преломленіе было бы сильнѣе.

жающей къ призмѣ въ направленіи стрѣлки. Когда волна достигнетъ въ *cd*, одинъ конецъ ея въ точкѣ *d* вступитъ въ стекло; пока находящаяся въ воздухѣ часть волны проходитъ разстояніе *ce*, другая часть, уже вступившая въ стекло, пройдетъ только  $\frac{2}{3}$  этого разстоянія, *df*. Линія

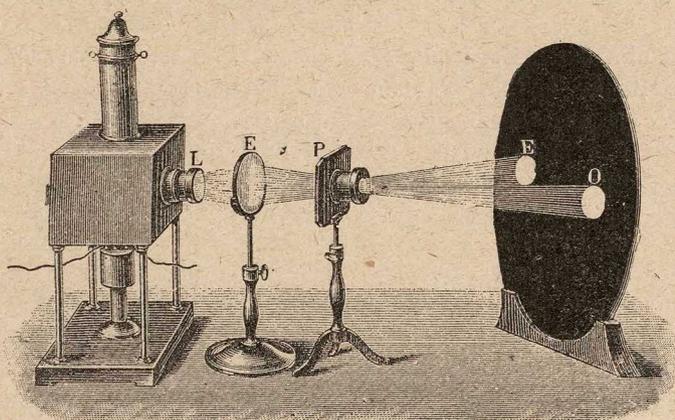
#### 4. Объясненіе двойнаго преломленія свѣта при помощи теоріи волнообразнаго колебанія.

Скорость распространенія свѣта, а также и звука, зависитъ отъ двухъ элементовъ: *упругости* среды и ея плотности. Съ увеличеніемъ упругости среды скорость увеличивается, съ увеличеніемъ плотности—уменьшается. Необычайная скорость свѣта въ міровомъ пространствѣ обуславливается большою упругостью эфира при безконечно малой плотности.

Эфиръ окружаетъ атомы всѣхъ тѣлъ, и онъ находится въ нѣкоторой зависимости отъ нихъ. Находясь въ вѣсомой матеріи, эфиръ дѣйствуетъ такъ, какъ будто бы его плотность увеличилась, но упругость не получила соответствующаго приращенія, потому то скорость свѣта и уменьшается въ преломляющей средѣ. Тутъ мы подходимъ къ очень

важному вопросу. Въ нѣкоторыхъ кристаллахъ, благодаря указанному ихъ строенію, эфиръ имѣетъ неодинаковую плотность и неодинаковую упругость въ различныхъ направленіяхъ; поэтому въ такихъ кристаллахъ свѣтъ пропускается съ различными скоростями. Но преломленіе всецѣло зависитъ отъ измѣненія скорости при вступленіи въ преломляющую среду; оно тѣмъ больше, чѣмъ больше измѣненіе скорости. Въ нѣкоторыхъ кристаллахъ мы и имѣемъ по два различныхъ преломленія; въ такихъ кристаллахъ лучъ свѣта раздѣляется на двѣ части. Это явленіе и называется *двойнымъ преломленіемъ*.

Въ обыкновенной водѣ, напримѣръ, расположеніе частицъ не даетъ никакого повода для нарушенія полной однородности эфира. Но дѣло обстоитъ совершенно иначе, разъ вода выкристаллизовалась въ ледъ. Въ пластинкѣ льда упругость эфира въ направленіи перпендикулярномъ



Фиг. 26.

поверхности замерзанія отличается отъ упругости въ направленіи параллельномъ ей; поэтому ледъ — двупреломляющее вещество. Особенно ясно проявляется двойное лучепреломленіе въ исландскомъ шпатѣ, — минералѣ, представляющемъ собой кристаллизованный углекислый кальцій. Въ этихъ кристаллахъ разница плотностей эфира особенно велика и раздѣленіе лучей на двѣ части особенно замѣтно.

Я не хотѣлъ бы оставить этотъ вопросъ раньше, чѣмъ онъ будетъ вполне ясенъ для васъ. Свѣтотворныя колебанія поперечны, — поэтому при изученіи скорости свѣта надо принимать во вниманіе упругость эфира въ направленіи, перпендикулярномъ къ линіи распространенія. Въ исландскомъ шпатѣ есть одно направленіе, вокругъ котораго частицы расположены симметрично. Такое направленіе называется осью кристалла. Вслѣдствіе этой симметріи упругость по всѣмъ направленіямъ, перпендикулярнымъ къ оси, одинакова; если мы пропустимъ чрезъ кристаллъ лучъ свѣта, параллельный оси, то онъ не претерпитъ двойного преломленія. Но упругость по направленію оси больше, чѣмъ по направленію, перпендикулярному къ ней. Разсмотримъ теперь систему волнъ, проходящихъ кристаллъ въ направленіи, перпендикулярномъ къ оси. Для нихъ возможны два

направленія колебанія: частицы эфира могутъ колебаться параллельно оси и перпендикулярно къ ней. *Оба колебанія имѣютъ мѣсто* и волны раздѣляются на двѣ системы, распространяющіяся съ различными скоростями. Неизбѣжнымъ результатомъ этого и является двойное лучепреломленіе.

Двойное лучепреломленіе легко иллюстрировать при помощи правильно вырѣзанной пластинки исландскаго шпата. Пропустимъ черезъ нее пучекъ лучей, образующій изображеніе раскаленныхъ углей: вмѣсто одного изображенія мы тотчасъ же получимъ два. Спроектируемъ (при помощи линзы *E*, фиг. 26) изображеніе *L*, изъ котораго выходитъ свѣтъ электрической лампочки и введемъ пластинку шпата (*P*): вмѣсто одного кружка немедленно получается два (*E* и *O*).

Оба луча, на которые шпата раздѣлилъ пропущенный черезъ него лучъ, подверглись тщательному изслѣдованію. Они получаютъ различно: одинъ изъ нихъ подчиняется обычному закону преломленія, открытому Снеллемъ, онъ называется *обыкновеннымъ* лучемъ; его показатель преломленія 1,654. Другой лучъ не подчиняется этому закону; такъ, его показатель преломленія не представляетъ собою постоянную величину, а измѣняется отъ maximum'a 1,654 до minimum'a 1,483; затѣмъ преломленный лучъ не всегда лежитъ въ одной плоскости паденія съ падающимъ лучемъ. Этотъ второй лучъ называется *необыкновеннымъ* лучемъ. Въ исландскомъ шпатѣ, какъ уже было сказано, обыкновенный лучъ преломленъ сильнѣе. Стоитъ упомянуть еще объ одномъ выводѣ отсюда. Налейте въ два сосуда одинаковой глубины воды и двуѣристаго углерода; сосудъ съ жидкостью, преломляющею сильнѣе, покажется менѣе глубокимъ. Положите исландскій шпата на чернильное пятно, вы увидите два пятна, изъ которыхъ одно расположено ближе къ вамъ, другое дальше. Ближайшее пятно соотвѣтствуетъ сильнѣе преломленному лучу, — точно такъ же какъ лежащее ближе дно сосуда принадлежитъ жидкости, преломляющей сильнѣй. Если повертывать шпата, то «необходимое» изображеніе будетъ вращаться вокругъ «обыкновеннаго», сохраняющаго свое положеніе неизмѣннымъ. Такое же соотношеніе существуетъ и между двумя кружками на экранѣ.

## 5. Объясненіе поляризаціи при помощи теоріи волнообразнаго колебанія.

Двойное лучепреломленіе было указано впервые въ одномъ сочиненіи Эразма Бартолина: опубликованномъ въ 1669 году. Гюйгенсъ попытался объяснить эти явленія при помощи принципозъ волнообразной теоріи, что ему и удалось. Затѣмъ онъ сдѣлалъ весьма важныя наблюденія надъ различіемъ обоихъ лучей, прошедшихъ черезъ шпата, но ему пришлось чистосердечно заявить, что онъ не разрѣшилъ вопроса, и что окончательное разрѣшеніе его надо предоставить будущему. Ньютонъ, размышляя надъ наблюденіями Гюйгенса, пришелъ къ заключенію, что каждый изъ двухъ прошедшихъ черезъ шпата лучей «двустороненъ». По аналогіи съ «двусторонностью» или «двуконечіемъ» магнитовъ, въ чемъ и заключается ихъ полярность, эти лучи получили позднѣе названіе *поляризованныхъ* лучей.

Изучать поляризацию свѣта очень легко и удобно при помощи кристалла турмалина. Но прежде всего мы должны имѣть ясное понятіе объ обыкновенномъ лучѣ свѣта. Какъ мы уже объяснили, колебанія каждой частицы эфира происходятъ перпендикулярно къ направленію распространенія свѣта. Разъ мы имѣемъ дѣло съ обыкновеннымъ свѣтомъ, мы считаемъ, что частицы эфира колеблются по всѣмъ направленіямъ или, какъ говорятъ, «азимутамъ», перпендикулярнымъ къ лучу.

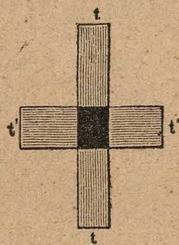
Пусть теперь лучъ свѣта падаетъ на пластинку турмалина, вырѣзанную въ направленіи, параллельномъ оси кристалла; онъ раздѣлится на двѣ части, и въ одной колебанія будутъ происходить параллельно оси, въ другой—перпендикулярно къ ней. Расположеніе частицъ кристалла, а слѣдовательно и эфира, связаннаго съ ними, приводитъ всѣ колебанія, входящія въ турмалинъ, къ этимъ двумъ направленіямъ. Одинъ изъ этихъ двухъ лучей, тотъ, — колебанія котораго перпендикулярны къ оси,—скоро погашается кристалломъ; пройдя черезъ пластинку очень небольшой толщины, лучъ выходитъ на воздухъ, но теперь ужъ всѣ его колебанія сведены къ одной плоскости. Такой свѣтъ мы называемъ *прямолинейно-поляризованнымъ* свѣтомъ.

Послѣ небольшого размышленія мы приходимъ къ заключенію, что, если все это дѣйствительно происходитъ такъ, какъ мы себѣ представляемъ, то, помѣстивъ далѣе на пути луча вторую пластинку турмалина, ось которой параллельна первой, мы должны ожидать, что лучъ пройдетъ черезъ обѣ пластинки; если же оси кристалловъ будутъ перекрещиваться, то колебанія, пропущенныя одной пластинкой, должны погашаться другою; въ результатѣ свѣтъ долженъ погаситься вполне. Докажемъ правильность нашихъ заключеній опытомъ.

Передъ вами изображеніе пластинки турмалина ( $t$ , фиг. 27). Параллельно ей помѣщена другая пластинка ( $t'$ ): только зеленый цвѣтъ кристалла дѣлается нѣсколько темнѣе, что вполне совпадаетъ съ нашими заключеніями. Теперь я начинаю вращать одинъ кристаллъ при помощи безконечнаго винта: вы видите, что пока оси наклонены другъ къ другу подъ острымъ угломъ, часть свѣта проходитъ черезъ обѣ пластинки; но какъ только онѣ станутъ перпендикулярны, совпадающая часть поверхностей обоихъ кристалловъ затемняется совершенно (фиг. 28). Итакъ, сдѣланное нами до опыта заключеніе подтвердилось.

Возьмемъ теперь опять одну пластинку. Обратите вниманіе на зеленый свѣтъ, пропущенный турмалиномъ. Мы должны показать «двусторонность» его, въ отличіе отъ «всесторонности» обыкновеннаго свѣта. Бѣлый обыкновенный свѣтъ, окружающій зеленое изображеніе, отражается плоскимъ зеркаломъ по всѣмъ направленіямъ, тогда какъ зеленый отражается не такъ. Изображеніе турмалина теперь горизонтально. Если его отражать къверху, то оно будетъ снова зеленымъ. Если же отражать его въ сторону, то оно оказывается совершенно чернымъ: въ этомъ направленіи зеленый свѣтъ не можетъ отражаться. Поставимъ пластинку вертикально: тогда

Фиг. 27.



Фиг. 28.

отраженное кверху изображеніе окажется чернымъ, а отражаемое въ сторону зеленымъ. Этотъ фактъ имѣетъ громадное значеніе: если бы свѣтотворныя колебанія были продольны, какъ колебанія звука, то мы не могли бы получить явленій подобнаго рода, поэтому мы должны принять, что колебанія свѣта поперечны. Представьте себѣ это ясніе. Въ первомъ случаѣ на зеркало падаютъ гребни волнъ, зеленый свѣтъ поглощается. Во второмъ случаѣ волны падаютъ на зеркало бокомъ и свѣтъ отражается. Чтобы свѣтъ погасъ совершенно, уголъ паденія луча долженъ имѣть нѣкоторую опредѣленную величину. Что это за величина, мы теперь и разберемъ. Какъ оказывается, лучъ можно сдѣлать «двустороннимъ», не только пропустивъ его черезъ двупреломляющій кристаллъ, но также и путемъ простаго отраженія. Это открытіе было сдѣлано въ 1808 году Малюсомъ, когда онъ смотрѣлъ черезъ исландскій шпатель на солнечный свѣтъ, отраженный окнами Люксембургскаго дворца въ Парижѣ. Пустимъ лучъ свѣта отъ нашей лампы на стеклянную пластинку; значительная часть отраженнаго луча окажется поляризованной. Большая часть колебаній отраженнаго луча происходитъ параллельно плоскости стекла. Если держать стекло такъ, что уголъ паденія будетъ равенъ  $58^\circ$ , то весь отраженный лучъ окажется поляризованнымъ. При этой величинѣ угла паденія изображеніе турмалина совершенно погасало въ нашемъ свѣтѣ. Этотъ уголъ называется *угломъ поляризаціи*.

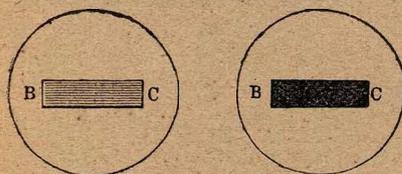
Давидъ Брюстеръ доказалъ, что уголъ поляризаціи даннаго вещества представляетъ собою тотъ именно уголъ, при которомъ преломленный и отраженный лучи составляютъ между собою прямой уголъ <sup>1)</sup>. Уголъ поляризаціи увеличивается съ увеличеніемъ показателя преломленія. Для воды онъ равняется  $52\frac{1}{2}^\circ$ ; для стекла, какъ уже было сказано,  $58^\circ$ ; для алмаза  $68^\circ$ .

Теперь попытаемся воспроизвести опытъ Малюса. Лучъ свѣта отъ лампы падаетъ подъ надлежащимъ угломъ на стеклянную пластинку, отражается и затѣмъ проходитъ черезъ шпатель. вмѣсто двухъ изображеній вы видите только одно. Свѣтъ, поляризованный, какъ въ данномъ случаѣ, путемъ простаго отраженія, можетъ проходить черезъ шпатель только въ одномъ направленіи, и, конечно, можетъ дать только одно изображеніе. Отчего это? Въ исландскомъ шпатѣ, какъ и въ турмалинѣ, всѣ колебанія обыкновеннаго свѣта сводятся къ колебаніямъ въ двухъ перпендикулярныхъ другъ къ другу плоскостяхъ; но въ отличіе отъ турмалина, оба колебанія пропускаются въ одинаковой степеніи. Оба луча, выходящіе изъ шпата, поляризованы, и направленія ихъ колебаній перпендикулярны другъ къ другу. Если же лучъ свѣта былъ уже раньше поляризованъ путемъ отраженія, то изъ шпата выйдетъ только одинъ лучъ, тотъ, направленіе колебаній котораго совпадаетъ съ направленіемъ колебаній поля-

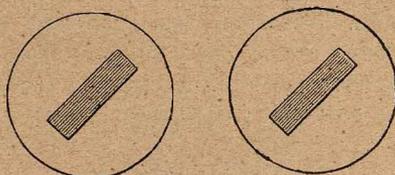
<sup>1)</sup> Этотъ превосходный законъ выражаютъ обыкновенно такъ: *показатель преломленія какой-нибудь среды есть тангенсъ ея угла поляризаціи*. Пользуясь этимъ закономъ и приборомъ, изображеннымъ на фиг. 4, мы легко можемъ опредѣлить показатель преломленія какой-нибудь жидкости. Такъ какъ и отраженный и преломленный лучи можно видѣть, то легко направить ихъ перпендикулярно другъ къ другу; итакъ можно опредѣлить уголъ поляризаціи съ величайшею точностію. Затѣмъ надо только найти его тангенсъ, и мы получимъ показатель преломленія.

ризованнаго луча. При этихъ условіяхъ, конечно, можно получить только одно изображеніе.

Послѣдовательность явленій, которую вы замѣчаете въ нашихъ опытахъ, есть только выраженіе закономерности и послѣдовательности природы. На экранѣ передъ вами два изображенія кружка, полученные при помощи исландскаго шпата. Это, какъ вы знаете, оба изображенія отверстія, черезъ которое выходитъ свѣтъ изъ камеры. Если передъ отверстиемъ помѣстить турмалинъ, то мы также получимъ два изображенія. Но обсудимъ лучше заранѣе, что долженъ показать нашъ опытъ. Свѣтъ, выхо-



Фиг. 29.

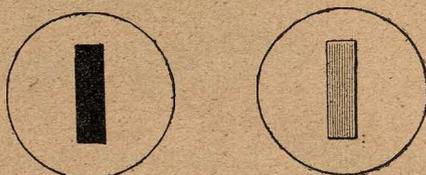


Фиг. 30.

дящій изъ турмалина, поляризованъ. Поставимъ кристаллъ такъ, чтобы ось его была горизонтальна, колебанія пропущеннаго имъ свѣта будутъ также горизонтальны. Но исландскій шпатель, какъ мы уже говорили, допускаетъ два направленія колебанія; одно изъ нихъ въ настоящее время вертикально, а другое — горизонтально. Что же изъ этого слѣдуетъ? Что будетъ пропущенъ зеленый свѣтъ, направленіе колебаній котораго параллельно оси турмалина, а вертикальныя колебанія, перпендикулярныя къ ней, пропущены не будутъ. Изъ этого можно заключить, что одно изображеніе турмалина будетъ обычнаго зеленаго цвѣта, другое — чернаго. Наше заключеніе вполне подтверждается опытомъ (фиг. 29).

Поведемъ наши изслѣдованія далѣе. При помощи безконечнаго винта мы имѣемъ возможность вращать кристаллъ на  $90^\circ$ . При вращеніи черное изображеніе дѣлается понемногу свѣтлѣе, а свѣтлое — темнѣе.

Послѣ поворота на  $45^\circ$  оба изображенія дѣлаются одинаковыми (фиг. 30). При поворотѣ на  $90^\circ$  оси кристалла становятся вертикальны, а свѣтлое и черное изображенія какъ бы перемѣнились мѣстами (фиг. 31), совершенно такъ, какъ мы и должны были предполагать заранѣе.

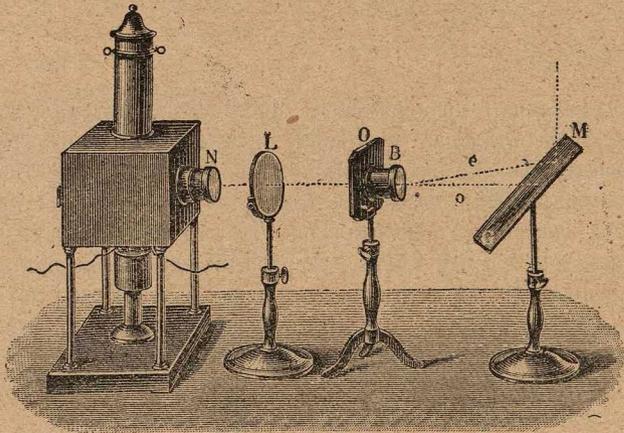


Фиг. 31.

Помня то, что уже говорилось относительно отраженія поляризованнаго свѣта при прохожденіи черезъ турмалинъ, вы легко можете предвидѣть, что произойдетъ, если оба луча, выходящіе изъ шпатовой призмы, упадутъ подъ угломъ поляризаціи на стеклянную пластинку. Я пропускаю лучи черезъ воздухъ, улавливаю ихъ на стеклянную пластинку и пытаюсь отразить ихъ кверху. Если уголъ паденія равенъ углу поляризаціи, то отразится только одинъ лучъ. Который же изъ двухъ отразится? Конечно, вы скажете, что тотъ, колебанія котораго горизонтальны (фиг. 32). Теперь я поверну стеклянную пластинку и попытаюсь отразить оба луча въ стороны. Отразится только одинъ лучъ, тотъ, колебанія котораго вер-

тигальны (фиг. 33). Ясно, что какъ при помощи турмалина, такъ и при помощи отражающей стеклянной пластинки, можно тотчасъ же опредѣлить направлѣніе колебаній какого-нибудь поляризованнаго луча.

Какъ мы уже говорили, отраженіе отъ стеклянной пластинки поляризуетъ весь лучъ, если его уголъ паденія равнялся углу поляризаціи. Остается добавить нѣсколько словъ о той части луча, которая прошла черезъ стекло. Въ пропущенныхъ лучахъ столько же поляризованнаго свѣта, сколько и въ отраженныхъ, но этотъ поляризованный свѣтъ составляетъ лишь часть пропущеннаго. Поставивъ двѣ стекляныя пластинки вмѣсто одной, мы увеличимъ количество пропущеннаго поляризованнаго свѣта. Поставивъ еще нѣсколько пластинокъ, мы можемъ настолько увеличить это количество, что пропущенный свѣтъ можно весь считать поляризованнымъ. Стекляныя стѣнки дѣйствительно часто примѣняются для полученія поляризованнаго свѣта. Важно обратить вниманіе на то,

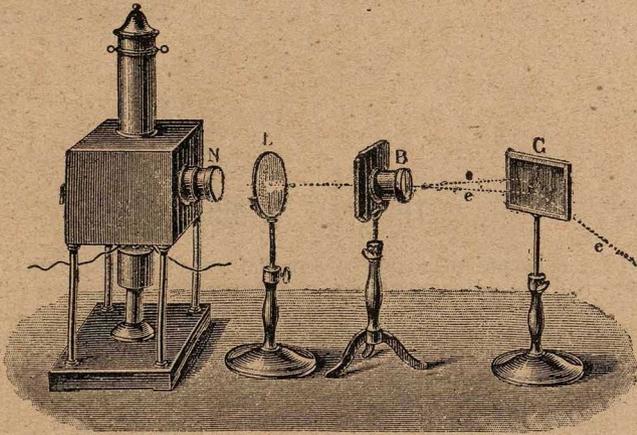


Фиг. 32.

что плоскость колебанія пропущеннаго поляризованнаго свѣта перпендикулярна къ плоскости колебанія отраженнаго.

Еще одно слово. Если пластинки турмалина перекрещиваются, о мѣсто, въ которомъ онѣ покрываютъ другъ друга, оказывается чернымъ. Но мы уже видѣли, что достаточно малѣйшаго наклоненія кристалловъ другъ къ другу, и свѣтъ пройдетъ черезъ обѣ. Поставимъ теперь между обѣими пластинками еще третью, но такъ, что ось ея будетъ наклонена подъ острымъ угломъ къ оси первыхъ двухъ. Часть лучей, прошедшихъ черезъ первую пластинку, пройдетъ и черезъ вторую. Но разъ эти лучи прошли черезъ нее, плоскость ихъ колебанія измѣнила направлѣніе: она не будетъ ужъ теперь перпендикулярна къ оси третьей кристалла, слѣдовательно, свѣтъ пройдетъ черезъ нее. Итакъ, на основаніи однихъ только разсужденій, мы говоримъ, что третья пластинка, помѣщенная между первыми двумя, уменьшитъ вызванную имъ темноту. У меня нѣтъ третьей пластинки турмалина; но я могу воспользоваться пластинкой слюды, какія примѣняются у васъ въ печахъ, она произведетъ такое же дѣйствіе. Между этими двумя перекрещивающимися подъ прямымъ угломъ пластинками я ввожу пластинку слюды такъ, чтобы ея ось была нахло-

нена подь острымъ угломъ къ оси турмалиновыхъ пластинокъ. Вы видите, что, по мѣрѣ того, какъ я продвигаю слюду, черное пятно понемногу уменьшается и, наконецъ, его мѣсто дѣлается свѣтлымъ. Кажется, будто темнота снята, какъ нѣчто матеріальное. Это явленіе, какъ это вполне



Фиг. 33.

естественно, неправильно назвали *деполяризацией*. Его истинное значеніе мы разберемъ въ слѣдующей лекціи.

Если тщательно изучить и понять эти теоріи и опыты, то у насъ будетъ прочное основаніе для блестящихъ оптическихъ явленій, къ разсмотрѣнію которыхъ мы приступимъ въ слѣдующей лекціи.

## ЧЕТВЕРТАЯ ЛЕКЦІЯ.

Явленія цвѣтной окраски въ поляризованномъ свѣтѣ, вызываемыя кристаллами.—Призма Николя.—Поляризаторъ и анализаторъ.—Дѣйствіе толстыхъ и тонкихъ гипсовыхъ пластинокъ.—Зависимость цвѣта отъ толщины пластинки.—Разложеніе поляризованнаго луча гипсомъ на двѣ части.—Разница ихъ скоростей.—Сложеніе вновь обѣихъ системъ волнъ анализаторомъ.—Возникновеніе возможности интерференціи.—Соотвѣтствующіе цвѣта.—Дѣйствіе механически сжатыхъ и расширенныхъ тѣлъ.—Дѣйствіе звуковыхъ колебаній.—Дѣйствіе сжатого и расширеннаго нагрѣваніемъ стекла.—Круговая поляризація.—Цвѣтовые явленія, вызываемыя кварцемъ.—Вліяніе на свѣтъ магнетизма.—Круги вокругъ оси кристалловъ.—Одноосные и двуосные кристаллы.—Теорія волнового колебанія.—Цвѣтъ и поляризація неба.—Искусственное получение неба.

### 1. Дѣйствіе кристалловъ на поляризованный свѣтъ: призма Николя.

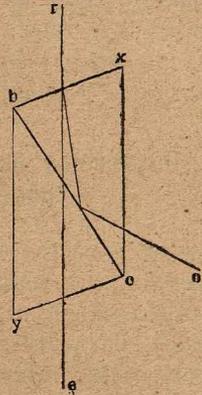
Сегодня намъ предстоитъ показать и изслѣдовать явленія цвѣтной окраски, вызванныя дѣйствіемъ кристалловъ,—или вообще двупреломляющихъ тѣлъ на поляризованный свѣтъ, а затѣмъ примѣнить къ ихъ объясненію теорію волнообразнаго колебанія. Изслѣдователямъ долго приходилось примѣнять одні турмалиновыя пластинки, но несмотря на такой недостатокъ вспомогательныхъ средствъ, результаты, полученные ими, были поразительны. Но эти ученые вкладывали въ свое дѣло всю душу,—поэтому они и сумѣли достигнуть такихъ результатовъ съ небольшими средствами. Намъ для нашихъ цѣлей нужно гораздо больше приспособлений, — но, къ счастью, въ послѣднее время эту потребность не трудно удовлетворить. Мы видѣли и изслѣдовали оба луча, выходящіе изъ исландскаго шпата; намъ удалось доказать, что они поляризованы. Если бы, пожертвовавъ половиною свѣта, мы могли уничтожить одинъ изъ этихъ лучей, то другой далъ бы намъ поляризованный свѣтъ гораздо болѣе интенсивный, чѣмъ получаемый при помощи турмалина.

Какъ вы уже знаете, лучи преломляются различно; поэтому, на основаніи § 4 первой лекціи,—мы можемъ думать, что одинъ изъ нихъ можетъ при извѣстныхъ обстоятельствахъ претерпѣть полное отраженіе, а другой итѣтъ. Одинъ ловкій оптикъ, Николь, разрѣзалъ исландскій шпатель въ извѣстномъ направленіи на двѣ половины. Оптировалъ поверхность разрѣза, онъ склеилъ ихъ канадскимъ бальзамомъ; эта поверхность была такъ наклонена къ проходящему лучу, что обыкновенный лучъ, — какъ разъ преломленный сильнѣе, — вполнѣ отражался отъ поверхности бальзама, а необыкновенный проходилъ безпрепятственно.

Пусть  $bx$ ,  $cy$  (фиг. 34) изображаетъ ромбическое сѣченіе параллелепипеда, вырѣзаннаго изъ исландскаго шпата. Пусть онъ былъ разрѣзанъ по направленію  $bc$ , поверхности раздѣла были отполированы и затѣмъ склеены канадскимъ бальзамомъ. На первой нашей лекціи мы узнали, что полное отраженіе наступаетъ только тогда, когда лучъ стремится перейти изъ сильнѣе преломляющей среды въ преломляющую слабѣе, и при этихъ условіяхъ оно неизбежно, если только уголъ паденія достаточно великъ.

Но для шпата показатель преломленія необыкновеннаго луча меньше, а обыкновеннаго больше, чѣмъ для канадскаго бальзама. Идя отъ шпата къ бальзаму, необыкновенный лучъ переходитъ изъ менѣ преломляющей среды въ болѣе преломляющую, — при этихъ условіяхъ полного отраженія быть не можетъ. Обыкновенный же лучъ проходитъ изъ сильнѣе преломляющей среды въ менѣ преломляющую, — полное отраженіе можетъ произойти. Желательной величины угла паденія достигаютъ удлинная ромбъ настолько, что плоскость, сѣченіе которой изображается линіей  $bc$ , почти перпендикулярна къ поверхностямъ  $bx$ ,  $cy$ .

Изобрѣтеніе призмы Николя было большимъ шагомъ впередъ для практической оптики. Позднѣе были сдѣланы призмы такой величины и такой чистоты, что теперь и такой аудиторіи, какъ эта, можно показать цвѣтныя явленія поляризованнаго свѣта такъ, какъ еще недавно это было совершенно невозможно сдѣлать.



Фиг. 34.

## 2. Цвѣта гипсовыхъ пластинокъ въ поляризованномъ свѣтѣ.

(Тѣ двѣ призмы, которыми я пользуюсь при этихъ опытахъ, далъ мнѣ мой покойный другъ г. Вильямъ Споттисвудъ; онѣ были отшлифованы однимъ очень хорошимъ оптикомъ, г. Аренсомъ).

Эти двѣ призмы Николя играютъ такую же роль, какъ и обѣ пластинки турмалина. Если онѣ поставлены такъ, что направленія ихъ колебаній параллельны, то онѣ обѣ пропускаютъ свѣтъ, если они перекрещиваются подъ прямымъ угломъ, свѣтъ погашается. Если ввести между призмами пластинку слюды, свѣтъ, — такъ же какъ и при пластинкахъ турмалина, — снова появляется. Но вы можете видѣть, что, если пластинка слюды тонка, то часто не только появляется свѣтъ, но онъ оказывается еще окрашеннымъ. Наша ближайшая задача и заключается въ изученіи этой окраски. Для примѣра я воспользуюсь кристаллизованнымъ гипсомъ или селенитомъ, — минераломъ, особенно удобнымъ для нашихъ цѣлей, благодаря его легкой расщепляемости; по составу онъ представляетъ собою сернокислый кальцій.

Между обѣими скрещивающимися призмами Николя я вставляю толстую пластинку селенита; какъ и слюда, она возстановитъ свѣтъ, но не дастъ окраски. При помощи перочиннаго ножа я отщепляю тонкую пластинку гипса; помѣстивъ ее между призмами, я вижу, что она блеститъ самыми яркими цвѣтами. Начнемъ вращать переднюю призму, — цвѣта начинаютъ блѣднѣть и наконецъ, исчезаютъ совсѣмъ. Поворачиваемъ ее далѣе, пока плоскости ко-

лебанія обѣихъ призмъ не окажутся параллельны—вновь появятся яркіе цвѣта, но на этотъ разъ они оказываются дополнительными относительно прежнихъ цвѣтовъ.

Одни мѣста пластинки окрашены однимъ цвѣтомъ, другія—другимъ. Это происходитъ отъ разницы въ толщинѣ пластинки. Какъ и въ тонкихъ пластинкахъ Гука, если толщина одинакова, то одинакова и окраска. Вотъ здѣсь имѣется звѣзда, лучи которой представляютъ собою гипсовыя пластинки одинаковой толщины,—и всѣ лучи, какъ вы видите, имѣютъ одинаковую яркую окраску. Сдѣлавъ изъ гипсовыхъ пластинокъ цвѣты или какіе нибудь другіе предметы, мы легко можемъ заставить ихъ блистать такими яркими и разнообразными красками какъ это не могъ бы сдѣлать ни одинъ живописецъ. Вотъ, напримѣръ, цвѣтокъ, который называютъ «Анютины глазки», прекрасную игру цвѣтовъ его, можно ручаться, не могъ бы воспроизвести ни одинъ художникъ. Вращая переднюю призму Николая на  $90^\circ$ , мы черезъ безцвѣтную фазу переходимъ къ ряду цвѣтовъ, дополнительныхъ къ первымъ. Эту переменную цвѣтовъ можно еще лучше прослѣдить на розовый вѣткѣ, имѣющей въ данный моментъ свою естественную окраску! Самая роза краснаго цвѣта, а листья—зеленаго. Повернемъ призму на  $90^\circ$ —цвѣтокъ окажется зеленымъ а листья—красными. Всѣ эти поразительныя цвѣтовые явленія опредѣляются механическими законами колебанія эфира. Правильное толкованіе и примѣненіе законовъ интерференціи должны объяснять ихъ.

### 3. Объясненіе окраски кристалловъ въ поляризованномъ свѣтѣ при помощи теоріи волнообразнаго колебанія.

Вы теперь уже понимаете, что слово «свѣтъ» можетъ имѣть два значенія: оно можетъ означать впечатлѣніе, вызываемое свѣтомъ въ нашемъ сознаніи, и можетъ означать физическія причины свѣтовыхъ впечатлѣній. Вотъ этими то причинами намъ и предстоитъ теперь заниматься. Свѣтоносный эфиръ представляетъ собою субстанцію, заполняющую все пространство, окружающую всѣ атомы и частицы тѣлъ. Этой средѣ, заполняющей пространство и между звѣздами, и между атомами, приписываютъ опредѣленные механическія свойства, и во всѣхъ нашихъ разсужденіяхъ и расчетахъ мы принимаемъ ее за тѣло, дѣйствительно обладающее ими.

Въ механикѣ мы занимаемся сложениемъ и разложениемъ силъ и движеній, и это сложение и разложение распространялось также и на колебанія. Разсматривая движенія свѣтоноснаго эфира съ точки зрѣнія механическихъ законовъ, мы изъ сложения и разложения колебаній выводимъ всѣ явленія, обнаруживаемыя кристаллами въ поляризованномъ свѣтѣ.

Возьмемъ для начала столь знакомый намъ уже турмалинь, пусть колебаніе проходитъ черезъ кристаллъ, наклонно къ его оси. Какъ мы уже знаемъ изъ опыта, часть свѣта пройдетъ черезъ него. Количество прошедшаго свѣта мы можемъ опредѣлить слѣдующимъ образомъ: пусть  $AB$  (фиг. 35) представляетъ собой ось турмалина,  $ab$ —амплитуду наклоннаго колебанія эфира, раньше чѣмъ оно достигнетъ  $AB$ . Изъ  $a$  и  $b$  опустимъ на ось два перпендикуляра  $ac$  и  $bd$ ; тогда  $cd$  будетъ амплитудой пропущеннаго колебанія.

Теперь я постараюсь объяснить вамъ явленія, вызываемыя пластинкой гипса, помѣщенной между двумя призмами Николя.

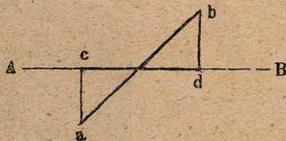
Но было бы очень желательно объяснить предварительно аналогію между дѣйствіемъ призмъ и дѣйствіемъ пластинокъ турмалина. Вотъ передъ вами увеличенное изображеніе этихъ пластинокъ съ перпендикулярными другъ къ другу осями. Вставляемъ между ними пластинку селенита и вращаемъ ее; вы видите, что для нея возможно такое положеніе, когда она не можетъ уничтожить темноты того мѣста, гдѣ пластинки покрываютъ другъ друга. Почему это?—Въ гипсѣ есть два параллельныхъ другъ къ другу направленія, и только параллельныя имъ колебанія могутъ вступить въ кристаллъ; въ настоящемъ опытѣ одно изъ этихъ направленій параллельно оси одной пластинки турмалина, другое—другой. При этихъ условіяхъ пластинка не оказываетъ замѣтнаго дѣйствія на свѣтъ. Но теперь повернемъ пластинку такъ, что эти два направленія будутъ составлять острый уголъ съ осями турмалина; тогда она оказываетъ свое дѣйствіе,—вы видите, часть свѣта возстановилась.

Поставимъ теперь призмы Николя,—тоже подъ прямымъ угломъ, какъ и турмалинъ. Введемъ между ними гипсовую пластинку; вы видите, что только въ одномъ положеніи она не оказываетъ то никакого вліянія на поле зрѣнія. Но стоитъ только повернуть ее немного, и свѣтъ проходитъ. Намъ предстоитъ теперь изучить механизмъ, вызывающій явленія.

Прежде всего мы имѣемъ призму, на которую падаетъ свѣтъ электрической лампы,—она называется *поляризаторомъ*. Затѣмъ у насъ есть гипсовая пластинка (она должна находиться въ *s*, фиг. 36), и впереди вторая призма, называемая *анализаторомъ*. По выходѣ изъ первой призмы свѣтъ оказывается поляризованнымъ, и, въ частности, въ настоящемъ случаѣ его колебанія происходятъ въ горизонтальной плоскости. Намъ предстоитъ изслѣдовать, что произойдетъ, если оба направленія колебанія гипса наклонны къ горизонту. Проведемъ двѣ перпендикулярныя линіи (AB и CD, фиг. 37), изображающія эти направленія, затѣмъ проведемъ линію ab, изображающую амплитуду горизонтальнаго колебанія по выходѣ свѣта изъ первой призмы. Изъ каждаго конца ab опустимъ по два перпендикуляра (ac, at; bd, be) на AB и CD. Разстоянія (cd, ef) между основаниями этихъ перпендикуляровъ представляютъ собою амплитуды двухъ взаимно перпендикулярныхъ колебаній, являющихся *слагаемыми* перваго, простого колебанія.

Такимъ образомъ, поляризованный лучъ, вступая въ гипсовую пластинку, разлагается на двѣ равныя части съ перпендикулярными другъ къ другу колебаніями.

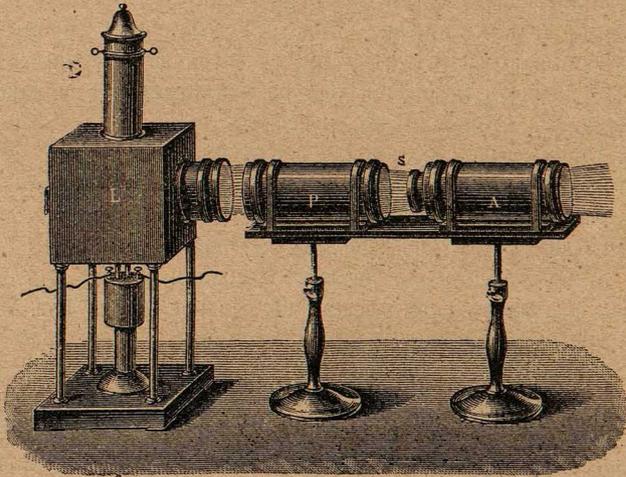
Колебанія эфира въ одномъ изъ двухъ взаимно перпендикулярныхъ направленій распространяются съ меньшею скоростью, чѣмъ въ другомъ; поэтому волны въ этомъ направленіи отстаютъ отъ другихъ. Обѣ системы волнъ въ гипсѣ укорачиваются, но одна система укорачивается больше, чѣмъ другая. Вы легко представляете себѣ, что при этихъ условіяхъ одна система волнъ можетъ опередить другую на длину полуволны или на длину любого числа полуволнъ. Тотчасъ же является мысль о возможности ин-



Фиг. 35.

терференціи. Но послѣ небольшого размысленія оказывается, что пока колебанія перпендикулярны другъ къ другу, они не могутъ погашать другъ друга, насколько бы одна система волнъ не опережала другую. Теперь сразу дѣлается понятною роль анализатора: его единственное назначеніе—это сложить оба колебанія, вышедшія изъ гипса. Онъ приводитъ колебанія къ одной плоскости, и если дѣйствительно произошло достаточное опереженіе одной системы другою, колебанія могутъ совершенно погасить другъ друга.

Но здѣсь,—какъ и при тонкихъ пластинкахъ,—выступаетъ на сцену разница длинъ свѣтовыхъ волнъ. Для краснаго свѣта,—чтобы задержать его на столько, насколько это нужно для его погашенія,—нужна пластинка толще, чѣмъ для голубого. Когда волны большей длины погашаются интерференціей, короткія волны остаются, и гипсовая пластинка свѣтится соответствующимъ имъ цвѣтомъ. Если, наоборотъ, короткія волны погашаются, то толщина пластинокъ должна быть такова, что остались



Фиг. 36.

волны подлиннѣе. Простого разсужденія достаточно, чтобы показать, что при углѣ въ  $45^\circ$  между осью пластинки и призмами цвѣта достигаютъ наибольшей яркости. Если вывести пластинку изъ этого положенія и начать вращать, то цвѣта понемногу блѣднѣютъ, когда же наконецъ, направленія колебаній, пластинки и призмъ окажутся параллельны,—они исчезнутъ совсѣмъ.

(Лучшій путь представить эти явленія понагляднѣе, это сдѣлать изъ тонкаго дерева или изъ картона модель, изображающую пластинку гипса, ея плоскости колебанія, а также и плоскости колебанія поляризатора и анализатора. Разстояніе между двумя картонными листами представляетъ собою толщину гипсовой пластинки. Два находящіяся между ними листа, пересѣкающіяся подъ прямымъ угломъ, соответствуютъ плоскостямъ колебанія гипса, а два другихъ листа, прикрѣпленные къ параллельнымъ поверхностямъ снаружи, соответствуютъ плоскостямъ колебанія поляризатора и анализатора. На внутреннихъ листахъ надо изобразить двѣ системы

волнъ, на которыя раздѣляется поляризованный лучъ, а затѣмъ систему въ одной плоскости, къ которой онѣ приводятся анализаторомъ. Если точно прослѣдить соотношенія между обѣими системами волнъ, то можно при помощи этой модели убѣдиться, что всѣ свѣтовые явленія, получающіяся отъ сложенія волнъ, при параллельномъ положеніи плоскости колебанія обѣихъ призмъ Николя, замѣняются тѣми же явленіями, но съ дополнительными цвѣтами, если плоскости колебанія призмъ будутъ перпендикулярны другъ къ другу).

Въ нашихъ дальнѣйшихъ изслѣдованіяхъ мы будемъ для простоты пользоваться монохроматичнымъ свѣтомъ, напримѣръ, краснымъ свѣтомъ, который легко получить достаточно чистымъ при помощи красного стекла. Предположимъ, что гипсовая пластинка извѣстной толщины вызываетъ запозданіе на длину одной полуволны; пластинка вдвое толще вызоветъ запозданіе на длину двухъ полуволнъ, втрое толще—на длину трехъ полуволнъ и т. д. При параллельномъ положеніи плоскостей колебанія призмъ запозданіе на длину одной полуволны—или, вообще *нечетнаго* числа полуволнъ,—вызоветъ полное погашеніе. Но при всякой толщинѣ пластинки, вызывающей запозданіе на четное число полуволнъ, колебанія будутъ поддерживать другъ друга, когда анализаторъ приведетъ ихъ къ одной плоскости.

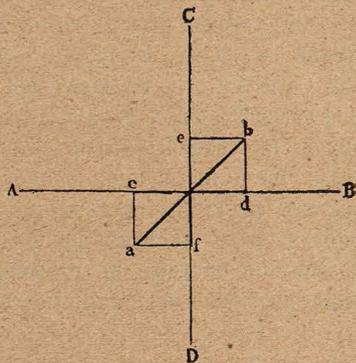
Возьмемъ теперь клинообразную пластинку, которая постепенно утолщается отъ одного конца къ другому; мы должны ожидать, что получится рядъ красныхъ полосъ,—яркихъ и тусклыхъ. Тусклые полосы соотвѣтствуютъ толщинѣ, вызывающей запозданіе на длину одной, трехъ, пяти и т. д. полуволнъ; яркія помѣщаются между ними. Опытъ показываетъ, что при клинообразной пластинкѣ дѣйствительно появляются эти полосы.

Особенно красивы эти полосы при круглой пластинкѣ, выточенной такъ, что центръ ея самый тонкій, а къ краямъ она постепенно утолщается: получаются прекрасныя яркія и темныя кольца.

Если мы воспользуемся не краснымъ свѣтомъ, а голубымъ, то и тогда получимъ рядъ колецъ; но они получаются въ болѣе тонкихъ частяхъ пластинки,—поэтому и величина ихъ меньше. Теперь можно сказать заранѣе, что окажется при бѣломъ свѣтѣ: такъ какъ красныя и голубыя кольца не совпадаютъ, то при бѣломъ свѣтѣ, очевидно, получится радужная окраска.

Нѣкоторыя изъ такихъ цвѣтныхъ окрасокъ необычайно красивы. Если бы я могъ ввести между обѣими призмами стеклянную пластинку съ ледяными цвѣтами, — а они такъ часто образуются при нашей холодной погодѣ, то получилась бы прекрасная разнообразная окраска. Вотъ передъ вами красивая окраска неправильно наслоенныхъ кристалловъ виннокаменной кислоты и другихъ веществъ,—теперь вы видите, или вы можете ожидать отъ замерзшей стеклянной пластинки.

Но не одни только кристаллическія тѣла дѣйствуютъ такъ на свѣтѣ,—



Фиг. 37.

нѣтъ, это свойственно всёмъ тѣламъ, имѣющимъ опредѣленное строеніе. По общему закону, всё органическія тѣла обладаютъ способностью дѣйствовать такъ на свѣтъ; ихъ строеніемъ обуславливается такое расположеніе частицъ и связаннаго съ ними эфира, что на нихъ неизбежно двойное лучепреломленіе. Роговая пластинка, напримѣръ, или обломокъ раковины даютъ въ поляризованномъ свѣтѣ прекрасную окраску. Въ деревѣ эфиръ несомнѣнно обладаетъ различною степенью упругости вдоль и поперекъ волоконъ; будь дерево прозрачно, эта особенность его строенія навѣрное проявилась бы въ свѣтовыхъ явленіяхъ, подобныхъ тѣмъ, которыя вы видѣли.

#### 4. Окраска, вызываемая натяженіемъ или давленіемъ.

Не только естественныя тѣла дѣйствуютъ подобнымъ образомъ, но, какъ показали Брюстеръ, можно при помощи искусственнаго растяженія и сжатія сдѣлать на время двупреломляющими и некристаллическія тѣла,—обыкновенное стекло.

Объ этомъ стоитъ поговорить подробнѣе. Если я положу на колѣни деревянную палку и начну ломать ее,—въ какомъ состояніи окажется она? Согнется, и на выпуклой сторонѣ она растянется, а на вогнутой, прилегающей къ колѣнямъ, сжата. Въ обѣихъ частяхъ,—и въ растянутой, и въ сжатой,—эфиръ приводится въ такое состояніе, что если бы дерево было прозрачно, оно оказалось бы двоякопреломляющимъ. Въ подобныхъ случаяхъ растяженіе по длинѣ всегда сопровождается боковымъ приближеніемъ частицъ другъ къ другу, а сжатіе по длинѣ вызываетъ раздвиженіе частицъ въ стороны. Въ каждой части палки обнаруживается такая противоположность, поэтому она и оказывается двупреломляющею.

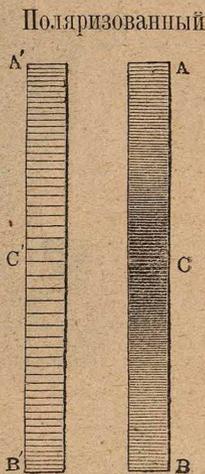
Повторимъ теперь этотъ опытъ съ стекляною палочкой. Я ввожу ее между двумя призмами Николя. Благодаря небольшому остатку свѣта вы видите на экранѣ ея изображеніе, но она не дѣйствуетъ на свѣтъ. При помощи указательнаго и большого пальца я сгибаю стеклянную палочку, держа ее подъ острымъ угломъ къ плоскости колебанія призмъ: на экранѣ тотчасъ же появляется свѣтъ. Обѣ стороны палочки ярко освѣщены; всего ярче освѣщены края,—они сильнѣе сжаты и растянуты. Переходя отъ растянутой стороны къ сжатой, мы переходимъ часть палочки, гдѣ нѣтъ ни сжатія, ни растяженія. Эта часть называется нейтральною осью палочки; вдоль нея вы видите темную линію, указывающую на то, что стекло по этой оси не дѣйствуетъ на свѣтъ. Если вмѣсто давленія моихъ пальцевъ примѣнить тиски или прессъ, то цвѣта будутъ гораздо ярче.

Вотъ тутъ у меня квадратная стеклянная пластинка, которую можно вставить въ прессъ иного рода. Вводимъ ее между призмами свободно не сжимаемъ: тотчасъ видно, что она «нейтральна». Но едва ли возможно держать ее въ прессѣ настолько свободно, чтобы дѣйствіе ея на свѣтъ не проявилось. Хотя давленіе крайне незначительно, но вы уже видите свѣтлыя пятна въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ прессъ касается пластинки. Стоитъ немного повернуть винтъ, и на экранѣ тотчасъ же заблеститъ изображеніе пластинки. Мы видимъ свѣтлыя пятна, отдѣленные другъ отъ друга темными полосами.

Каждая пара сосѣднихъ свѣтлыхъ пятенъ обуславливается противоположными механическими условіями. По одну сторону темной линіи мы имѣемъ растяженіе, по другую—сжатіе; сама темная линія соотвѣтствуетъ нейтральной оси между ними. Я завинчиваю теперь винты: вы видите различные цвѣта; завинчиваю ихъ еще сильнѣе,—и цвѣта оказываются такъ же ярки и разнообразны, какъ и при кристаллахъ. Отпустимъ немного винты,—цвѣта начинаютъ блѣднѣть; отпустимъ ихъ совсѣмъ,—и цвѣта исчезаютъ.

По цвѣту мыльныхъ пузырей Ньютонъ дѣлалъ заключенія объ ихъ толщинѣ, соединяя такимъ образомъ въ ассоціаціи идей совершенно, по-видимому, несомвѣстимыя вещи. По тѣмъ краскамъ, которыя вы здѣсь видите, можно судить о силѣ давленія на пластинку. И въ самомъ дѣлѣ, Вертгеймъ въ Парижѣ изобрѣлъ инструментъ для опредѣленія расширенія и сжатія по окраскѣ въ поляризованномъ свѣтѣ, и его инструментъ по точности значительно превосходитъ всѣ прежніе.

Теперь мы скоро уже закончимъ эти изслѣдованія. Поляризованный свѣтъ можно различнымъ образомъ примѣнять для опредѣленія молекулярнаго строенія тѣлъ. Его можно примѣнять, напримѣръ, для опредѣленія состоянія твердыхъ тѣлъ, издающихъ звуки. Я держу посрединѣ указательнымъ и большимъ пальцемъ стеклянный стержень въ 6 футовъ длины, въ 2 дюйма ширины и въ четверть дюйма толщины. Если провести мокрой шерстяной тряпкой по одной половинѣ стержня, вы услышите рѣзкій звукъ,—онъ вызывается колебаніями стекла. Въ какомъ состояніи находится стекло въ то время, какъ оно издаетъ этотъ звукъ? Обѣ половины стержня быстро попеременно то удлинняются, то укорачиваются; ихъ оба конца, поэтому находятся въ состояніи быстрого колебанія; а въ серединѣ обѣ половины попеременно то приближаются, то удаляются другъ отъ друга. При этомъ противоположномъ дѣйствіи стекло посрединѣ остается безъ движенія; но зато потомъ попеременно раскидается, то растягивается. На фиг. 38 АВ изображаетъ прямоугольный стержень съ сжатымъ центромъ, А'В'—съ расширеннымъ. По концамъ стержня нѣтъ ни сжатія, ни растяженія.



Фиг. 38.

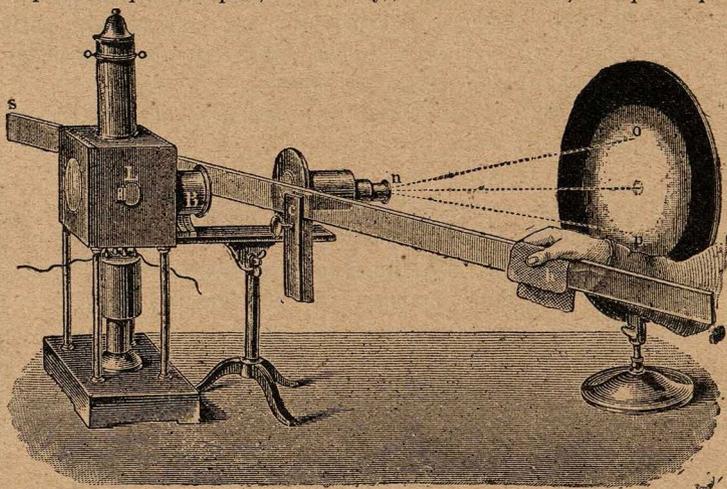
Если мы введемъ стеклянную полосу между двумя перекрещивающимися подъ прямымъ угломъ призмами Николя, помѣстимъ ее наклонно къ плоскости колебанія призмъ и проведемъ по ней мокрой тряпкой, то произойдетъ слѣдующее: въ каждый моментъ сжатія будетъ блестѣть свѣтъ; въ каждый моментъ растяженія—тоже. Эти состоянія сжатія и растяженія будутъ такъ быстро слѣдовать другъ за другомъ, что слѣдуетъ ожидать, чтобы нашъ глазъ получилъ впечатлѣніе постоянного свѣта. И такъ, путемъ однихъ только разсужденій мы приходимъ къ заключенію, что свѣтъ долженъ возстановляться каждый разъ, какъ стекло издаетъ звукъ.

Что это дѣйствительно такъ, доказалъ опытъ: при каждомъ движеніи тряпки (h, фиг. 39) на экранѣ появляется красивый блестящій кругъ (o). Этотъ опытъ можно еще измѣнить слѣдующимъ образомъ: если мы поставимъ передъ поляри-

заторомъ пластинку неотожженного стекла, то мы получимъ рядъ прекрасныхъ цвѣтныхъ колецъ, пересѣаемыхъ чернымъ крестомъ. Каждое движеніе тряпки не только уничтожаетъ эти кольца, но вводитъ кольца дополнительныхъ цвѣтовъ, а на мѣстѣ черного креста оказывается въ этотъ моментъ бѣлый. Это представляетъ собою видоизмѣненіе одного превосходнаго опыта Біо; но его аппаратъ позволялъ дѣлать наблюденія лишь одному лицу.

### 5. Цвѣта неотожженного стекла.

Всѣ тѣла расширяются отъ нагрѣванія и сжимаются отъ охлажденія. Если нагрѣваніе равномерное, то не будетъ ни сжатія, ни расширенія от-

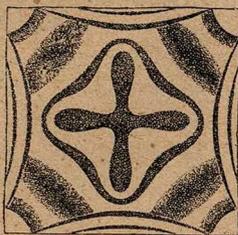


Фиг. 39.

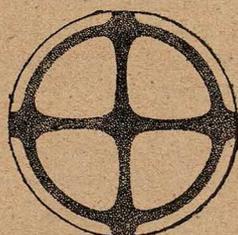
дѣльных мѣстъ. Но если одна часть твердаго тѣла нагрѣта, а другая нѣтъ, то расширеніе отъ нагрѣванія должно вызвать сжатія и растяженія, которыя обнаружатся при испытаніи тѣла въ поляризованномъ свѣтѣ. Если ввести между призмами Николя пластинку обыкновеннаго оконнаго стекла, то вы увидите слабое изображеніе ея очертаній, но она не произведетъ никакого дѣйствія на поляризованный свѣтъ. Продержимъ ее одинъ моментъ надъ пламенемъ спиртовой лампы; если мы теперь снова введемъ ее между призмами, на экранѣ появится свѣтъ. Здѣсь, какъ и при дѣйствіи механическихъ причинъ, вы увидите свѣтлыя мѣста, соответствующія растяженію, отдѣленные темными нейтральными осями отъ соответствующихъ сжатію.

Попробуемъ теперь вводить теплоту симметричѣе. Вотъ небольшая квадратная стеклянная пластинка, продырявленная въ центрѣ; въ отверстіе вставленъ кусокъ мѣдной проволоки. Вставимъ пластинку между призмами, и начнемъ нагрѣвать проволоку. Благодаря теплопроводности, теплота начнетъ переходить на стекло, по которому она и будетъ распространяться отъ центра къ краямъ. Тотчасъ же мы увидимъ четыре блестящихъ ква-

драта и темный крестъ; въ сосѣдствѣ съ свѣтлыми, блестящими квадратами, онъ кажется все чернѣе и чернѣе. Какъ раннее давленіе вызывало окраску, такъ и здѣсь, примѣняя теплоту надлежащимъ образомъ, можно достигнуть замѣчательныхъ цвѣтовыхъ явленій. Чтобы имѣть на продолжи-



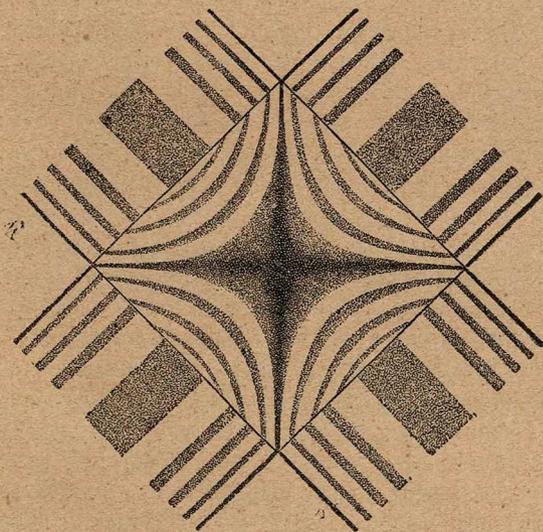
Фиг. 40.



Фиг. 41.

тельное время необходимыя для этого условія, достаточно сначала нагрѣть въ надлежащей степени стекло, а затѣмъ быстро охладить, такъ что охлажденная масса останется въ состояніи постояннаго сжатія и растяженія. Два или три примѣра разяснить это еще больше.

Фиг. 40 и 41 изображаютъ фигуры, полученныя при помощи при-



Фиг. 42.

готовленныхъ такимъ образомъ пластинокъ. Двѣ перекрещивающіяся прямоугольныя пластинки закаленнаго стекла, поставленныя между поляризаторомъ и анализаторомъ, вызываютъ прекрасныя радужныя линіи, изображенныя на фиг. 42.

## 6. Круговая поляризація.

Мы должны прослѣдить эфиръ и въ самыхъ сокровенныхъ мѣстахъ. Передъ вами виситъ маятникъ; если я отклоню его въ сторону и потомъ отпущу, то онъ начнетъ качаться взадъ и впередъ. Что произойдетъ, если въ тотъ моментъ, когда онъ находится въ вертикальномъ положеніи, я сообщу имъ толчекъ въ направленіи, перпендикулярномъ къ плоскости его колебанія?—Оба движенія сложатся въ одно колебаніе, направленіе котораго составляетъ острый уголъ съ направленіемъ прежняго колебанія; но результирующее колебаніе будетъ непременно происходить *въ одной плоскости*. Если же я сообщу маятнику толчекъ какъ разъ въ тотъ моментъ, когда онъ находится въ высшей точкѣ своего пути, тогда совмѣстное дѣйствіе обоихъ движеній заставитъ подвѣшенный шаръ описывать не прямую линію, а эллипсъ. Если бы второй толчекъ могъ самъ по себѣ вызвать колебаніе такой же амплитуды, какъ первое, то вмѣсто эллипса получился бы кругъ.

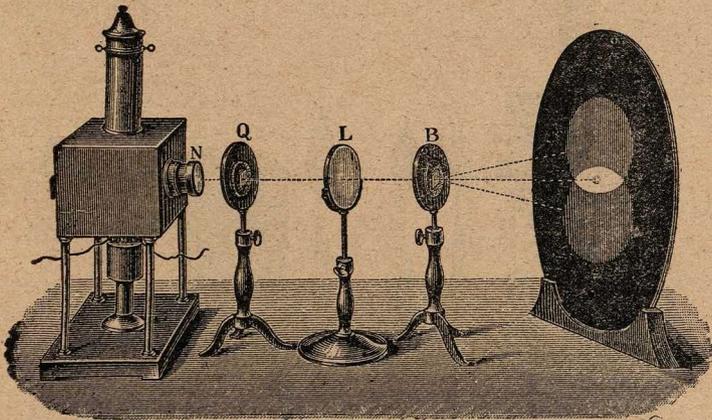
Для чего же я останавливаюсь такъ много на этомъ? Только для того, чтобы вы поняли аналогію между этими грубыми механическими колебаніями и колебаніями свѣта. Вотъ у меня въ рукѣ пластинка кварца, вырѣзанная изъ кристалла перпендикулярно къ его оси. Такая пластинка кварца обладаетъ замѣчательнымъ свойствомъ вращать плоскость колебанія поляризованнаго свѣта, причѣмъ уголъ вращенія зависитъ отъ толщины пластинки. Чѣмъ сильнѣе преломляется свѣтъ, тѣмъ больше уголъ вращенія плоскости поляризаціи; если пропускать черезъ пластинку бѣлый свѣтъ, то его составныя цвѣта располагаются вѣеромъ другъ подлѣ друга. Если мы вставимъ ее между поляризаторомъ и анализаторомъ, то появится яркая красная окраска; начнемъ вращать передній анализаторъ справа налѣво,—появятся все цвѣта спектра по порядку. Были найдены разновидности кварца, при которыхъ надо вращать анализаторъ слѣва направо, чтобы получить тѣ же цвѣта въ томъ же порядкѣ. Кристаллы первого рода называются правовращающими; второго рода—лѣвовращающими.

Френель, генію котораго мы обязаны распространеніемъ и окончательнымъ триумфомъ волновой теоріи свѣта, замѣчательно глубоко вникъ въ механическое строеніе этихъ кристалловъ; онъ показалъ, что въ нихъ взаимодействіе эфирныхъ волнъ вызываетъ тѣ же условія движенія, какъ и въ нашемъ маятникѣ. Въ этомъ горномъ кристаллѣ свѣтъ оказывается не плоско поляризованнымъ—онъ претерпѣваетъ круговую поляризацію. Два такихъ луча, пропущенные вдоль оси кристалла и вращающіеся въ противоположныхъ направленіяхъ, могутъ дать все тѣ явленія, которыя мы видимъ, если вызвать между ними при помощи анализатора интерференцію.

## 7. Дополнительные цвѣта двупреломляющаго шпата въ кругово-поляризованномъ свѣтѣ. Доказательство, что желтый и голубой—дополнительные цвѣта.

Отодвинемъ теперь анализаторъ и поставимъ на его мѣсто пластинку исландскаго шпата, двупреломляющія свойство котораго мы уже имѣли

случай видѣть. Передъ вами теперь два изображенія концевъ углей, полученныхъ благодаря двумъ пучкамъ лучей, колебанія которыхъ перпендикулярны другъ другу. Введемъ между поляризаторомъ и шпатою пластинку кварца: изображенія загорятся дополнительными цвѣтами. Воспользуемся вмѣсто углей изображеніемъ круглаго отверстія, мы получимъ два окрашенныхъ круга. Начнемъ вращать анализаторъ,—цвѣта будутъ мѣняться; но они всегда останутся дополнительными другъ къ другу. Если одинъ изъ нихъ красный, то другой—зеленый, если одинъ желтый, другой—голубой. Тутъ мы имѣемъ возможность доказать вновь то, что мы уже доказали въ нашей первой лекціи, именно, что смѣшеніе желтыхъ и голубыхъ пигментовъ даетъ зеленую окраску, а смѣшеніе желтаго и голубого свѣта—бѣлый свѣтъ. Начнемъ расширять наше отверстіе; оба изображенія, полученные при помощи шпата, приблизятся другъ къ другу и, наконецъ, станутъ покрывать другъ друга. Одно изображеніе теперь ярко-желтаго цвѣта, другое—ярко-голубого; вы видите, что гдѣ они налегаютъ другъ на друга, тамъ получается чистая бѣлая окраска. (См. фиг. 43, гдѣ *N*



Фиг. 43.

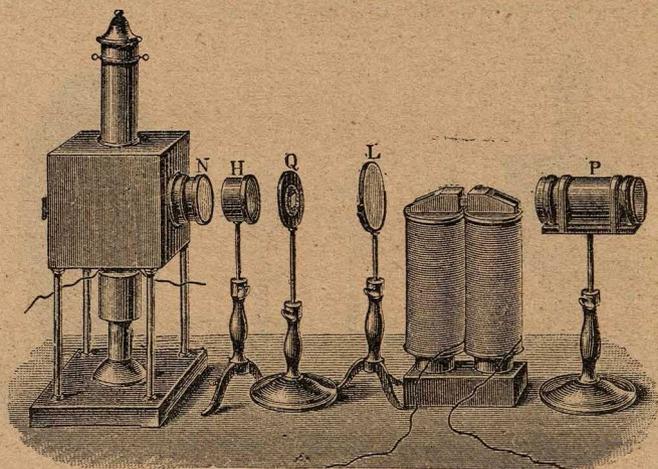
изображаетъ конецъ поляризатора, *Q*—кварцевую пластинку, *L*—линзу и *V*—двупреломляющій шпатель. Оба изображенія налагаютъ другъ на друга въ *O*,—ихъ смѣшеніе дѣлаетъ бѣлую окраску).

## 8. Магнетизація свѣта.

Здѣсь мы подходимъ къ такому вопросу, который рѣдко разсматриваютъ на лекціяхъ; но онъ, по моему, оказываетъ настолько важное вліяніе на наши научныя понятія, что я не желалъ бы обходить его молчаніемъ. Я говорю объ опытѣ, который Фарадэй, его изобрѣтатель, назвалъ «магнетизаціей свѣта». Вотъ передъ вами всѣ приспособленія для этого знаменитаго опыта. Прежде всего мы имѣемъ электрическую лампу, затѣмъ призму Николя,— для поляризаціи выходящаго изъ лампы свѣта; далѣе у насъ электромагнитъ, вторая призма Николя и, наконецъ, нашъ экранъ. Въ настоящій моментъ призмы пересѣкаются подъ прямымъ угломъ, и на экранѣ не видно свѣта. Вставимъ между полюсами электромагнита цилиндръ изъ стекла,

впервые приготовленнаго Фарадѣемъ, такъ называемаго Фарадѣева тяжелаго стекла. Черезъ него проходитъ лучъ поляризованнаго свѣта, прошедшій черезъ первый поляризаторъ. Стоитъ замкнуть токъ электромагнита, и на экранѣ немедленно появляется свѣтъ. Плоскость колебанія вращается, благодаря дѣйствию магнита на стекло, и лучи проходятъ черезъ анализаторъ.

Мы уже говорили о подраздѣленіи кварцевыхъ кристалловъ на два класса. Вотъ тутъ у меня составная пластинка; одна половина ея взята отъ право-вращающаго, другая — отъ лѣво-вращающаго кристалла. Поставимъ ее передъ поляризаторомъ и будемъ вращать призму Николя до тѣхъ поръ, пока обѣ половины пластинки не получаютъ пунцовой окраски. Это дастъ намъ весьма чувствительный способъ обнаружить дѣйствіе магнита на свѣтъ. Стоитъ повернуть поляризаторъ или анализаторъ на самый маленькій уголъ, однообразіе окраски тотчасъ же исчезаетъ: обѣ половинки кварца окрашены различною окраской. Магнитъ производитъ такое же дѣйствіе, какъ и вращеніе. Теперь передъ вами на экранѣ пунцовый кругъ. (См. фиг. 44, гдѣ



Фиг. 44.

*L* отверстіе лампы, *H* первая призма Николя, *Q* — пластинка изъ двухъ кристалловъ кварца, *L* — линза, *M* — электромагнитъ съ тяжелымъ стекломъ между обоими продырявленными полюсами и *P* — вторая призма Николя). Замкнемъ токъ электромагнита: одна половина изображенія пластинки сразу станетъ красною, другая — зеленою. Разомкнемъ токъ, и разница исчезаетъ: обѣ части опять окрашены пунцовой краской. Но сверхъ того это дѣйствіе на свѣтъ зависитъ отъ полярности магнита, или, иными словами, отъ направленія тока, окружающаго магнитъ. Если взять обратное направленіе тока, то красный и зеленый цвѣта появятся вновь, но они помѣнялись мѣстами. Прежде правая половина была красною, а лѣвая — зеленою; теперь правая половина зеленая, а лѣвая — красная. Фарадѣй особенно остроумно изслѣдовалъ всѣ эти явленія и установилъ ихъ законы. Этотъ опытъ долго оставался только научнымъ курьезомъ, но не былъ плодоноснымъ зерномъ. Но Фарадѣй былъ глубоко убѣжденъ, что онъ дастъ очень важныя результаты; новѣйшія изслѣдованія подтверждаютъ его убѣжденіе.

## 9. Цвѣтныя кольца, окружающія оси кристалловъ.

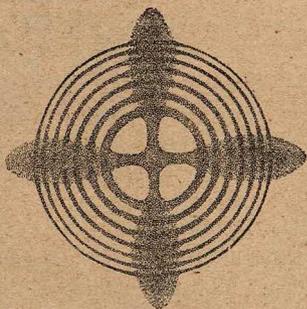
Достаточно добавить еще нѣсколько словъ, чтобы сдѣлать наши свѣдѣнія объ удивительномъ взаимодействіи между вѣсомыми частицами и разсѣяннымъ между ними эфиромъ совѣмъ полными.

Симметрия въ расположеніи частицъ тѣла обуславливаетъ симметрію въ расположеніи частицъ эфира. Асимметрия частицъ тѣла, съ своей стороны, требуетъ асимметріи въ расположеніи частицъ эфира и, вслѣдствіе этого, двойного лучепреломленія. Въ нѣкоторыхъ кристаллахъ строеніе однородно, и они не даютъ двойного лучепреломленія. Въ другихъ кристаллахъ частицы расположены симметрично вокругъ извѣстныхъ опредѣленныхъ линій. Параллельные этимъ линіямъ лучи не раздваиваются; лучи всѣхъ другихъ направленій претерпѣваютъ двойное лучепреломленіе. Ледъ представляетъ собою какъ разъ подходящий примѣръ: его частицы расположены вполне симметрично вокругъ перпендикуляровъ къ плоскостямъ замерзанія; лучи, проходящіе черезъ ледъ въ этомъ направленіи, не раздѣляются на двое, а по всѣмъ другимъ направленіямъ раздѣляются. Исландскій шпатъ представляетъ собою другой примѣръ того же рода: его частицы расположены симметрично вокругъ линіи, соединяющей тупые углы ромба. Лучи этого направленія не претерпѣваютъ двойного преломленія, а всѣ другія раздваиваются. Это направленіе, по которому лучи не раздваиваются, называется *оптической осью* кристалла.

Если изъ кристалла исландскаго шпата вырѣзать пластинку перпендикулярно къ его оси, то всѣ лучи, проходящіе черезъ нее параллельно оси, дадутъ лишь одно изображеніе. Но если мы отклонимъ немного направленіе лучей—тогда же появится двойное преломленіе.

Если пучекъ свѣта, прошедшій черезъ составную линзу и имѣющій поэтому коническую форму, пропуститъ черезъ шпатъ такъ, что центральный лучъ идетъ по оптической оси кристалла, то только этотъ лучъ избѣгнетъ двойного преломленія. Каждый изъ остальныхъ лучей раздѣлится на обыкновенный и необыкновенный лучи, и одинъ изъ нихъ будетъ проходить черезъ кристаллъ медленнѣй, чѣмъ другой; одинъ изъ нихъ, слѣдовательно, будетъ «запаздывать» относительно другого. Поэтому мы будемъ имѣть здѣсь всѣ условія, пужныя для интерференціи, когда волны будутъ приведены анализаторомъ къ общей плоскости.

Помѣстимъ эту пластинку исландскаго шпата между двумя перекрещивающимися призмами Николя, и введемъ коническій пучекъ свѣта: на экранѣ получается система радужныхъ колець, окружающихъ конецъ оптической оси, и круговыя цвѣтныя полосы пересѣкаются чернымъ крестомъ (фиг. 45). Крылья этого креста параллельны обѣмъ плоскостямъ колебанія въ поляризаторѣ и въ анализаторѣ. Легко видѣть, что всѣ лучи, плоскости колебанія которыхъ въ шпатѣ совпадаютъ съ плоскостью колебанія *одной* призмы, не могутъ пройти черезъ обѣ. Это полное погашеніе свѣта и

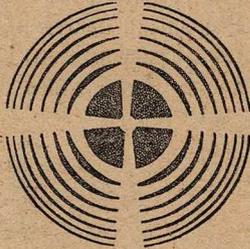


Фиг. 45.

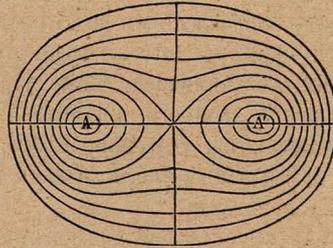
образуетъ крылья креста. При монохроматичномъ свѣтѣ мы имѣли бы только блестящія и темныя кольца; блестящія соотвѣтствовали бы тѣмъ толщинамъ шпата, при которыхъ колебанія слагаются; темныя, при которыхъ они взаимно уничтожаются.

Если повернуть анализаторъ на  $90^\circ$ , то мы получимъ дополнительные цвѣта. Темный крестъ уступить мѣсто яркому, а на мѣстѣ темныхъ колецъ появятся свѣтлыя (фиг. 46). Здѣсь, какъ и въ другихъ случаяхъ, разница длинъ свѣтовыхъ волнъ вызвала бы радужную окраску, если бы мы замѣнили монохроматичный свѣтъ бѣлымъ.

Кромѣ однородныхъ кристалловъ, не дающихъ ни въ какомъ направленіи двойного преломленія, и одноосныхъ кристалловъ, являющихся дву-преломляющими по вѣсму направленіямъ кромѣ одного, есть еще обширный классъ кристалловъ, у которыхъ, какъ доказалъ Брюстеръ, есть два направленія, не дающихъ двойного преломленія. Ихъ называютъ двуосными кристаллами. Если помѣстить между поляризаторомъ и анализаторомъ надлежащимъ образомъ вырѣзанную пластинку такого кристалла, то, какъ



Фиг. 46.



Фиг. 47.

мы увидимъ, оси ( $AA'$ , фиг. 47) будутъ окружены не кругами, но кривыми иного порядка и совершенно опредѣленнаго математическаго характера. Каждая линія, какъ доказалъ путемъ опыта Гершель, образуетъ *лемнискату*. Но здѣсь, какъ и во многихъ другихъ случаяхъ, опытному доказательству предшествовали теоретическія вычисленія, что, согласно съ волновой теоріей, эти линія должны обладать именно такимъ спеціальнымъ характеромъ.

## 10. Значеніе волновой теоріи.

Я говорилъ такъ подробно о самой поляризаціи и о явленіяхъ, вызываемыхъ въ поляризованномъ свѣтѣ, чтобы вы могли видѣть, какъ увѣренно и полно они вѣсѣ обнимаются теоріей. Исходя изъ простаго понятія о поперечномъ колебаніи, мы прежде всего опредѣляемъ длину волнъ; затѣмъ мы убѣждаемся, что отъ нихъ зависятъ вѣсѣ эти явленія. Длины волнъ можно опредѣлять нѣсколькими различными, независимыми другъ отъ друга путями. Ньютонъ опредѣлялъ ихъ, измѣряя періоды ихъ колебаній: длина одного колебанія представляетъ собою четверть длины волны. Длины волнъ можно также опредѣлять при помощи явленій диффракціи, образующихся по краямъ щели (см. приложение къ этимъ лекціямъ); ихъ можно вывести изъ толщины полосъ, получающихся, благо-

даря интерференціи, при отраженіи лучей, а также и при преломленіи; кромѣ того, длины волны можно вычислить по линіямъ интерференціи, получающимся при прохожденіи свѣта черезъ стекляную пластинку, на которомъ алмазомъ нарѣзаны прямыя линіи въ извѣстномъ разстояніи другъ отъ друга.

Если сравнить результаты всѣхъ этихъ измѣреній, полученные столь различными путями, то оказывается, что они въ точности совпадаютъ.

Опредѣливъ длины волнъ, мы изслѣдуемъ эфиръ въ самыхъ сложныхъ случаяхъ его взаимодействія съ обыкновенной матеріей, всѣ они подчиняются теоріи въ одинаковой степени. «Она не ставитъ никакихъ новыхъ гипотезъ: исходя изъ собственного запаса законовъ, она объясняетъ всѣ противорѣчивыя явленія, обнаружившіяся путемъ наблюденій. Она обосновываетъ, объясняетъ и упрощаетъ самыя сложныя случаи; исправляетъ извѣстные и предсказываетъ и раскрываетъ неизвѣстные намъ законы и факты; она дѣлается путеводителемъ своего прежняго учителя — опыта. Руководясь механическими принципами, она охватываетъ пронизательнымъ взоромъ все, начиная съ формы и цвѣта и кончая силой и причиной явленій»... 1).

Я старался показать вамъ, что роль и назначеніе волновой теоріи — это разрѣшить всѣ затрудненія оптики. Долженъ ли я желать, чтобы вы закрыли глаза на возможные возраженія противъ нея? Нѣтъ, конечно. — Вы можете сказать, и совершенно справедливо, что лѣтъ сто тому назадъ самыми выдающимися учеными была принята другая теорія; какъ она была потомъ осавлена, такъ можетъ быть современемъ оставлена и волновая теорія. Это, повидимому, вѣрно: но произведемъ точную оцѣнку этого аргумента. Во времена Ньютона, — и даже и теперь, можно было бы разсуждать такъ: Гиппархъ и Птолемей, и многіе другіе великіе люди послѣ нихъ, думали, что земля представляетъ собою центръ солнечной системы. Но это глубоко укоренившееся теоретическое воззрѣніе было потомъ оставлено: такъ и гелиоцентрическая система, въ свою очередь можетъ быть, будетъ впоследствии оставлена. Это справедливо въ такой же мѣрѣ, какъ справедливъ первый аргументъ. Въ чемъ заключается сила современной теоріи тяготѣнія? Исключительно въ ея способности объяснять всѣ явленія солнечной системы. А въ чемъ значеніе волновой теоріи свѣта? Въ ея способности распутывать и объяснять явленія въ сто разъ болѣе сложныя, чѣмъ явленія солнечной системы. Примемъ, если вы хотите, по отношенію къ волновой теоріи скептицизмъ Милля; но если вашъ скептицизмъ наученъ, то основанія теоріи тяготѣнія онъ подвергнетъ такому же, если не большему, сомнѣнію, какъ и основанія волновой теоріи).

## 11. Синій цвѣтъ неба.

Я бы не желалъ оставить эти явленія цвѣтной окраски, не упомянувъ объ еще одномъ ихъ источникѣ, который я часто вижу въ вашемъ

1) Уэвелль.

2) Единственная извѣстная мнѣ до 1878 г. работа о волновой теоріи свѣта, принадлежащая перу американца, — это превосходный трудъ президента Бранарда, опубликованный въ „Smithsonian Report“ въ 1864 г.

голубомъ небѣ, а теперь, послѣ захода солнца, въ красномъ цвѣтѣ горизонта. Я хочу теперь резюмировать все, что я говорилъ объ этомъ раньше, и затѣмъ мы пойдемъ дальше. Можно очень строго доказать, что синій цвѣтъ неба представляеть собою отраженный свѣтъ. Свѣтъ неба направляется къ намъ подъ угломъ кънаправленію солнечныхъ лучей, а иногда даже по прямо противоположному имъ направленію. Это направленіе волнообразнаго движенія можетъ быть вызвано только отраженіемъ отъ какихъ нибудь частицъ, находящихся въ воздухѣ въ виселяемъ состояніи. Но солнечные лучи не отражаются небомъ въ такой пропорціи, чтобы образовать бѣлый цвѣтъ, Небо синяго цвѣта; это указываетъ на избытокъ болѣе короткихъ волнъ. Прежде говорили, что небо синяго цвѣта потому, что воздухъ такого цвѣта; но тогда поднимается вопросъ: если воздухъ синяго цвѣта, то какимъ образомъ свѣтъ при восходѣ и при заходѣ солнца, проходящій черезъ большіе слои воздуха, можетъ быть желтаго, оранжеваго и даже краснаго цвѣта? При прохожденіи черезъ синюю среду бѣлый солнечный свѣтъ никакъ не можетъ окраситься въ красный цвѣтъ; поэтому гипотезу о синемъ цвѣтѣ атмосферы приходится оставить. Какимъ бы образомъ мы не получали свѣтъ отъ неба, дѣйствіе его, во всякомъ случаѣ, дихроматично: отраженный свѣтъ синяго цвѣта, а проходящій—оранжеваго или краснаго. Получается удивительная разница между отраженіемъ отъ неба и отраженіемъ отъ обыкновеннаго облака, которое не можетъ производить такого дихроматичнаго дѣйствія.

Въ самомъ дѣлѣ, облако не различаетъ эфирныхъ волнъ по ихъ величинѣ,—оно отражаетъ всѣ волны одинаково. Можетъ быть, это происходитъ потому, что частицы облака такъ велики въ сравненіи съ величиной эфирныхъ волнъ, что онѣ отражаютъ всѣ волны одинаково. Большая прибрежная скала одинаково легко отражаетъ какъ громадныя волны Атлантическаго океана, такъ и небольшую зыбь, вызванную прикосновеніемъ крыла чайки; такъ, при большой отражающей поверхности разница въ длинѣ эфирныхъ волнъ тоже пропадаетъ. Но предположимъ теперь, что отражающія частицы не будутъ такъ велики по сравненію съ величиною волнъ, а напротивъ, будутъ очень малы. Тогда уже вся волна не встрѣтится съ препятствіемъ; отразится не большая часть ея, а только небольшая часть отдѣлится при встрѣчѣ съ препятствіемъ. Предположимъ затѣмъ, что постороннія частицы такихъ маленькихъ размѣровъ разбѣяны въ воздухѣ. На нихъ падаютъ волны всевозможныхъ величинъ, и при каждомъ столкновеніи часть падающихъ волнъ отражается. Всѣ волны спектра, начиная съ крайнихъ красныхъ и кончая крайними фіолетовыми, подвергаются такому дѣйствію; но въ какой пропорціи будутъ онѣ отражаться? Величина понятіе относительное; чѣмъ меньше будетъ волна, тѣмъ больше будетъ въ сравненіи съ нею величина частицы, на которую она падаетъ, тѣмъ, сравнительно будетъ больше отраженіе.

Небольшой камень, попавшій на пути расходящейся кругами зыби, вызванной паденіемъ тяжелыхъ дождевыхъ капель на спокойную поверхность пруда, отражаетъ большую часть попадающихъ на него колебаній, при большихъ же волнахъ отношеніе отраженной части волны къ цѣлой волнѣ можетъ быть безконечно мало. Для того, чтобы солнечный свѣтъ остался бѣлымъ, необходимо должна сохраниться опредѣленная пропорціо-

нальность составныхъ частей его. Но когда солнечный свѣтъ разсѣивается этими маленькими частицами, тогда эта пропорціональность не сохраняется. Больше всего окажется маленькихъ волнъ: поэтому преобладающимъ цвѣтомъ въ разсѣянномъ свѣтѣ будетъ синій. Остальные цвѣта спектра также должны примѣшиваться къ синему; они все налицо, но только они гораздо слабѣе. Сила ихъ постепенно убываетъ отъ фіолетоваго къ красному.

Такимъ образомъ мы постепенно пришли къ заключенію, что если бы въ нашей атмосферѣ находились частицы, весьма маленькія по сравненію съ волнами эфира, то разсѣянный этими частицами свѣтъ былъ бы именно такой, какой мы видимъ въ нашемъ лазурно-голубомъ небѣ. И въ самомъ дѣлѣ, если повергнуть этотъ свѣтъ анализу, то въ немъ оказываются всѣ цвѣта въ тѣхъ пропорціяхъ, какія были предсказаны нашими разсужденіями.

При встрѣчѣ со все новыми и новыми частицами бѣлый лучъ все болѣе и болѣе теряетъ свои короткія волны; онъ все болѣе и болѣе лишается свойственнаго его составу синяго цвѣта. Результатъ этихъ потерь можно предсказать заранѣе. Пропедшій черезъ атмосферу свѣтъ будетъ желтовать, — если лучъ проходитъ небольшой путь. Но по мѣрѣ того, какъ солнце склоняется къ горизонту, путь лучей черезъ атмосферу удлиняется, а вмѣстѣ съ тѣмъ увеличивается также и число разсѣянныхъ на его пути частицъ. Они ослабляютъ послѣдовательно фіолетовый, синій, голубой и даже зеленый цвѣта. При такихъ условіяхъ цвѣтъ пропущенныхъ лучей долженъ переходить отъ желтаго черезъ оранжевый къ красному, что мы и видимъ въ природѣ.

Но можно ли доказать, что маленькія частицы и въ самомъ дѣлѣ производятъ такое дѣйствіе? Несомнѣнно можно. Каждый изъ васъ можетъ подвергнуть этотъ вопросъ опытному изслѣдованію. Вода не растворяетъ смолы, но спиртъ растворяетъ. Если растворить смолу въ спиртѣ и влить этотъ растворъ въ воду, смола тотчасъ отдѣляется въ видѣ маленькихъ частицъ и дѣлаетъ воду мутной. Густота этого осадка зависитъ отъ количества растворенной смолы. Профессоръ Брюкке указалъ ту пропорцію, при которой получается наиболѣе желательный для нашихъ цѣлей осадокъ.

Одинъ граммъ смолы растворяется въ 87 граммахъ чистаго спирта; полученный прозрачный растворъ вливается по каплямъ въ бокалъ съ чистой водой, которую быстро перемѣшиваютъ. Такъ получается очень тонкій осадокъ, присутствіе котораго обнаруживается по его дѣйствию на свѣтъ. Поставимъ за бокаломъ какое нибудь темное тѣло и предоставимъ свѣту падать сверху или снизу: содержимое бокала покажется намъ окрашеннымъ превосходнымъ синимъ цвѣтомъ. Слѣды мыла въ водѣ сообщаютъ ей синій оттѣнокъ. По сходной причинѣ и лондонское молоко того же цвѣта; Тельмгольцъ безжалостно приписываетъ синій цвѣтъ глазъ ихъ мутности.

## 12. Искусственное небо.

Мы имѣемъ возможность создать искусственно еще точнѣе всѣ естественныя условія этого *явленія*. Мы можемъ получить въ воздухѣ искусственное небо, и можемъ доказать его полное тождество съ естественнымъ небомъ при помощи нѣсколькихъ совершенно неожиданныхъ явленій. Не-

давно мною было показано на многихъ примѣрахъ, какъ волны эфира, исходящія изъ какого нибудь сильнаго источника, — какъ солнце или электрическій свѣтъ, — могутъ отдѣлять другъ отъ друга частицы газа. Вотъ этотъ аппаратъ состоитъ изъ стекляной трубки приблизительно въ 1 аршинъ длины и въ  $2\frac{2}{3}$  — 3 дюйма внутренняго діаметра. Въ эту трубку вводится подлежащій изслѣдованію газъ или паръ, и на него дѣйствуетъ сконцентрированный пучекъ электрическаго свѣта. Паръ выпираютъ такой, чтобы по крайней мѣрѣ хоть одна составная часть его осаждалась въ видѣ облака непосредственно послѣ его образованія. Постепенно сгущая паръ, можно получить болѣе или менѣе тонкій осадокъ; онъ можетъ содержать частицы, различимыя невооруженнымъ глазомъ, но можетъ также образовать мелкія частицы, недоступныя даже самому сильному микроскопу. Я не имѣю основаній сомнѣваться, что діаметръ полученныхъ такимъ образомъ частицъ составляетъ лишь незначительную часть длины волнъ фіолетоваго свѣта.

При этихъ условіяхъ, — какой бы паръ мы ни взяли, лишь бы только мы примѣняли его въ достаточно разрѣженномъ состояніи, — видимое дѣйствіе свѣта начинается съ образованія голубого облака. Я бы желалъ съ самаго начала предупредить всякое недоразумѣніе въ пониманіи этого выраженія. Голубое облако, о которомъ мы здѣсь говоримъ, совершенно невидимо при обыкновенномъ дневномъ свѣтѣ. Чтобы оно было видимо, оно должно быть окружено густою темнотою, и только оно одно должно быть освѣщено пучкомъ сильнаго свѣта. Это облако во многихъ отношеніяхъ отличается отъ самыхъ тонкихъ обыкновенныхъ облаковъ; оно можетъ быть переходной ступенью между этими облаками и дѣйствительно безоблачнымъ паромъ.

Можно увеличить частицы этого *актиническаго облака* отъ безконечно-малыхъ, недоступныхъ микроскопу, размѣровъ до замѣтной величины. При извѣстной величинѣ ихъ мы получаемъ голубой цвѣтъ, который можетъ конкурировать съ самымъ глубокимъ и чистымъ небомъ Италіи, — если только онъ не превосходитъ его. Введемъ въ трубку такое количество смѣси воздуха и паровъ метилъ-нитрита, что оно понизитъ высоту ртутной колонны воздушнаго насоса на  $\frac{1}{20}$  дюйма, а потомъ прибавимъ смѣси воздуха и соляной кислоты, которая понизитъ ртуть еще на полъ-дюйма; черезъ эту очень разрѣженную смѣсь газовъ пропустимъ электрическій свѣтъ. Трубка понемногу окрашивается яркимъ лазурнымъ цвѣтомъ, который нѣкоторое время усиливается, достигаетъ максимума глубины и чистоты и затѣмъ, когда частицы становятся больше, переходитъ въ свѣтлый бѣловато-голубой цвѣтъ. Это очень характерный опытъ: онъ доказываетъ общій законъ. Для него можно примѣнять и много другихъ безцвѣтныхъ веществъ, обладающихъ самыми разнообразными химическими и оптическими свойствами: образующееся въ началѣ облако было бы всегда голубого цвѣта; это явно доказываетъ, что частицы безконечно малыхъ размѣровъ, даже совершенно безцвѣтныя и независимо отъ оптическихъ свойствъ, обнаруживающихся при сгущенномъ состояніи вещества, могутъ образовать голубой цвѣтъ неба.

### 13. Поляризація небеснаго свѣта.

На нашемъ небѣ есть еще одно явленіе, — оно гораздо глубже и сложнее, чѣмъ даже его цвѣтъ. Я говорю о поляризаціи небеснаго свѣта, — которую сэръ Джонъ Гершель называетъ «тайственнымъ и прекраснымъ явленіемъ». Если смотрѣть на различныя мѣста неба черезъ призму Николая и поворачивать призму около ея оси, то мы скоро замѣтимъ измѣненія яркости свѣта. Нѣкоторыя мѣста призмы, повидимому, вполне пропускаютъ свѣтъ изъ извѣстнаго мѣста неба, но стоитъ только повернуть призму около ея оси на  $90^\circ$ , и яркость свѣта значительно уменьшится. Такіе опыты показали, что голубой свѣтъ, посылаемый къ намъ небомъ, есть свѣтъ поляризованный; при болѣе тщательномъ изслѣдованіи, было также обнаружено, что направленіе болѣе совершенной поляризаціи перпендикулярно къ солнечнымъ лучамъ. Если бы небесный свѣтъ былъ такой же, какъ и обыкновенный солнечный свѣтъ, то вращеніе призмы не оказывало бы на него никакого дѣйствія. Онъ пропускался бы весь въ теченіе полного оборота призмы. Значительная часть небеснаго свѣта погашается потому, что значительная часть его поляризована.

Совершенно тоже самое явленіе вызывается и нашимъ актиническимъ облакомъ, такъ какъ единственное необходимое для него условіе — это безконечно малые размѣры частицъ. Во всѣхъ случаяхъ, при всякомъ веществѣ, образующеся вначалѣ облако, — если только осадившіяся частицы достаточно малы, — будетъ голубого цвѣта. Но кромѣ того, это тонкое голубое облако всегда совершенно поляризуетъ освѣщающій его лучъ; направленіе поляризаціи составляетъ уголъ  $90^\circ$  съ направленіемъ луча.

Очень интересно прослѣдить, какъ увеличеніе, такъ и уменьшеніе этой поляризаціи. Если черезъ десять или пятнадцать минутъ послѣ образованія облака смотрѣть на его яркій свѣтъ въ горизонтальномъ направленіи, то призма Николая, длинная діагональ которой вертикальна, можетъ совершенно погасить его. Но по мѣрѣ того, какъ небооглубой цвѣтъ, при введеніи частицъ большихъ размѣровъ, тускнѣетъ или, иными словами, образуется настоящее облако, поляризація начинаетъ уменьшаться; часть свѣта проходитъ черезъ призму во всѣхъ мѣстахъ, — какъ это имѣетъ мѣсто при небесномъ свѣтѣ. Замѣчательно, что черезъ нѣсколько времени послѣ того, какъ совершенная поляризація прекратилась, приходящій свѣтъ, — если призма поставлена въ такое положеніе, въ которомъ она пропускаетъ всего менѣе лучей, — окрашенъ необыкновенно густой синей краской: болѣе свѣтлые лучи всѣ погашаются. Если образованіе облака подвинулось настолько, что оно уже приближается къ обыкновенному облаку, то вращеніе призмы Николая не оказываетъ замѣтнаго вліянія на свѣтъ, пропускаемый перпендикулярно къ направленію падающаго луча.

Полная поляризація въ направленіи, перпендикулярномъ къ освѣщающему лучу, можетъ также быть доказана при помощи слѣдующаго опыта, который производили не разъ съ различнаго рода парами. Призма Николая, — достаточно большихъ размѣровъ, чтобы воспринять весь лучекъ лучей, идущій отъ электрической лампы, — помѣщается между стеклянной трубкой и этой лампой. Я пропустилъ поляризованный этой призмой лучъ черезъ

трубку, и сталъ передъ нею такъ, что мои глаза были на одномъ уровнѣ съ ея осью; мой ассистентъ занялъ такое же положеніе по другую сторону трубки.

Короткая діагональ этой большой призмы стояла вертикально, — и плоскость колебанія выходящаго изъ нея луча тоже, конечно, вертикально.

По мѣрѣ того, какъ свѣтъ продолжалъ дѣйствовать, начало понемногу образовываться прекрасное голубое облако, видимое какъ мнѣ, такъ и моему ассистенту. Но это облако, такъ густо и сочно окрашенное, если на него смотрѣть при вышеупомянутыхъ условіяхъ, пропадало совершенно, если смотрѣть на него въ вертикальномъ направленіи, сверху или снизу. Отраженіе отъ облака въ этомъ направленіи оказывалось невозможнымъ. Призму медленно поворачивали вокругъ ея оси; если глазъ наблюдателя находился на одномъ уровнѣ съ лучемъ, а линія зрѣнія была перпендикулярна къ нему, то излучаемый въ горизонтальномъ направленіи свѣтъ совершенно погасался, когда длинная діагональ большой призмы занимала вертикальное положеніе. Но если посмотрѣть сверху или снизу, то замѣтно было яркое голубое облако. Произвести этотъ прекрасный опытъ, — который я, навѣрное, сдѣлалъ бы и по своей собственной инициативѣ, — меня побудилъ профессоръ Стоксъ; въ одномъ изъ его писемъ ко мнѣ онъ предсказалъ всѣ явленія его.

Всѣ явленія цвѣтной окраски и поляризаціи, наблюдаемыя при небесномъ свѣтѣ, проявляются также и при этихъ актиническихъ облакахъ; но кромѣ того, при нихъ обнаруживаются еще и другія явленія, которыя въ настоящемъ небѣ не только неудобно прослѣдить, но, можетъ быть, даже и совсѣмъ невозможно обнаружить. Они позволяютъ намъ, на примѣръ, прослѣдить измѣненія поляризаціи съ самаго перваго появленія едва замѣтной голубой окраски до полного уничтоженія при сгущеніи облака. Эти измѣненія, поскольку они насъ теперь интересуютъ, сводятся къ слѣдующему:

1) Актиническое облако, — пока оно остается голубымъ, — излучаетъ поляризованный свѣтъ по всѣмъ направленіямъ; но направленіе наибольшей поляризаціи, — какъ и при небесномъ свѣтѣ, — составляетъ прямой уголъ съ направленіемъ падающаго луча.

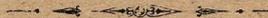
2) Пока голубой цвѣтъ облака не тускнѣетъ, свѣтъ, испускаемый въ направленіи, перпендикулярномъ къ падающему лучу, весь поляризованъ. Онъ можетъ быть совершенно погашенъ призмой Николя, и облако при этомъ исчезаетъ. При отклоненіи отъ перпендикулярнаго направленія часть свѣта уже проходитъ черезъ призму.

3) Направленіе колебаній поляризованнаго свѣта перпендикулярно къ направленію освѣщающаго луча. Пластинка турмалина, ось которой параллельна освѣщающему лучу, задерживаетъ свѣтъ; пластинка, ось которой перпендикулярна къ лучу, пропускаетъ свѣтъ.

4) Гипсовая пластинка, помѣщаемая между призмой Николя и актиническимъ облакомъ, обнаруживаетъ цвѣта поляризованнаго свѣта; облако, на самомъ дѣлѣ, играетъ роль поляризирующей призмы.

5) Частицы голубого облака неизмѣримо малы, но онѣ постепенно увеличиваются; при извѣстной величинѣ онѣ перестаютъ испускать совершенно поляризованный свѣтъ; черезъ нѣсколько времени свѣтъ, достигающій

глаза при такомъ положеніи призмы, когда она пропускаетъ всего менѣе лучей, окрашенъ чуднымъ синимъ цвѣтомъ, превосходящимъ по чистотѣ и глубинѣ самую чистую синеву неба. Волны, на которыхъ раньше всѣхъ отзываются измѣненія величины частицъ, и въ началѣ, и въ концѣ поляризаціи представляютъ собою самыя короткія волны спектра; онѣ раньше другихъ поддаются поляризаціи, и раньше избѣгаютъ ея.



## ПЯТАЯ ЛЕКЦІЯ.

Видимые лучи и невидимые.—Ультрафіолетовые лучи.—Флуоресценція.—Превращеніе невидимыхъ лучей въ видимые.—Дѣйствіе солнечныхъ и электрическихъ лучей не на одно только зрѣніе, но еще и на другія чувства.—Лучистая теплота.—Сжиганіе сконцентрированнымъ, въ фокусѣ зеркала или линзы, лучомъ.—Сжиганіе при помощи ледяной линзы.—Сжиганіе алмазовъ.—Обнаруженіе дѣйствующихъ тутъ лучей.—Открытіе сѣромъ Вилліамомъ Гершелемъ темныхъ солнечныхъ лучей.—Невидимые лучи, какъ основаніе видимыхъ.—Отдѣленіе видимыхъ лучей отъ невидимыхъ при помощи лучевого фильтра.—Сжиганіе въ фокусѣ темныхъ лучей.—Превращеніе тепловыхъ лучей въ свѣтовые.—Калоресценція.—Роль въ природѣ темныхъ лучей.—Тождество свѣта и лучевой теплоты.—Невидимыя изображенія.—Отраженіе, преломленіе, прямолинейная поляризація, деполяризація, круговая поляризація, двойное преломленіе и магнетизація лучистой теплоты.

### 1. Граница зрѣнія и лучеиспусканія.

Первый вопросъ, который мы должны разсмотрѣть, заключается въ слѣдующемъ: соответствуетъ ли глазъ, какъ органъ зрѣнія, всей совокупности солнечныхъ лучей,—можетъ ли онъ воспринимать зрительныя впечатлѣнія отъ всѣхъ лучей, испускаемыхъ солнцемъ?—На это приходится отвѣтить отрицательно. Если мы примемъ на время то понятіе о постепенномъ возрастаніи, улучшеніи и увеличеніи, которое заключается въ словѣ «эволюція», мы съ увѣренностью можемъ сказать, что есть еще большая область зрительныхъ впечатлѣній, которая въ послѣдствіи будутъ доступны человѣку,—гораздо большая, чѣмъ та, которая доступна ему теперь. Такъ, въ 1801 году Риттеръ открылъ за фіолетовымъ краемъ спектра большое количество лучей, совершенно бесполезныхъ для нашего зрѣнія въ его теперешнемъ состояніи. Эти ультра-фіолетовые лучи, хотя они и не могутъ возбудить зрительные нервы, могутъ однако такъ встряхнуть частицы нѣкоторыхъ составныхъ веществъ, что вызываютъ ихъ химическое разложеніе.

Но если синіе, фіолетовые и ультра-фіолетовые лучи и могутъ дѣйствовать такъ на нѣкоторыя вещества, то все же этого одного факта недостаточно, чтобы называть ихъ «химическими лучами», какъ ихъ обыкновенно называютъ въ отличіе отъ остальныхъ частей спектра. Если судить по ихъ дѣйствію на серебряныя соли и нѣкоторыя другія вещества, они, быть можетъ, и заслуживаютъ этого названія. Но въ самомъ замѣчательномъ примѣрѣ химическаго дѣйствія лучей, — въ разложеніи углекислоты листьями растений, — съ которымъ неразрывно связано имя

моего дорогого друга доктора Дрэпера, теперь уже покойнаго,—въ этомъ примѣрѣ оказалось, что сильнѣе всѣхъ химическое дѣйствіе желтыхъ лучей.

Но на нѣкоторыхъ веществахъ разлагающее дѣйствіе фіолетовыхъ и ультра-фіолетовыхъ волнъ проявляется особенно сильно. Если невидимая часть спектра падаетъ на поверхность, покрытую такимъ веществомъ, то можно не только обнаружить существованіе ультра-фіолетоваго спектра, но и измѣрить его длину.

## 2. Ультра-фіолетовые лучи.—Флуоресценція.

Способъ обнаруживать ультра-фіолетовые лучи по ихъ химическому дѣйствію былъ извѣстенъ уже давно; Томасъ Юнгъ даже сфотографировалъ ультра-фіолетовыя кольца Ньютона. Мы докажемъ теперь ихъ существованіе инымъ путемъ. По общему правилу тѣла или пропускаютъ свѣтъ, или поглощаютъ его. Но есть еще третій случай,—когда падающій на тѣло свѣтъ не пропускается и не поглощается, а превращается въ свѣтъ иного рода. Профессоръ Стоксъ,—занимающій теперь катедру Ньютона въ Кембриджскомъ университетѣ,—доказалъ превращеніе свѣта одного рода въ другой; онъ довелъ дѣло до того, что сдѣлалъ невидимые лучи видимыми.

Стоксъ изслѣдовалъ большое число тѣлъ, которыя испускали свѣтъ подѣ дѣйствіемъ ультра-фіолетовыхъ лучей. Вы знаете, какова скорость колебаній, соответствующихъ фіолетовому краю спектра; вы знаете, что для впечатлѣнія фіолетоваго цвѣта нужно, чтобы сѣтчатка получала 789 билліоновъ колебаній въ секунду. За этимъ предѣломъ сѣтчатка уже не можетъ служить органомъ зрѣнія; при болѣе быстрыхъ колебаніяхъ она не можетъ получить свѣтового впечатлѣнія. Но если такія невидимыя волны падаютъ на нѣкоторыя вещества,—какъ, напримѣръ, сѣрнокислый хининъ,—они приводятъ въ колебанія ихъ частицы, или составляющіе ихъ атомы; замѣчательно, что періодъ колебанія этихъ волнъ продолжительнѣе, чѣмъ періодъ возбуждающихъ волнъ. Благодаря господствующей роли сѣрнокислаго хинина, число колебаній въ секунду, такимъ образомъ, становится меньше, и невидимые лучи превращаются въ видимые. Мы впоследствии не разъ будемъ имѣть случай убѣдиться, что прозрачность для видимыхъ лучей вовсе не обуславливаетъ прозрачности для невидимыхъ. Двусѣрный углеродъ, напримѣръ, который въ призмахъ былъ такъ удобенъ для опытовъ съ видимыми лучами, совсѣмъ не годится для этихъ ультра-фіолетовыхъ лучей. Флинтгласъ уже больше годится для нихъ, а горный хрусталь еще лучше, чѣмъ флинтгласъ. Для нашихъ опытовъ можно воспользоваться стекляной призмой.

Отбросимъ при помощи такой призмы спектръ,—но не на бѣлую поверхность экрана, а на листъ бумаги, который былъ политъ насыщеннымъ растворомъ сѣрнокислаго хинина и затѣмъ высохъ; мы ясно увидимъ истинную длину спектра. Прежде всего оказывается, что часть фіолетоваго свѣта кажется свѣтлѣе и ярче; но рядомъ, гдѣ на обыкновенной бумагѣ не было бы ничего видно, опять появляется окраска. То же явленіе можетъ быть получено и при помощи многихъ другихъ веществъ. Напримѣръ, открытое президентомъ Мортономъ вещество, названное имъ

*таллиемъ*, даетъ очень сильно удлинненный спектръ; полученный свѣтъ замѣчательно яркъ.

Плавииковый шпатель и нѣкоторыя другія вещества испускаютъ свѣтъ, если ихъ нагрѣть до температуры ниже краснаго каленія. Цѣлыя столѣтія со времени ихъ образованія эти вещества, повидимому, обладали способностью приводить эфиръ въ состояніе видимыхъ колебаній. Все это время свѣтъ находился въ нихъ въ потенциальномъ состояніи; но, какъ вѣрно объяснилъ Дрэперъ, теплота, даже и не очень значительная, можетъ разъединить частицы, такъ что они проявятъ скрытую въ нихъ способность производить колебанія. Это свойство плавииковаго шпата <sup>1)</sup> дало Стоксу поводъ выбрать названіе для его великаго открытія: это преобразование ультра-фіолетовыхъ лучей въ видимыя было названо имъ *флуоресценціей*.

При помощи темно-фіолетоваго стекла мы задерживаемъ почти весь свѣтъ нашей электрической лампы; но это стекло особенно прозрачно для фіолетовыхъ и ультра-фіолетовыхъ лучей. Фіолетовый лучъ проходитъ теперь черезъ большую банку съ водой, въ которую я вливаю растворъ сѣрникоислаго хирина; повидимому, тотчасъ же осаждаются непрозрачныя облака. Кусочки дикаго капитана, брошенные на поверхность воды, тоже излучаютъ внизъ прекрасныя, облакообразныя полосы. Но это не облако: ничего не осаждается; тутъ проявляется дѣйствіе молекулъ, а не частицъ, находящихся въ висячемъ состояніи. Передъ вами не мутная среда; если вы будете смотрѣть черезъ нее на свѣтящуюся поверхность, то вы увидите ее совершенно ясною.

Нарисуемъ на бумагѣ сѣрникоислымъ хириномъ цвѣтокъ или букетъ цвѣтовъ и выставимъ этотъ рисунокъ на свѣтъ электрической лампы: мы не увидимъ ничего. Но стоитъ намъ ввести между ними фіолетовое стекло, рисунокъ тотчасъ же заблеститъ въ яркомъ контрастѣ съ окружающимъ его темнымъ фіолетовымъ фономъ. Президентъ Мортонъ очень удачно сдѣлалъ для меня такой рисунокъ; если выставить его на фіолетовый свѣтъ, онъ обнаруживаетъ замѣчательно яркую флуоресценцію. По опытамъ докторовъ Бенсъ-Джонса и Дюпре можно было бы думать, что и въ человѣчeskомъ тѣлѣ заключается вещество, подобное сѣрникоислему хирину, — благодаря которому всѣ ткани человѣческаго тѣла болѣе или менѣе флуоресцируютъ. Всѣ органическіе растворы тоже обнаруживаютъ флуоресценцію. Замѣчательно интересно обнаруживается это явленіе въ хрусталикѣ глаза. Если помѣстятъ глазъ въ фіолетовый свѣтъ, мы будемъ казаться, что находящееся передо мной пространство свѣтится блѣловато-голубымъ свѣтомъ. Это происходитъ отъ флуоресценціи, появившейся въ самомъ глазѣ. Если посмотрѣть на него снаружи, то хрусталикъ окажется сильно свѣтящимся.

Свѣтъ флуоресценціи обращалъ на себя вниманіе еще гораздо раньше, чѣмъ поняли его происхожденіе. Особенно полно и точно описываетъ это явленіе Бойль. «Мы часто находимъ въ аптекарскихъ магазинахъ особаго рода дерево, называемое «*Lignum Nephriticum*», — жители страны, въ которой оно растетъ, пользуются обыкновенно его растворомъ въ чистой водѣ противъ почечныхъ камней. При помощи этого дерева мы можемъ произвести интересный опытъ, который, помимо своей оригинальности, мо-

<sup>1)</sup> По-англійски Fluor.

жетъ послужить для внимательнаго наблюдателя значительнымъ подспорьемъ при изученіи истинной природы цвѣтовъ. Возьмите «Lignum Nephriticum», разрѣжьте его на ломтики и бросьте горсть такихъ ломтиковъ въ сосудъ, содержащій два, три или четыре фунта чистой ключевой воды. Полученный растворъ надо вылить въ стеклянную бутылъ. Если держать эту бутылъ прямо между глазомъ и свѣтомъ, то она кажется золотисто-желтаго цвѣта. Но если вы будете держать ее отвернувшись отъ свѣта,—такъ что вашъ глазъ будетъ между окномъ и бутылкою,—тогда жидкость покажется вамъ окрашенной въ чистый, красивый голубой цвѣтъ».

«Эти явленія»,—продолжаетъ онъ: «а также и многія другія, видѣли при этомъ опытѣ, къ большому своему удивленію, также и многіе мои друзья. Я припоминаю, какъ одинъ превосходный окулистъ нашель случайно въ комнатѣ моего друга бутылку съ такою жидкостью, которую я ему далъ; онъ ничего раньше объ этомъ опытѣ не слыхалъ, и около него не было никого, кто бы могъ ему сказать, что эта за странная жидкость; и вотъ онъ долгое время опасался,—какъ онъ мнѣ самъ потомъ говорилъ,—что его глаза постигла какая-то новая удивительная болѣзнь. Я долженъ сознаться, что это необыкновенное явленіе возбудило во мнѣ сильное желаніе найти причину его. Я далекъ отъ претензіи достигъ этого, но думаю, что въ моихъ изслѣдованіяхъ есть указанія, способныя привести кого-нибудь талантливѣе меня къ открытію причины этого чуда» <sup>1)</sup>).

Гёте въ своей «Farbenlehre» такъ описываетъ флуоресценцію шелухи дикихъ каштановъ: «Слѣдуетъ взять полоску свѣжей шелухи дикаго каштана и опустить ее въ стаканъ съ водой; черезъ нѣсколько времени получится прекрасная небесно-голубая окраска».

Сэръ Джонъ Гершель первый замѣтилъ и описалъ флуоресценцію сѣрнистаго хирина; онъ показалъ, что свѣтъ излучаетъ только тонкій слой раствора у того мѣста, гдѣ лучи входятъ въ него. Кромѣ того, онъ показалъ, что падающій лучъ,—хотя сила свѣта его и не подверглась значительному ослабленію,—утратилъ послѣ прохожденія черезъ растворъ сѣрнистаго хирина—способность вызывать синій флуоресцирующій свѣтъ. Сэръ Давидъ Брюстеръ также работалъ надъ этимъ вопросомъ; но и расширеніемъ нашихъ свѣдѣній объ этихъ явленіяхъ, и ихъ полнымъ и окончательнымъ объясненіемъ мы обязаны профессору Стокву.

### 3. Теплота лучей электрической лампы.—Сжиганіе при помощи ледяной линзы.—Возможная температура кометъ.

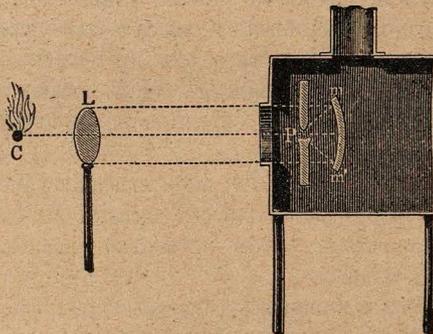
Волны раскаленныхъ концовъ углей дѣйствуютъ не только на одно чувство зрѣнія: онѣ вызываютъ еще также ощущеніе теплоты.

Вы видите на экранѣ увеличенное изображеніе ихъ. При помощи соотвѣтствующаго прибора можно легко доказать тепловое дѣйствіе лучей, образующихъ это изображеніе. Въ этомъ случаѣ теплота распространяется на слишкомъ большую поверхность, чтобы быть достаточно интенсивной. Выдвинемъ нѣсколько линзы, и начнемъ приближать къ лампѣ

<sup>1)</sup> Сочиненія Бойля, изд. Берча.

подвижной экранъ: мы увидимъ, что изображеніе дѣлается все меньше и меньше, лучи все болѣе и болѣе концентрируются, пока, наконецъ, они не будутъ въ состояніи прожечь въ черной бумагѣ кружечкъ. Вдвинемъ линзы обратно, такъ что лучи станутъ параллельны, и примемъ ихъ на вогнутое зеркало, которое сведетъ ихъ въ фокусъ; бумага, помѣщенная въ этомъ фокусѣ, начнетъ дымиться и горѣть. Такую интенсивную теплоту можно получить при помощи нашей обыкновенной камеры и линзы, или вогнутаго зеркала, даже очень незначительной силы.

Но теперь прибѣгнемъ къ болѣе сильнымъ средствамъ. Въ этой большой камерѣ изъ вычерченной жести помѣщается электрическая лампа, во всѣхъ отношеніяхъ сходная съ той, которой мы уже пользовались. Но вмѣсто того, чтобы улавливать лучи отъ концовъ углей при помощи собирательной линзы, мы примемъ ихъ теперь на вогнутое зеркало (mm', фиг. 48), наружная поверхность котораго посеребрена: оно помѣщается за углями (Р.) При помощи этого зеркала мы можемъ заставить лучи выходить въ отверстіе камеры,—параллельнымъ или сходящимся пучкомъ. Теперь они



Фиг. 48.

параллельны и, слѣдовательно, разсѣяны по нѣкоторой поверхности. Помѣстимъ на пути лучей выпуклую линзу (L). Лучи сходятся въ фокусъ (C), и въ этомъ фокусѣ бумага не только прожигается, но тотчасъ загорается.

Такимъ путемъ можно сжечь многіе металлы. На первой лекціи мы уже говорили о сжигаемости цинка. Помѣстимъ въ этомъ фокусѣ полоску листового цинка: она тотчасъ же загорится и будетъ горѣть свойственнымъ цинку ха-

рактернымъ пурпурнымъ пламенемъ. Но теперь мнѣ хочется замѣнить нашу стеклянную линзу новой линзой,—совершенно иного сорта. Вотъ это—линза изъ прозрачнаго льда,—она была приготовлена въ гладкой желѣзной формѣ. Помѣстимъ ее въ томъ мѣстѣ, которое передъ этимъ занимала стеклянная линза, вы можете видѣть, какъ лучи сходятся на небольшомъ пространствѣ. Въ этомъ фокусѣ помѣстимъ кусокъ бумаги, въ которую завернуто немного хлопчатобумажнаго пороха: бумага тотчасъ же загорается и порохъ взрываетъ. Развѣ не удивительно, что лучи, прошедшіе черезъ такую холодную массу, обладаютъ такою тепловою силой? Доктору Скоресби удалось во время его арктическихъ экспедицій взорвать порохъ при помощи солнечныхъ лучей, сконцентрированныхъ при помощи большихъ ледяныхъ линзъ. Здѣсь мы достигли такого же результата при помощи маленькой линзы и земнаго источника теплоты.

Вы замѣчаете, что при этомъ лучи, прежде чѣмъ достигъ ледяной линзы, проходятъ черезъ стеклянный сосудъ съ водой. Такимъ образомъ лучи освобождаются отъ составныхъ частей, которыя испортили бы гладкую поверхность линзы, если бы попали на нее, и нарушили бы чистоту фокуса. Поэтому я уже заранѣе скажу нѣсколько словъ о прозрачности.

На нашей первой лекціи мы подробно занимались появленіемъ цвѣтной окраски, вызываемымъ поглощеніемъ лучей, и намъ не разъ приходилось говорить о погашеніи свѣтовыхъ лучей. Что же, значить ли это, что свѣтъ совершенно уничтоженъ? Конечно, нѣтъ. Благодаря преломленію, онъ былъ настолько ослабленъ, что сталъ невидимымъ для насъ; онъ обратился въ теплоту. Красная лента, находящаяся въ зеленой части спектра, погасила зеленый свѣтъ; но если изслѣдовать ее надлежащимъ образомъ, то окажется, что и температура ея значительно повысилась. Зеленая лента въ красной части спектра погашаетъ свѣтъ; но за то температура ея повышается пропорціонально количеству погашеннаго свѣта. Черная лента можетъ погашать всѣ цвѣта спектра; но въ каждомъ мѣстѣ спектра въ ней появляется количество теплоты, совершенно соответствующее количеству погашеннаго свѣта. Теплота можетъ появиться только послѣ поглощенія лучей: она всегда является результатомъ поглощенія свѣта.

Изслѣдуемъ стоящую передъ лампой воду, послѣ того, какъ черезъ воду пройдутъ лучи: она окажется значительно теплѣе. Если оставить ее тамъ на болѣе продолжительное время, то вода можетъ, наконецъ, закипеть; это происходитъ отъ поглощенія водою части электрическихъ лучей. Но другая часть лучей проходитъ черезъ воду, не подвергаясь поглощенію; эта часть нисколько не содѣйствуетъ нагрѣванію воды. Какъ оказывается, ледъ тоже прозраченъ для этихъ лучей,—поэтому онъ почти и не таетъ при ихъ прохожденіи, и наша ледяная линза, при пропусканьи сквозь нее лучей, пропущенныхъ уже водою, не портится и даетъ рѣзко ограниченный фокусъ. Бѣлая бумага въ этомъ фокусѣ не загорается: она не можетъ поглощать лучи, выходящіе изъ ледяной линзы; черная бумага точно такъ загорается: она поглощаетъ пропущенные линзой лучи.

Здѣсь стоитъ упомянуть объ одномъ ошибочномъ мнѣніи Ньютона, основывавшемся на невѣрныхъ данныхъ; и тѣмъ не менѣе многіе астрономы повторяли послѣ него эту ошибку. Когда комета 1680-го года находилась въ самомъ близкомъ разстояніи отъ солнца, она отстояла отъ него приблизительно на одну шестую часть солнечнаго діаметра. Ньютонъ опредѣлилъ, что ея температура въ двѣ тысячи разъ выше температуры плавленія желѣза. Послѣ нашихъ опытовъ намъ ясно, что о температурѣ кометы нельзя судить по ея разстоянію отъ солнца. Если бы ея способность поглощенія была достаточно мала, то и въ сосѣднее съ солнцемъ пространство она могла бы внести холодъ межпланетнаго пространства.

#### 4. Сжиганіе алмазовъ лучистой теплотой.

Опытъ сжиганія алмаза въ кислородѣ сконцентрированными лучами былъ воспроизведенъ во Флоренціи, во вторникъ, 27 марта 1814 года, въ присутствіи сэра Гомфри Дэви. Фарадэй описываетъ его слѣдующимъ образомъ: «Сегодня мы сдѣлали прекрасный опытъ сжиганія алмазовъ; и дѣйствительно, явленія, полученные при этомъ, были очень красивы и интересны. Изъ стеклянаго шара,—объемомъ около 22 кубическихъ дюймовъ,—выкачали воздухъ и наполнили его кислородомъ; въ этомъ шарѣ въ его центрѣ былъ подвѣшанъ алмазь. Для его нагрѣванія служило зажигательное стекло герцога. Оно состоитъ изъ двухъ двояко-выпуклыхъ

линзы, отстоящихъ другъ отъ друга на  $3\frac{1}{2}$  фута: бóльшая линза имѣла діаметръ въ 14 или 15 дюймовъ, меньшая—въ 3 дюйма. Вторая линза очень уменьшаетъ фокусное разстояніе, и при яркомъ сіяніи солнца въ фокусѣ получается очень интенсивная теплота. Алмазь помѣщали въ фокусѣ и старательно наблюдали. Вдругъ сэръ Гомфри Дэви замѣтилъ, что алмазь находится въ состояніи видимаго горѣнія; когда его выдвинули изъ фокуса, то онъ продолжалъ быстро сгорать».

Раньше ни разу не пробовали сжечь алмазь при помощи лучистой теплоты изъ земного источника. Я попытался исполнить это, прежде чѣмъ отправился въ путешествіе черезъ Атлантическій океанъ; мои опыты увѣнчались успѣхомъ. Вотъ этотъ маленькій алмазь, который я держу въ рукѣ, укрѣпленъ на концѣ платиновой проволоки. Чтобы по возможности предохранить его отъ вѣтра и сконцентрировать на немъ больше теплоты, онъ окруженъ крышкою изъ платиновой жести. Поставимъ подъ нимъ сосудъ съ кислородомъ, и пустимъ на алмазь пучекъ электрическаго свѣта. Черезъ гораздо меньшій промежутокъ времени, чѣмъ при опытѣ, описанномъ Фарадеемъ, алмазь доходитъ до температуры ярко краснаго каденія.

Погрузимъ его въ кислородъ, и онъ засіяетъ, какъ небольшая бѣлая звѣзда; тамъ онъ будетъ горѣть и блестять, пока не сгоритъ совершенно. Фокусъ лучей можно и здѣсь, какъ въ флорентинскомъ опытѣ, навести на алмазь, находящійся въ кислородѣ: результатъ будетъ тотъ же самый. Я поступалъ такъ только для того, чтобы имѣть возможность точнѣе навести фокусъ на алмазь.

## 5. Инфра-красные лучи; калоресценція.

На пути лучей, идущихъ отъ нашей лампы, я поставлю теперь стеклянный сосудъ съ растворомъ квасцовъ. Весь *свѣтъ* луча проходитъ черезъ этотъ растворъ. Этотъ свѣтъ принимается на сильное собирающее зеркало, поверхность котораго спереди посеребрена; это зеркало сводитъ всѣ лучи въ одинъ фокусъ. Вы видите коническій пучекъ отраженнаго свѣта, какъ онъ обрисовывается, благодаря наполняющей комнату пыли. Кусокъ бѣлой бумаги, поставленный въ этотъ фокусъ, заблеститъ яркимъ свѣтомъ, но онъ даже не обугливается. Но если отодвинуть сосудъ съ растворомъ, то онъ тотчасъ же загорится. Слѣдовательно, въ лучахъ есть еще что-то другое, кромѣ свѣта. Свѣтъ не поглощается бѣлой бумагой; поэтому онъ не зажигаетъ ея. Но кромѣ свѣта въ лучахъ есть еще что-то, что поглощается и вызываетъ горѣніе. Что же это такое?

Въ 1800 году сэръ Вильямъ Гершель проводилъ термометръ по всѣмъ цвѣтамъ солнечнаго спектра и отмѣчалъ соответствующее каждому цвѣту повышеніе температуры. Онъ нашелъ, что тепловое дѣйствіе возрастало по направленію отъ фіолетоваго конца къ красному. Но онъ не остановился на концѣ спектра, а провелъ термометръ дальше въ темное пространство за краснымъ цвѣтомъ. Оказалось, что здѣсь температура выше, чѣмъ въ какой-бы то ни было части видимаго спектра. Это важное наблюденіе доказало, что солнце испускаетъ тепловые лучи, совершенно не дѣйствующіе на наше зрѣніе. Этимъ вопросомъ занялись потомъ Зибекъ, Меллони,

Мюллеръ и др. Въ послѣдніе годы онъ значительно разросся и приобрѣлъ важное значеніе. Изобрѣли способъ «фильтровать» лучи солнца или электрической лампы такъ, что инфра-красные лучи отдѣляются, не подвергаясь никакимъ измѣненіямъ, а все видимые и ультра-фіолетовые лучи задерживаются. Такимъ образомъ мы имѣемъ возможность, если захотимъ, производить опыты съ однѣми только инфра-красными волнами.

При нагрѣваніи тѣла до блага каленія, излученіе невидимыхъ лучей является необходимымъ основаніемъ видимыхъ. Надъ этимъ столомъ протянута платиновая проволока, и черезъ нее пропускается электрической токъ. Токъ нагрѣваетъ проволоку, въ чемъ можно убѣдиться, прикоснувшись къ ней рукою. Она не испускаетъ свѣтовыхъ лучей, но испускаетъ тепловые. При усиленіи тока проволока нагрѣвается сильнѣе; наконецъ, она начинаетъ свѣтиться равнымъ краснымъ свѣтомъ. По этому вопросу докторъ Дрэнперъ предпринялъ очень интересныя изслѣдованія. Онъ нагрѣвалъ проволоку гальваническимъ токомъ, и изслѣдовалъ при помощи призмы послѣдовательное появленіе различныхъ цвѣтовъ спектра. Первый появившійся цвѣтъ, какъ и у насъ, былъ красный; затѣмъ появился оранжевый, желтый, зеленый и, наконецъ, все оттѣнки голубого. Температура платины значительно поднялась; колебанія атомовъ стали гораздо быстрѣе; появились и болѣе короткія волны, пока, наконецъ, не получились волны, соотвѣтствующія цѣлому спектру. Съ появленіемъ каждаго послѣдующаго цвѣта усиливались предшествующіе цвѣта. Но интенсивность или сила свѣта, какъ и звука,—зависитъ не отъ длины волны, а отъ амплитуды колебанія. Съ появленіемъ болѣе преломляемыхъ лучей усиливалась интенсивность менѣе преломляемыхъ; изъ этого мы въ правѣ заключить, что съ введеніемъ болѣе короткихъ волнъ происходитъ увеличеніе амплитуды колебанія длинныхъ волнъ.

Эти замѣчанія относятся не только къ видимымъ лучамъ, изслѣдованнымъ Дрэнперомъ, но и ко всякимъ невидимымъ, неизмѣнно предшествующимъ появленію какого бы то ни было свѣта. Въ лучахъ, испускаемыхъ этой раскаленной до блага платиновой проволокой, содержатся также и не дающія свѣта волны, какія мы имѣли вначалѣ, при слабомъ нагрѣваніи; только интенсивность ихъ увеличилась въ тысячу разъ, благодаря повышенію температуры, необходимому для полученія блага свѣта. Оба явленія связаны другъ съ другомъ: нельзя получить въ раскаленномъ до блага или расплавленномъ тѣлѣ короткихъ волнъ, не усиливъ длиннѣйшихъ волнъ. Только при такихъ условіяхъ возможно такое тѣло, какъ солнце; поэтому сэръ Вильямъ Гершель и открылъ невидимую инфра-красную часть солнечныхъ лучей.

Невидимая теплота, испускаемая, какъ темными, такъ и свѣтящимися тѣлами, распространяется въ пространствѣ со скоростью свѣта; ее называютъ *лучистой теплотой*. Лучистая теплота можетъ быть удобнымъ и могущественнымъ орудіемъ изслѣдованія въ области молекулярной физики; благодаря ей, явленія химическихъ соединеній явились передъ нами въ совершенно новомъ свѣтѣ. Возьмемъ, на примѣръ, воздухъ, которымъ мы дышимъ. Онъ представляетъ собою механическую смѣсь азота и кислорода. Для лучистой теплоты воздухъ все равно, что пустота: онъ не можетъ поглощать ее въ сколько-нибудь замѣтной степени. Но соединимъ оба газа хи-

мически; количество массы не измѣнится, состояніе газа останется прежнимъ, прозрачность остается прежней,—но это химическое соединеніе будетъ сопровождаться большимъ уменьшеніемъ *теплопрозрачности* или способности пропускать лучистую теплоту.

Тѣ же опыты, которые привели къ этимъ результатамъ, доказали также, что элементарные газы большею частью очень прозрачны для лучистой теплоты, а это, въ свою очередь, привело къ доказательству теплопрозрачности элементарныхъ жидкостей, какъ бромъ, и растворовъ простыхъ твердыхъ тѣлъ,—сѣры, фосфора, іода. Передъ вами спектръ; вы видите, что прозрачный двуствѣнный углеродъ не дѣйствуетъ на цвѣта. Но опустимъ въ жидкость немного іода: вы видите, что середина спектра задерживается. Увеличимъ количество іода: его дѣйствіе распространится и, наконецъ, весь спектръ будетъ задержанъ. Іодъ, являющийся такимъ яркимъ врагомъ свѣтовыхъ лучей, совершенно прозраченъ для инфра-красныхъ лучей, съ которыми намъ приходится теперь имѣть дѣло. Онъ и будетъ нашимъ «лучевымъ фильтромъ».

Поставимъ опять передъ электрической лампой сосудъ съ растворомъ квасцовъ; такъ же, какъ и раньше, мы убѣдимся въ полной неспособности сконцентрированного свѣта зажечь бѣлую бумагу. Введемъ теперь еще сосудъ съ растворомъ іода: свѣтъ весь будетъ задержанъ. Отведемъ квасцы, и бѣлая бумага, помѣщенная въ темномъ фокусѣ, тотчасъ же загорится. Черная бумага сильнѣе поглощаетъ инфра-красные лучи, чѣмъ бѣлая,—при ней быстрота и яркость горѣнія увеличиваются. Цинкъ въ этомъ мѣстѣ сгораетъ, магній загорается яркимъ пламенемъ; листъ платины раскаляется въ темномъ фокусѣ до-бѣла.

Если смотрѣть черезъ призму, раскаленная до-бѣла платина даетъ всѣ цвѣта спектра. До тѣхъ поръ, пока волны не попадутъ на платину, онѣ слишкомъ рѣдки, чтобы вызвать зрительное впечатлѣніе. Атомы платины превращаютъ эти длинныя и медленныя волны въ болѣе короткія,—и онѣ дѣлаются видимыми. Примѣняя соответствующіе составы, профессоръ Стоксъ *уменьшалъ* преломляемость на другомъ концѣ спектра, такъ что невидимые лучи дѣлаются видимыми, и это измѣненіе онъ назвалъ *флуоресценціей*. Здѣсь, при помощи платины, преломляемость *повышается*, невидимые лучи дѣлаются видимыми; это явленіе я назвалъ *калоресценціей*.

Въ совершенно невидимомъ фокусѣ, въ которомъ происходятъ эти явленія, воздухъ можетъ быть холоденъ, какъ ледъ. Воздухъ, какъ мы уже говорили, не поглощаетъ лучистой теплоты, и поэтому онъ не нагревается ею. Это убѣдительно все доказываетъ, если можно такъ выразиться, «изолированность» свѣтоноснаго эфира отъ воздуха. Волнообразное движеніе одного изъ нихъ можетъ усилиться и дойти до высшей степени интенсивности, не оказывая никакого дѣйствія на другой. Я могу еще добавить, что возможно при извѣстныхъ предосторожностяхъ помѣстить въ такомъ темномъ фокусѣ, способномъ раскалить до-бѣла платиновую проволоку, человѣческой глазъ, и онъ не только не будетъ поврежденъ, но и не почувствуетъ ни свѣта, ни теплоты.

Важная роль этихъ инфра-красныхъ лучей въ природѣ доказывается слѣдующимъ опытомъ: отодвинемъ фильтрующій растворъ іода, и сконцентрируемъ весь пучекъ свѣта на пробирной трубкѣ съ водой. Вода тотчасъ

начинаетъ клокотать, и черезъ минуту или двѣ уже кипитъ. Отчего же она кипитъ? Поставимъ передъ лампой растворъ квасцовъ, и кипѣніе тотчасъ прекратится. Но растворъ квасцовъ прозраченъ для всѣхъ свѣтовыхъ лучей; слѣдовательно, не они производятъ кипѣніе. Введемъ опять іодъ, и отодвинемъ квасцы: въ невидимомъ фокусѣ тотчасъ же возобновляется сильное кипѣніе. Нагрѣваніе воды мы должны приписать невидимымъ инфра-краснымъ лучамъ.

Итакъ, мы можемъ видѣть, какую важную роль играютъ въ природѣ эти лучи. Благодаря имъ происходитъ нагрѣваніе и затѣмъ испареніе водъ тропическихъ океановъ, отъ нихъ происходятъ и дождь, и снѣгъ. Они поглощаются поверхностью океана и нагрѣваютъ ее, тогда какъ свѣтовые лучи проникаютъ на большую глубину, не производя никакого дѣйствія. Но мы можемъ пойти еще далѣе. Вотъ эта большая бутылъ содержитъ охлаждающую смѣсь; она настолько охлаждена, что водяные пары, находящіеся въ этой комнатѣ, осаждаются на ея поверхности и, замерзая, образуютъ на ней бѣлый покровъ. Введемъ сосудъ съ квасцами и помѣстимъ эту бутылъ въ свѣтящемся фокусѣ электрической лампы: ни одинъ кристаллъ этого покрова не растаетъ. Но отодвинемъ квасцы и введемъ растворъ іода: большая часть покрова растаетъ. Изъ этого мы заключаемъ, что ледъ и снѣгъ, питающіе Рону, Рейнъ и другія рѣки, источниками которыхъ служатъ глетчеры, освобождаются отъ горныхъ оковъ именно этими инфра-красными лучами.

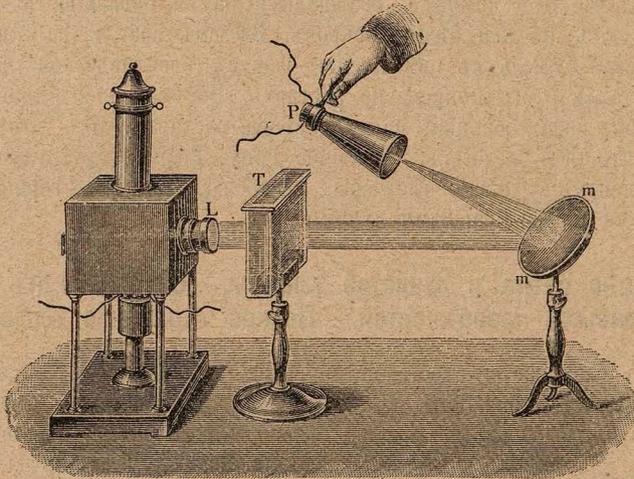
## 6. Тождество свѣта и лучистой теплоты.—Отраженіе отъ плоскихъ и кривыхъ поверхностей.—Полное отраженіе теплоты.

Наука развивается строго органически. Что сегодня служитъ цѣлью, то завтра оказывается оружіемъ для достиженія дальнѣйшихъ цѣлей въ области научнаго изслѣдованія. Каждое новое открытіе тотчасъ же дѣлается основаніемъ для новыхъ открытій, или для новыхъ методовъ изслѣдованія. Лѣтъ пятьдесятъ тому назадъ Эрстедтъ въ Копенгагенѣ открылъ отклоненіе магнитной стрѣлки электрическимъ токомъ. Почти въ тоже время Томасъ Зебекъ въ Берлинѣ открылъ термо-электричество. Векоръ послѣ того Нобили и Меллиони воспользовались этими великими открытіями для устройства инструмента, значительно обогатившаго наши свѣдѣнія о лучистой теплотѣ. Этотъ инструментъ,—такъ называемый термо-электрической столбикъ, состоитъ изъ тонкихъ палочекъ висмута и сурьмы, которыя спаяны попеременно концами, но въ остальныхъ мѣстахъ раздѣлены. Отъ концовъ этого термо-электрическаго столбика проходятъ проволоки къ гальванометру, состоящему изъ спиральной мѣдной проволоки, внутри и надъ которой привѣшено по магнитной стрѣлкѣ: эти стрѣлки соединены неизмѣнно, и тщательно ограждены отъ дѣйствія тоновъ воздуха.

Дѣйствіе этого прибора слѣдующее: теплота, падающая на столбикъ, вызываетъ электрической токъ; токъ, проходя черезъ катушку, отклоняетъ стрѣлки, и величину этого отклоненія можно принять за мѣру теплоты. Верхняя стрѣлка вращается надъ градуированнымъ дискомъ,—она слишкомъ мала, чтобы можно было прямо видѣть ее. Но теперь она сильно освѣщена. Надъ нею находится линза, которая могла бы дать на потолокъ

изображеніе стрѣлки и градуированнаго диска прибора. Но это изображеніе неудобно видѣть; поэтому мы принимаемъ эти лучи на поставленное надъ надлежащимъ угломъ зеркало, которое и отражаетъ это изображеніе на вертикальный экранъ. Такимъ образомъ вы всё можете видѣть движенія этой маленькой стрѣлки.

Чувствительность этого аппарата такова, что съ нимъ очень трудно работать въ комнатѣ, наполненной, какъ эта, физически «теплой» публикой. Мой помощникъ стоитъ въ нѣсколькихъ шагахъ отъ нея. Я поворачиваю къ нему столбикъ: теплота, излучаемая его лицомъ, даже на такомъ разстояніи вызываетъ отклоненіе въ  $90^\circ$ . Теперь я поворачиваю инструментъ къ самой дальней стѣнѣ, температура которой нѣсколько ниже средней температуры всей комнаты. Стрѣлка отклоняется и переходитъ на другую сторону нуля, показывая этимъ отрицательнымъ отклоненіемъ, что столбикъ утратилъ свою теплоту излученіемъ по направленію къ холодной



Фиг. 49.

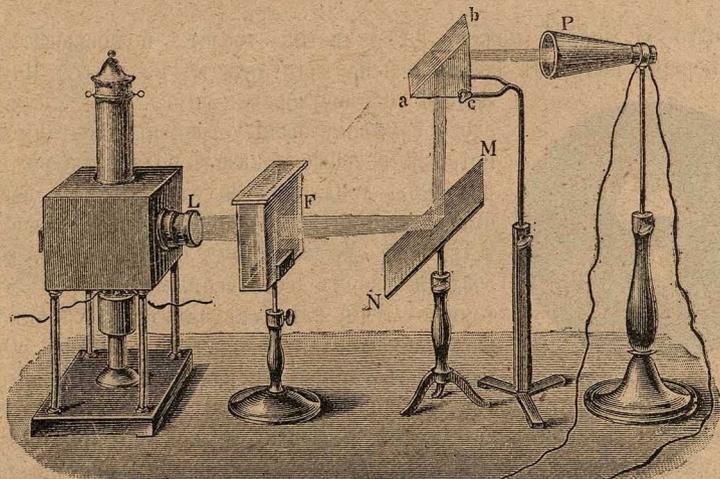
стѣнѣ. Пользуясь этимъ инструментомъ, лучевымъ фильтромъ и большой призмой Николя, мы можемъ разрѣшить одинъ очень интересный вопросъ, уже давно привлекавшій къ себѣ вниманіе нашихъ самыхъ выдающихся изслѣдователей,—вопросъ о тождествѣ свѣта и лучистой теплоты.

Свѣтъ и лучистая теплота, конечно, не могутъ быть тождественны во *всѣхъ* отношеніяхъ,—иначе они должны были бы дѣйствовать совершенно одинаково на всѣ инструменты, въ томъ числѣ и на глазъ. Тождество между ними такое-же, какъ между двумя цвѣтами спектра: они совершенно одинаково подчиняются законамъ отраженія, преломленія, двойнаго преломленія и поляризаціи. Разсмотримъ вкратцѣ сходство между свѣтомъ и теплотой.

Что касается отраженія отъ плоскихъ поверхностей, то мы можемъ отразить свѣтъ при помощи обыкновеннаго зеркала. Отмѣтивъ на пути отраженнаго луча какую нибудь точку, мы задерживаемъ свѣтъ растворомъ іода и помѣщаемъ въ этой точкѣ столбикъ; стрѣлка тотчасъ отклоняется и это показываетъ, что теплота отражается въ томъ же напра-

влени, какъ и свѣтъ. Это вѣрно для любого положенія зеркала. Возьмемъ напр., къ опытамъ съ тѣмъ приборомъ, которымъ мы пользовались во время первой лекціи (фиг. 3); если мы будемъ подвигать прикрѣпленный къ зеркалу указатель по дѣленіямъ нашей градуированной дуги (mn), а при помощи термоэлектрическаго столба будемъ опредѣлять направление невидимаго отраженнаго луча, то мы убѣдимся, что угловая скорость тепловаго луча, также какъ и свѣтового, вдвое больше угловой скорости зеркала.

Что касается отраженія отъ кривыхъ поверхностей, то и тутъ тождество сохраняется. Примемъ свѣтъ нашей электрической лампы на вогнутое зеркало (mn, фиг. 49), онъ сводится отраженіемъ въ коническій пучекъ свѣта, который виденъ намъ, благодаря летающей въ комнатѣ пыли; отмѣтимъ стрѣлкой вершину конуса, и задержимъ свѣтъ растворомъ іода



Фиг. 50.

(Т); стоить только поставить столбикъ (Р) въ отмѣченной точкѣ, и стрѣлка сразу сильно отклонится.

Обыкновенное и полное отраженіе лучистой теплоты можно доказать одновременно.

Выходящій изъ отверстія лампы (L, фиг. 50) лучъ падаетъ на плоское зеркало (MN), отражается кверху и входитъ въ прямоугольную призму, сѣченіе которой изображено треугольникомъ abc. Лучъ встрѣчаетъ гипотенузу подъ угломъ, который больше предѣльнаго <sup>1)</sup> угла, — онъ претерпѣваетъ полное отраженіе. Задержимъ свѣтъ лучевымъ фильтромъ (въ F), и помѣстимъ въ Р столбикъ; тотчасъ послѣ полного отраженія тепловые лучи попадутъ на столбикъ, какъ мы это замѣтимъ по отклоненію стрѣлки гальванометра.

<sup>1)</sup> См. первую лекцію.

## 7. Невидимыя изображенія, образуемая лучистой теплотой.

Ни одинъ опытъ, быть можетъ, не докажетъ съ такой убѣдительною тождествомъ свѣта и лучистой теплоты, какъ образованіе невидимыхъ тепловыхъ изображеній. Возьмемъ опять зеркало, которымъ мы пользовались для наиболѣе сильной концентрации пучка лучей. Какъ намъ извѣстно, свѣтовые лучи давали въ фокусъ обратное изображеніе раскаленныхъ углей. Задержимъ теперь свѣтъ лучевымъ фильтромъ и помѣстимъ въ фокусъ тонкій платиновый листъ; на немъ появится раскаленное до-бѣла изображеніе углей. Такимъ образомъ передъ нами обнаружится присутствіе и распределеніе невидимыхъ лучей.

## 8. Поляризація теплоты.

Долго не знали, можетъ ли лучистая теплота поляризоваться, или нѣтъ. Бераръ получилъ положительные результаты, но опыты Поуэлла и Ллойда не подтвердили этого. Возникшія послѣ этого сомнѣнія были устранены опытами Форбса, который впервые доказалъ поляризацію и «деполяризацію» теплоты. Затѣмъ этимъ вопросомъ сталъ заниматься такой выдающійся изслѣдователь, какъ Меллони; онъ очень удачно воспользовался своимъ собственнымъ открытіемъ, что темные лучи изъ свѣтящагося источника отчасти пропускаются чернымъ стекломъ. Онъ задерживалъ такую стекляною пластинкой свѣтъ отъ масляной лампы, и производя опыты съ пропущенными невидимыми лучами, получилъ явленія поляризаціи; полученные имъ результаты были несравненно крупнѣе, чѣмъ при опытахъ съ несвѣтящимся источникомъ. Теперь, обладая болѣе совершеннымъ лучевымъ фильтромъ и болѣе сильнымъ источникомъ теплоты, мы можемъ разрѣшить всѣ вопросы о тождествѣ свѣта и лучистой теплоты.



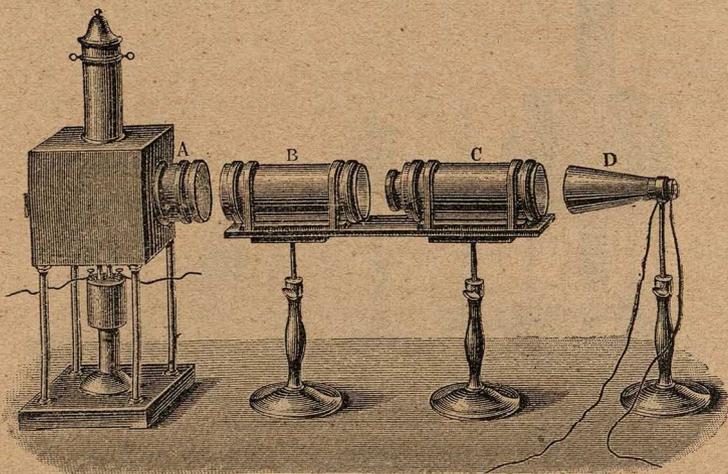
Фиг. 51.

Поставимъ передъ электрической лампы наши двѣ призмы Николя (*B* и *C*, фиг. 52), такъ, чтобы ихъ главныя сѣченія были взаимно-перпендикулярны; свѣтъ не достигнетъ экрана. Помѣстимъ за призмами термоэлектрическій столбъ (*D*), обративъ его къ источнику свѣта: стрѣлка не отклонится. Но поставимъ между лампой (*A*) и первой призмой (*B*) нашъ лучевой фильтр; свѣтъ, проходившій прежде черезъ первую призму Николя, теперь погашается; малѣйшій поворотъ одной изъ призмъ тотчасъ же дастъ тепловымъ лучамъ возможность пройти черезъ обѣ призмы. При самомъ незначительномъ поворотѣ стрѣлка отклоняется на  $90^\circ$ . Если мы возвратимъ повернутую призму вновь въ прежнее ея положеніе, стрѣлка опять вернется къ нулю. Это вполне доказываетъ поляризацію теплоты.

Вы уже видѣли, какое дѣйствіе производитъ, при свѣтовыхъ лучахъ, пластинка слюды, помѣщенная между поляризаторомъ и анализаторомъ, если призмы перпендикулярны другъ къ другу и поле зрѣнія темно.

Только въ двухъ положеніяхъ слюда не производитъ замѣтнаго вліянія, во всѣхъ же остальныхъ она образуетъ своеобразные эффекты. Совершенно аналогичное соотношеніе наблюдается и при лучистой теплотѣ. Введемъ нашъ лучевой фильтръ; когда глазъ не ощущалъ свѣта, тогда и термо-электрическій столбикъ, играющій роль глаза по отношенію къ невидимымъ лучамъ, не воспринимаетъ теплоты. Но если слюду повернуть такъ, что плоскость ея колебаній будетъ наклонна къ плоскостямъ колебаній поляризатора и анализатора, то тепловые лучи могутъ пройти. Дѣйствіе настолько сильно, что достаточно ввести пластинку слюды на одинъ только моментъ въ темное пространство между призмами, и стрѣлка отклонится на  $90^\circ$ . Это явленіе и назвали «деполяризацией». Этотъ опытъ доказываетъ, что какъ свѣтовые, такъ и тепловые колебанія эфира одинаково разлагаются слюдой и соединяются опять анализаторомъ.

Уберемъ слюду и, ожидая, пока стрѣлка гальванометра успокоится а нуль, введемъ между призмами пластинку кварца, вырѣзанную перпен-



Фиг. 52.

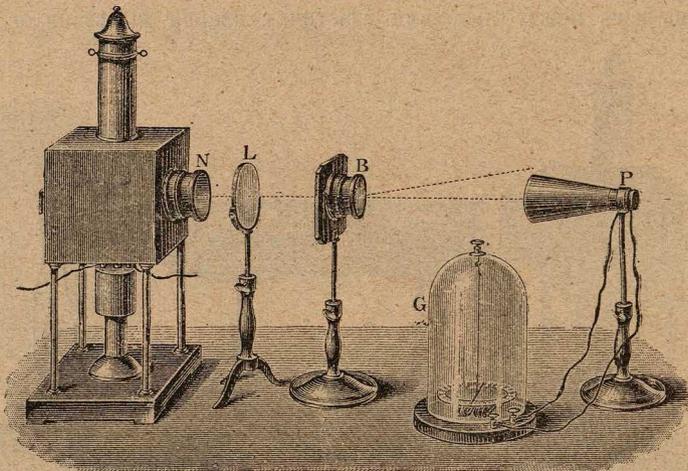
дикулярно къ оси: немедленное отклоненіе стрѣлки показываетъ, что тепловые лучи проходятъ. Если изслѣдовать подробнѣе пропущенные лучи, то окажется, что они подверглись круговой поляризации,—совершенно такъ, какъ это было бы съ свѣтовымъ лучемъ при тѣхъ же условіяхъ.

## 9. Двойное преломленіе теплоты.

Оставимъ теперь призмы Николя и пропустимъ «профильтрованный» невидимый пучекъ лучей черезъ кусокъ исландскаго шпата (*B*, фиг. 53), которымъ уже пользовались на третьей лекціи, — когда хотѣли показать двойное преломленіе свѣта. Чтобы опредѣлить положеніе обоихъ изображеній, будемъ сначала пользоваться свѣтящимися лучами. Отмѣтивъ мѣсто свѣтлыхъ изображеній, мы вводимъ между *N* и *L* лучевой фильтръ (онъ не изображенъ на рис.) и погашаемъ свѣтъ. Приближая понемногу термо-электрическій столбикъ къ одному изъ отмѣченныхъ мѣстъ, мы видимъ, что стрѣлка остается неподвижна; но какъ только столбикъ достигаетъ

отмѣченнаго мѣста, отклоненіе стрѣлки тотчасъ покажетъ, что оно нагрѣто. Перемѣщая столбикъ черезъ пространство, раздѣляющее оба отмѣченныя мѣста, мы видимъ, что стрѣлка снова находится на нуль и снова отклоняется на  $90^\circ$ , когда достигнетъ мѣста второго изображенія. Это доказываетъ двойное преломленіе теплоты.

Повернемъ теперь исландскій шпатель, — отклоненіе стрѣлки не измѣняется. Переведемъ столбикъ быстрымъ движеніемъ къ мѣсту второго изображенія: положеніе стрѣлки не мѣняется. Повернемъ еще исландскій шпатель, — теперь стрѣлка падаетъ на  $0^\circ$ , но отклоняется опять на  $90^\circ$  при поворотѣ шпата на  $360^\circ$ . Мы знаемъ, что при свѣтовыхъ лучахъ необыкновенный лучъ вращается около обыкновеннаго; здѣсь мы производили опыты съ необыкновеннымъ тепловымъ лучемъ; оказывается, что онъ подвергается двойному преломленію совершенно такъ же, какъ и свѣтовой лучъ.



Фиг. 53.

## 10. Магнетизація теплоты.

Чтобы наше сравненіе было полно, необходимо показать еще магнетизацію теплоты. Но для этого необходимо нѣсколько измѣнить наши приспособленія. Повторяя опытъ Фарадея надъ магнетизаціей свѣта, мы перекрещивали призмы Николя и дѣлали поле зрѣнія темнымъ; при возбужденіи тока электромагнита на экранѣ появлялся свѣтъ. Количество свѣта, пропускаемое при такихъ условіяхъ, очень незначительно; оно дѣйствуетъ такъ сильно, лишь благодаря контрасту съ предшествующей темнотой. Поставимъ теперь призмы Николя такъ, чтобы ихъ главныя свѣченія образовали уголъ въ  $45^\circ$ ; при возбужденіи электромагнита, свѣтъ усиливается гораздо больше, хотя это увеличеніе и не такъ ощутительно для глаза: — здѣсь вѣдь нѣтъ контрастовъ, такъ какъ поле зрѣнія было освѣщено заранѣе.

При опытѣ магнетизаціи тепловыхъ лучей, мы будемъ поступать сходнымъ образомъ. Но здѣсь при началѣ опыта значительное количество

теплоты падаетъ на одну сторону термоэлектрическаго столбика; чтобы уравновѣсить это дѣйствіе, мы пустимъ на другую сторону столбика лучи изъ другого источника. Такимъ образомъ стрѣлку гальванометра можно привести къ нулю. Задержимъ теперь при помощи лучеваго фильтра свѣтовые лучи, и замкнемъ токъ электромагнита: стрѣлка тотчасъ же отклонится, доказывая этимъ, что магнитъ далъ пропускъ тепловымъ лучамъ, совершенно такъ же, какъ онъ это дѣлалъ въ опытѣ Фарадея для свѣтовыхъ лучей. Во всѣхъ видѣнныхъ нами случаяхъ тождество свѣта и лучистой теплоты обнаружилось съ полной очевидностью.

Двойное преломленіе теплоты въ исландскомъ шпатѣ впервые было обнаружено замѣчательными опытами Кноблауха, который долго и успѣшно работалъ надъ этимъ вопросомъ; но хотя онъ при своихъ опытахъ пользовался свѣтящейся теплотой солнца, наблюдаемыя имъ отклоненія были очень незначительны. Затѣмъ двумъ замѣчательнымъ изслѣдователямъ, де-ла-Провостэ и Дезену, удалось магнетизировать тепловой лучъ; но и въ этомъ случаѣ, хотя они тоже пользовались свѣтящейся теплотой солнца, отклоненіе было не болѣе 2 или 3°. При темныхъ тепловыхъ лучахъ въ прежнихъ опытахъ не достигали такого эффекта: но при помощи описанныхъ здѣсь приспособленій можно получить отклоненіе стрѣлки гальванометра до 150°.

## 11. Распредѣленіе теплоты въ электрическомъ спектрѣ.

Наконецъ мы должны опредѣлить расположеніе и силу невидимыхъ лучей, вызывающихъ эти явленія. Для этой цѣли мы воспользуемся особаго рода термоэлектрическимъ столбикомъ. Его наружная сторона представляетъ собою прямоугольникъ, раздвижныя боковыя стороны котораго позволяютъ дѣлать его сколь угодно узкимъ. Отбросивъ на экранъ узкій и сконцентрированный спектръ, мы, при помощи безконечнаго винта, проводимъ черезъ всѣ цвѣта его нашъ прямоугольный столбикъ, опредѣляя послѣдовательно тепловое дѣйствіе каждаго цвѣта.

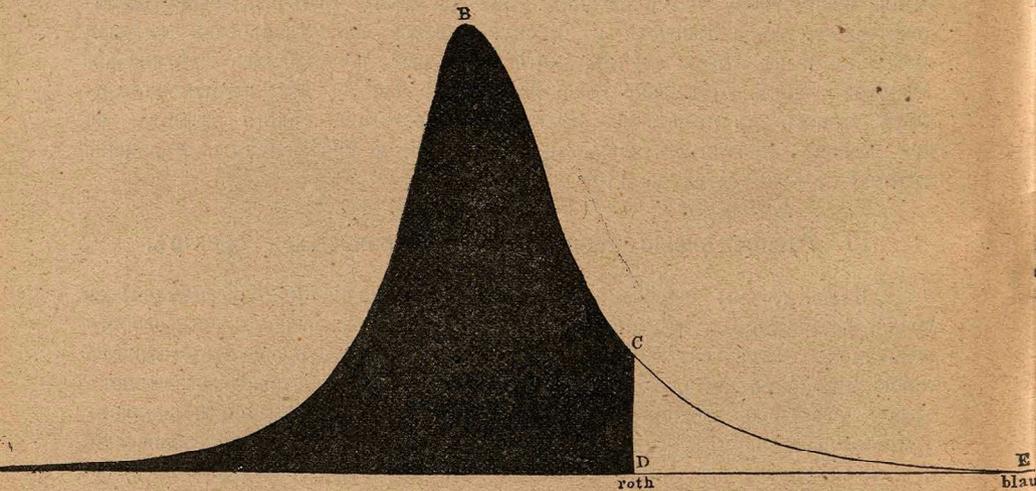
Когда нашъ приборъ находится на фіолетовомъ концѣ спектра, тепловое дѣйствіе оказывается наименѣ замѣтнымъ, но, по мѣрѣ того, какъ столбикъ переходитъ отъ фіолетоваго къ красному концу, тепловое дѣйствіе лучей постепенно увеличивается. Красный свѣтъ производитъ самое сильное тепловое дѣйствіе. Передвинувъ столбикъ въ темное пространство за краснымъ концомъ, мы замѣчаемъ, что температура быстро поднимается, и на нѣкоторомъ разстояніи отъ него достигаетъ своего максимума. Затѣмъ она падаетъ, быстрее, чѣмъ поднималась, и, наконецъ, повышеніе температуры постепенно сводится на нуль.

Проведемъ горизонтальную линію, соответствующую длинѣ спектра, и въ различныхъ точкахъ ея возстановимъ перпендикуляры, пропорціональные тепловому дѣйствію соответствующихъ точекъ (фиг. 54). Вершины этихъ перпендикуляровъ образуютъ кривую, показывающую распредѣленіе теплоты въ призмennomъ спектрѣ; она изображена на прилагаемой фигурѣ. Начиная съ фіолетоваго конца, кривая поднимается, сначала очень полого; затѣмъ, къ красному концу, подъемъ дѣлается круче, и линія *CD* показываетъ наиболѣе сильное дѣйствіе видимаго луча. За краснымъ

цвѣтомъ она круто поднимается, образуя въ *B* острую вершину, откуда она падаетъ, сначала быстро, а потомъ постепенно, до тѣхъ поръ, пока дѣйствіе теплоты уже не ощущается столбикомъ.

Эта кривая фигура есть результатъ болѣе двѣнадцати тщательныхъ наблюденій; для каждаго наблюденія была построена особая кривая. Когда эти кривыя наложили другъ на друга, то оказалось, что онѣ довольно точно совпадаютъ. Изъ этого мы можемъ заключить, что, въ каждомъ отдѣльномъ случаѣ, площади бѣлаго и темнаго пространства изображаютъ относительную величину тепловой энергіи видимыхъ и невидимыхъ лучей. Последняя въ 7,7 разъ болѣе первой.

Но, какъ мы уже говорили, строгость научнаго изслѣдованія заключается въ повторномъ подтвержденіи опыта. Опредѣлимъ энергію полного лучеиспусканія электрической лампы; затѣмъ, при помощи фильтрующаго іод-



Фиг. 54.

наго раствора, опредѣлимъ энергію инфракрасныхъ лучей; разность между ними покажетъ энергію видимой части спектра. Такимъ путемъ было найдено, что энергія невидимыхъ лучей въ восемь разъ болѣе, чѣмъ видимыхъ. Какъ независимы другъ отъ друга эти методы опредѣленія, и какъ близко совпадаютъ результаты! Поэтому я полагаю, что на наши данныя относительно распредѣленія теплоты въ спектрѣ электрической лампы можно вполне положиться.

Насколько строгъ и точенъ методъ наблюденій, настолько же вѣрны и сдѣланныя на основаніи ихъ заключенія. Вѣдь спектры получаются также при помощи дифракціи; въ нихъ свѣтъ и теплота распредѣлены не такъ, какъ въ призматическихъ спектрахъ. Эти спектры были очень искусно изслѣдованы Дрэперомъ и Ланглэемъ. Оказалось, что въ призматическомъ спектрѣ наименѣе преломляемые лучи концентрируются на гораздо меньшемъ пространствѣ, чѣмъ въ спектрахъ дифракционныхъ.

## ШЕСТАЯ ЛЕКЦИЯ.

Основы спектрального анализа. — Анализъ, при помощи призмы, свѣта раскаленныхъ паровъ. — Прерывные спектры. — Доказательство Бунзена и Кирхгофа, что полосы спектра характеризуютъ газы. — Открытіе рубидія, цезія и таллія. — Соотношеніе между излученіемъ и поглощеніемъ. — Фраунгоферовы линіи. — Объясненіе ихъ Кирхгофомъ. — Химія солнца. — Опытъ Фуко. — Законы поглощенія. — Аналогія звука и свѣта. — Опытное доказательство этой аналогіи. — Новѣйшія примѣненія спектроскопа. — Заключеніе.

При нашихъ опытахъ источникомъ свѣта служили концы двухъ кусковъ кокса, раскаленные до-бѣла электрическимъ токомъ. Коксъ очень подходитъ для этой цѣли, — онъ можетъ переносить высокую температуру, не плавясь и не испарясь. Кроме того, онъ черного цвѣта, а это повышаетъ яркость свѣта: опыты профессора Бальфура Стюарта показали, что тѣмъ чернѣе тѣло, тѣмъ ярче, при прочихъ равныхъ условіяхъ, оно свѣтится при бѣломъ каленіи.

Но хотя уголь и очень трудноплавокъ, все же при тщательномъ изслѣдованіи вольтовой дуги или потока свѣта между углями оказывается, что въ немъ находятся раскаленные до-бѣла угольные пары. Если бы мы могли отдѣлить этотъ свѣтъ пара отъ болѣе яркаго свѣта твердаго тѣла, то мы убѣдились бы, что спектръ пара не только блѣднѣе, но и вообще рѣзко отличается отъ видѣнныхъ нами до сихъ поръ спектровъ. Онъ не представляетъ собою непрерывнаго ряда послѣдовательныхъ цвѣтовъ, начиная съ краснаго и кончая фіолетовымъ, — въ немъ есть только нѣсколько цвѣтныхъ полосъ, а между ними находится темное пространство.

Туже особенность, еще въ большей степени, обнаруживаютъ металлы, — самые трудноплавкіе изъ нихъ можно расплавить электрическимъ токомъ, привести въ состояніе кипѣнія и обратить въ пары. Отъ раскаленныхъ до бѣла паровъ получаются, вообще говоря, группы лучей различной преломляемости, а между ними въ спектрѣ находятся пространства, на которыя совсѣмъ не падаетъ лучей. Но одинъ взглядъ на такой спектръ объяснить болѣе, чѣмъ всѣ слова. Въ камеру электрической лампы мы вставляемъ угольный цилиндрокъ; на концѣ этого цилиндрика выдолблено небольшое углубленіе, въ которое кладется кусочекъ металла таллія. Затѣмъ приставляется верхній уголь и они разъединяются другъ отъ друга. Между ними получаются раскаленные до бѣла пары таллія, увеличенное изображеніе которыхъ вы видите на экранѣ: они прекраснаго зеленого цвѣта. Что означаетъ этотъ зеленый цвѣтъ? Для отвѣта на этотъ вопросъ

намъ приходится изслѣдовать его при помощи призмы. Оказывается, что призмный спектръ этого свѣта состоитъ изъ одной только зеленой полосы: пары таллія испускаютъ свѣтъ только одной степени преломляемости, соотвѣтствующей этому зеленому свѣту.

Уберемъ теперь таллій и положимъ на его мѣсто кусочекъ серебра. Дуга серебряныхъ паровъ нисколько не отличается отъ дуги таллія; она не только зеленаго цвѣта, но даже того самаго оттѣнка. Что же, эти дуги одинаковы? Отвѣтъ на этотъ вопросъ дастъ намъ опытъ съ призмой. Насколько невозможно отличить другъ отъ друга *цвѣта* этихъ дугъ, настолько же невозможно смѣшать ихъ спектры. Спектръ серебряныхъ паровъ содержитъ двѣ зеленыхъ полосы вмѣсто одной.

Прибавимъ теперь къ серебру кусочекъ таллія, — тогда мы должны получить свѣтъ обоихъ металловъ. Подождавъ немного, мы видимъ, что зеленая полоса таллія ложится между полосами серебра. Отсюда сходство цвѣтовъ дугъ.

Но почему намъ пришлось «подождать немного», прежде чѣмъ мы увидѣли это? Сначала полоса таллія почти совсѣмъ покрывала полосы серебра, благодаря своей большей яркости. Въ самомъ дѣлѣ, полосы серебра удивительно поблѣднѣли съ введеніемъ таллія, и по очень интересной причинѣ. Способность тока производить нагрѣваніе обуславливается *сопротивленіемъ* при его прохожденіи отъ одного угля къ другому. Уменьшится сопротивление, — уменьшится и нагрѣваніе. Если совсѣмъ уничтожить сопротивление, то вовсе не выдѣлится теплоты. Таллій гораздо легче плавится и испаряется, чѣмъ серебро; его пары настолько облегчаютъ прохожденіе тока, что онъ почти не въ состояніи испарять серебро. Но таллій понемногу расходуется, количество его паровъ уменьшается, сопротивление увеличивается, и, наконецъ, мы видимъ обѣ полосы серебра такими же яркими, какъ и раньше <sup>1)</sup>.

Эти полосы представляютъ собою превосходные неизмѣнные признаки обоихъ металловъ. При серебрѣ вы можете получить только эти двѣ зеленныя полосы; при талліи только одну, а при смѣси ихъ паровъ, непременно получите три полосы. Каждому извѣстному металлу свойственны особыя полосы; ни въ одномъ изъ извѣстныхъ намъ случаевъ полосы двухъ различныхъ металловъ не соотвѣтствовали одной и той же степени преломляемости. Изъ этого слѣдуетъ, что эти спектры могутъ быть вѣрными указателями наличности или отсутствія любого металла. Если мы имѣемъ не металлы, а ихъ сплавы, то дѣло нисколько не мѣняется. Мѣдь даетъ зеленныя полосы, цинкъ — голубыя и красныя; латунь, сплавъ мѣди и цинка — даетъ полосы обоихъ металловъ, и ни положеніе ни характеръ ихъ не мѣняются.

Но дѣло не ограничивается одними металлами; *соли этихъ металловъ* даютъ тѣ же полосы, что и самые металлы. При достаточно высокой температурѣ химическое соединеніе разлагается; пары металла освобождаются и даютъ свойственные имъ характерныя полосы. Хлористыя соединенія металловъ особенно подходятъ для такихъ опытовъ. Такъ, обычно-

<sup>1)</sup> Это обстоятельство не слѣдуетъ упускать изъ виду при изслѣдованіи сложныхъ спектровъ.

венная (поваренная) соль представляет собою соединеніе хлора и натрія; она даетъ спектръ металла натрія. Подобнымъ же образомъ хлористыя соединенія мѣди, литія и стронція образуютъ полосы, свойственныя этимъ металламъ.

Знаменитые изобрѣтатели спектральнаго анализа, Бунзенъ и Кирхгофъ изслѣдовали спектры всѣхъ извѣстныхъ имъ элементовъ; послѣ этого они открыли спектръ, содержащій полосы, которыя до тѣхъ поръ получены не были. Они тотчасъ же заключили изъ этого, что существуетъ новый, дотогѣ неизвѣстный металлъ. Работая нѣкоторое время надъ остаткомъ, полученнымъ при испареніи одной минеральной воды изъ Германіи, они знали, что въ этой водѣ заключается неизвѣстный металлъ, но большое количество его испарялось раньше, чѣмъ удавалось получить достаточно осадка, изъ котораго можно было бы выдѣлить этотъ металлъ обыкновенными химическими путями. Но имъ это удалось, и этотъ металлъ, названный рубидіемъ, приводится теперь въ числѣ химическихъ элементовъ. Затѣмъ они открыли также второй металлъ, названный цезіемъ. Такимъ образомъ, обосновавъ научно спектральный анализъ, они доказали также его пригодность для новыхъ открытій. Вскрѣя потомъ Круксъ, пользуясь тѣмъ же методомъ, открылъ блестящую зеленую полосу таллія и получилъ также соли этого металла. Самый металлъ въ отдѣльности былъ полученъ въ слиткахъ французскимъ химикомъ Лами.

Всѣ эти химическія открытія были произведены на землѣ, гдѣ матеріалъ находился въ нашихъ рукахъ. Но вскорѣ было показано, что спектральный анализъ можетъ быть примѣненъ также для изслѣдованія солнца и звѣздъ; это произошло при разрѣшеніи одного вопроса, который долго служилъ загадкой для естествоиспытателя. Мы должны постараться понять, какъ самый вопросъ, такъ и его рѣшеніе. Спектръ называется *чистымъ*, если въ немъ отдѣльные цвѣта не налегаютъ другъ на друга. Чтобы очистить спектръ, мы пользуемся тонкимъ пучкомъ лучей и увеличиваемъ число призмъ. Если получить такимъ образомъ чистый солнечный спектръ, то мы увидимъ, что онъ пересѣкается безчисленнымъ множествомъ темныхъ линий. Первый увидѣлъ четыре линіи докторъ Вульстенъ (Wollaston), но потомъ число и положеніе ихъ было такъ хорошо измѣрено Фрауэнгоферомъ, что онѣ съ тѣхъ поръ стали извѣстны подъ названіемъ «фрауэнгоферовыхъ линій».

Объяснить происхожденіе этихъ линій,—вотъ задача, которая, какъ я уже сказалъ, уже много времени приковывала къ себѣ вниманіе естествоиспытателей. Честь первымъ разрѣшить ее выпала на долю Кирхгофа.

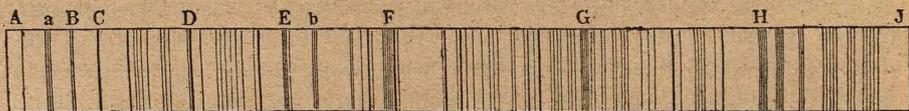
(Положеніе главныхъ линій, обозначенныхъ буквами по Фрауэнгоферу, видно на прилагаемомъ (фиг. 55) изображеніи солнечнаго спектра. А обозначаетъ красный конецъ спектра, I—фиолетовый).

Краткое сообщеніе,—всего въ двѣ страницы,—объ этомъ замѣчательно открытіи было сдѣлано въ берлинской академіи 27 октября 1859 г. Фрауэнгоферъ замѣтилъ въ спектрѣ горѣлки двѣ блестящія линіи, которыя по своему положенію совершенно совпадали съ двойной линіей D въ солнечномъ спектрѣ. Эти блестящія линіи получались особенно ясно при желтомъ пламени, при горѣннн смѣси соли и спирта. На самомъ дѣлѣ они представляютъ собою линіи паровъ натрія. Кирхгофъ получилъ спекторъ, пропу-

стивъ солнечный свѣтъ черезъ тонкую щель и призму телескопа, при чемъ передъ щелью онъ ставилъ желтое натріевое пламя. Пока спектръ былъ блѣдный, отъ желтаго пламени всегда появлялись двѣ блестящія линіи на мѣстѣ двухъ темныхъ линій D спектра. Въ этомъ случаѣ поглощеніе пламенемъ солнечнаго свѣта съ избыткомъ покрывалось излученіемъ самаго пламени, но когда солнечный спектръ дѣлался достаточно яркимъ, блестящія линіи совершенно исчезали, а обѣ темныя фраунгоферовы линіи появлялись гораздо рѣзче и янѣе, чѣмъ когда не было пламени.

Слѣдуетъ замѣтить, что это происходитъ не отъ дѣйствительнаго погашенія свѣтлыхъ линій пламени, но отъ усиленія яркости прилегающаго къ нимъ спектра. Опытъ съ большою очевидностью доказалъ, что когда бѣлый свѣтъ, проходящій черезъ пламя, достаточно ярокъ, то количество поглощаемаго пламенемъ свѣта гораздо больше излучаемаго.

Это открытіе имѣло очень большое значеніе. Кирхгофъ немедленно вывелъ заключеніе, что пламя соли, которое могло до такой степени усиливать темныя линіи, можетъ, вѣроятно, само образовать ихъ въ непрерывномъ спектрѣ. Извѣстно, что спектръ друммондова свѣта содержитъ двѣ блестящія линіи, соответствующія натрію; но онѣ постепенно исчезаютъ,—по мѣрѣ того какъ испаряется небольшое количество натрія, являющагося обычною примѣсью нечистой извести. Кирхгофъ бралъ спектръ раскаленной извести и, когда блестящія линіи исчезали, ставилъ передъ



Фиг. 55.

щелью пламя натріевой соли: въ спектрѣ немедленно появлялись обѣ темныя линіи. Такимъ образомъ онъ получилъ искусственно въ непрерывномъ спектрѣ друммондова свѣта фраунгоферовы линіи D.

Кирхгофъ понялъ, что такое дѣйствіе свойственно не одному только натрію,—и тотчасъ же приступилъ къ изслѣдованію каждаго цвѣтнаго пламени, дающаго въ спектрѣ блестящія линіи. Бѣлый свѣтъ, состоящій изъ всѣхъ своихъ составныхъ частей, будучи пропущенъ черезъ такое пламя, потерялъ бы, благодаря поглощенію, именно тѣ составныя части, преломляемость которыхъ какъ разъ соответствуетъ преломляемости этихъ блестящихъ линій. Поэтому достаточно яркій бѣлый свѣтъ, пройдя черезъ такое пламя, образовалъ бы спектръ, пересекаемый темными линіями. Тутъ же ему удалось получить темную линію, соответствующую металлу литію.

Эти опыты и изслѣдованія устранили столь непреодолимую трудность объясненія фраунгоферовыхъ линій; это объясненіе позволило расширить въ очень значительной степени область химическихъ изслѣдованій. Какъ показалъ Кирхгофъ, на основаніи совпаденія линій въ спектрахъ темныхъ тѣлъ съ фраунгоферовыми линіями, можно дѣлать заключеніе, что эти тѣла имѣются на солнцѣ и на неподвижныхъ звѣздахъ. Такъ, темная линія D въ солнечномъ спектрѣ указываетъ на присутствіе натрія въ солнечной атмосферѣ; блестящія линіи, открытыя Брюстеромъ въ спектрѣ пла-

мени селитры и точно совпадающія съ опредѣленными темными линиями между А и В въ въ солнечномъ спектрѣ, доказываютъ присутствіе на солнцѣ паровъ металла калия.

Каждое послѣдующее изслѣдованіе подтверждало вѣрность этихъ, на первый взглядъ нѣсколько смѣлыхъ, заключеній. Въ своемъ второмъ сообщеніи, сдѣланномъ въ берлинской академіи еще до конца 1859-го года, Кирхгофъ доказалъ присутствіе на солнцѣ желѣза. Свѣтлыя линии спектра желѣзныхъ паровъ особенно многочисленны; относительно шестидесяти пяти изъ нихъ Кирхгофъ доказалъ, что ихъ положеніе совершенно точно совпадаетъ съ шестьюдесятью пятью темными фраунгоферовыми линиями. Онгстремъ и Таленъ доказали совпаденіе четырехсотъ пятидесяти линий для желѣза. По изслѣдованіямъ этихъ же выдающихся естествоиспытателей, слѣдующія цифры выражаютъ числа совпадающихъ линий для соотвѣствующихъ металловъ:

Кальцій . . . . .	75	Никкель . . . . .	33
Барій . . . . .	11	Кобальтъ . . . . .	19
Магній . . . . .	4	Водородъ . . . . .	4
Марганецъ . . . . .	57	Аммоній . . . . .	2
Титанъ . . . . .	118	Цинкъ . . . . .	2
Хромъ . . . . .	18	Мѣдь . . . . .	7

Слѣдуетъ думать, что всѣ эти элементы также находятся въ атмосферѣ солнца.

Открытія Кирхгофа совершенно измѣнили прежнія представленія о химическомъ составѣ солнца; они привели къ новымъ взглядамъ на природу этого свѣтила. Хотя подробности могутъ подвергнуться измѣненіямъ, но по существу его идеи останутся справедливыми до конца временъ. По Кирхгофу, солнце состоитъ изъ ядра, окруженнаго раскаленной атмосферой, температура которой, однакоже, ниже температуры ядра. Это ядро можетъ состоять, однако, изъ облаковъ, смѣшанныхъ съ различными парами, или покрытыхъ ими. Свѣтъ его далъ бы непрерывный спектръ,—какъ друммондовъ свѣтъ. Но при прохожденіи черезъ фотосферу, какъ при прохожденіи луча Кирхгофа черезъ натріевое пламя,—ею поглощаются тѣ составныя части свѣта, которыя фотосфера могла бы излучать сама, и въ спектрѣ получаются темныя линии, соотвѣтствующія поглощеннымъ лучамъ. Если бы мы могли устранить солнечное ядро, мы получили бы спектръ, въ которомъ на мѣстѣ каждой фраунгоферовой линии была бы свѣтлая линия,—совершенно такъ же, какъ во второмъ опытѣ Кирхгофа появлялась свѣтлая линия натрія, когда убирали друммондовъ свѣтъ. Эти фраунгоферовыя линии не оказываются вовсе темными сами по себѣ,—нѣтъ, онѣ являются темными лишь соотвѣтственно разности между свѣтомъ перехватываемымъ и испускаемымъ фотосферой.

Къ почти каждому великому открытію приближаются обыкновенно нѣсколько изслѣдователей одновременно; то обстоятельство, что послѣднія открытія Кирхгофа уже раньше были указаны въ опытахъ другого ученаго, доказываетъ существованіе не только отдѣльныхъ геніальныхъ людей, но и общечеловѣческаго генія, всегда идущаго нѣсколько впереди времени. Такъ, въ 1849-омъ году, Фуко подошелъ очень близко къ открытію Кирхгофа.

Сконцентрировавъ изображеніе солнца въ вольтовой дугѣ, онъ наложилъ такимъ образомъ другъ на друга оба спектра,—солнца и дуги; оказалось, что обѣ блестящія линіи, въ спектрѣ дуги, происходящія отъ присутствія небольшого количества натрія въ углѣ или въ воздухѣ, совершенно совпадаютъ съ темными линіями D солнечнаго спектра. Онъ нашелъ также, что линіи D значительно усилились, благодаря прохожденію солнечныхъ лучей черезъ вольтову дугу.

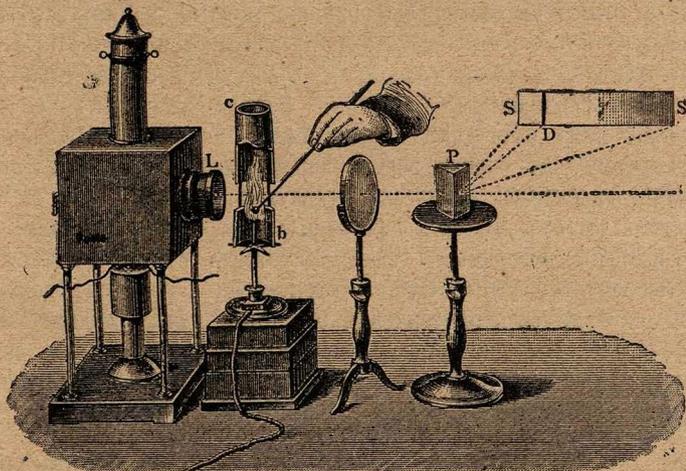
Затѣмъ Фуко спроектировалъ на свѣтовую дугу изображеніе одного изъ твердыхъ раскаленныхъ углей, которое дало бы само по себѣ непрерывный спектръ; оказалось, что, при такихъ условіяхъ, въ спектрѣ появились линіи *D*. Изъ этого замѣчательнаго опыта Фуко вывелъ заключеніе, «что свѣтовая дуга представляетъ собою среду, испускающую лучи *D*, но въ тоже время поглощающую ихъ, если они излучаются изъ другого источника». На этомъ онъ и остановился. Онъ не распространилъ своихъ наблюденій далѣе вольтовой дуги, не далъ объясненія фрауэнгоферовыхъ линій и не пришелъ ни къ какимъ выводамъ ни относительно химіи солнца, ни относительно его строенія. Его прекрасный опытъ остался безплоднымъ зерномъ, до тѣхъ поръ, пока, десять лѣтъ спустя, разсмотрѣніе дѣлага класса явленій того же рода не привело Кирхгофа къ разрѣшенію великой проблемы.

Вскорѣ послѣ опубликованія открытій Кирхгофа, профессоръ Стоксъ, который тоже уже десять лѣтъ занимался подобными наблюденіями, воспользовался однимъ явленіемъ изъ области звука, чтобы объяснить взаимную связь поглощенія и излученія. Натянутая струна начинаетъ звучать подъ влияніемъ колебаній воздуха, изохронныхъ съ ея собственными колебаніями. Цѣлый рядъ такихъ струнъ, натянутыхъ въ пространствѣ, соотвѣтствовалъ бы звуковой средѣ; если бы въ нѣкоторомъ отдаленіи прозвучалъ свойственный струнамъ звукъ, то они восприняли бы или «поглотили» бы его колебаніе.

Если провести смычкомъ по этому камертону, то пространство тотчасъ же наполнится музыкальнымъ звукомъ; можно сказать, что камертонъ испускаетъ или излучаетъ звуковыя волны. Нѣсколько дней тому назадъ, ударивъ камертонъ, я замѣтилъ, что хотя его колебанія заглушаются прикосновеніемъ пальца, но звукъ, хотя дѣлается слабѣе, продолжаетъ звучать. Повидимому онъ исходилъ отъ находящагося въ нѣкоторомъ отдаленіи стола, на которомъ стояло нѣсколько камертоновъ, различныхъ размѣровъ и періодовъ колебаній. Одинъ изъ нихъ, и только одинъ, оказался возбужденнымъ звучащимъ камертономъ; это былъ именно тотъ, періодъ котораго совпадалъ съ періодомъ колебанія перваго камертона. Поставимъ рядомъ два звучащихъ въ унисонъ камертона, и, проведя смычкомъ по одному изъ нихъ, заглушимъ его колебанія: другой камертонъ будетъ звучать и онъ можетъ вновь возбудить первый камертонъ; такимъ образомъ можно нѣсколько разъ передавать колебанія отъ одного къ другому. Положивъ монетки на каждый зубецъ одного камертона, мы нарушимъ полный синхронизмъ колебаній; тогда уже нельзя передавать звукъ отъ одного камертона къ другому.

Мнѣ хотѣлось бы теперь наглядно показать вамъ, что со свѣтомъ можно производить такіе же опыты, какъ со звукомъ. Въ 1861 году я нѣсколько дней подрядъ пытался произвести такіе опыты, но только не

особенно успѣшно. Я нагрѣвалъ въ желѣзныхъ сосудахъ до кипѣнія смѣсь слабого спирта и поваренной соли. Пары этой смѣси я зажигалъ и черезъ полученное желтое пламя пропускалъ лучъ электрической лампы. Результатомъ было лишь небольшое потускнѣніе желтой полосы въ отброшенномъ на экранѣ спектрѣ. Тогда я наполнилъ смѣсью соли и спирта большой сосудъ, дававшій пламя шириною въ 10 футовъ; при пропусканіи свѣта электрической лампы, результаты остались всетаки неудовлетворительны. Тутъ я вспомнилъ, что при непосредственномъ сжиганіи натрія въ пламени бунзеновской горѣлки получается желтое пламя гораздо болѣе яркое, чѣмъ пламя поваренной соли. Изъ этого я заключилъ, что яркость этого пламени вполне соответствуетъ большому количеству горящихъ паровъ, и рѣшилъ пропускать лучъ лампы черезъ пламя металлическаго



Фиг. 56.

натрія. Успѣхъ былъ полный, и мнѣ хочется повторить теперь этотъ опытъ передъ вами <sup>1)</sup>.

Прежде всего вы можете видѣть, что если положить на платиновую ложку кусочекъ натрія и ввести ее въ пламя бунзеновской горѣлки, то получается яркій желтый свѣтъ. Его преломляемость соответствуетъ преломляемости желтой полосы спектра. Подобно нашему камертону, это пламя испускаетъ волны нѣкотораго опредѣленнаго періода. Если пропустить черезъ это пламя лучи электрической лампы, то вы будете имѣть очевидное доказательство того, что желтое пламя задерживаетъ желтые лучи спектра; другими словами, оно поглощаетъ лучи того же періода, какіе оно можетъ излучать; такимъ образомъ, оно и производитъ настоящія темныя фраунгоферовы линіи на мѣстѣ желтыхъ.

Передъ щелью (въ *L*, фиг. 56), черезъ которую проходитъ лучъ, поставлена бунзеновская горѣлка (*b*), покрытая трубою (*c*). Пройдя черезъ линзу, лучъ попадаетъ въ призму *P* (обыкновенно пользуются двумя

<sup>1)</sup> Тутъ же пришлось наблюдать темную полосу при введеніи натрія въ лампу: затѣмъ тогда въ первый разъ мы увидѣли блестящую голубую полосу литія, которая не получается въ пламени бунзеновской горѣлки.

призмами); тутъ онъ разлагается и отбрасываетъ на экранъ свѣтлый непрерывный спектръ (*SS*). Если ввести въ пламя горѣлки платиновую ложку съ кусочкомъ натрія, то натрій расплавляется, окрашиваетъ пламя въ яркій желтый цвѣтъ и затѣмъ быстро сгораетъ. Въ тоже время на спектрѣ появляется темная полоса (*D*), въ два дюйма ширины и два фута длины. Если быстро попеременно вводить и выводить пламя натрія, то быстрое появленіе и исчезаніе темной полосы дѣлается особенно нагляднымъ. По контрасту съ прилегающимъ къ ней яркимъ пространствомъ спектра, темная полоса кажется совершенно черной: такъ сильно поглощеніе. Но эта чернота только кажущаяся: на мѣсто, занимаемое темной линіей, всетаки падаетъ часть лучей натріеваго пламени.

Я уже упоминалъ объ опытѣ Фуко; но и другіе изслѣдователи работали надъ этимъ вопросомъ еще раньше Бунзена и Кирхгофа. Мнѣ уже приходилось разъ говорить о работахъ, предшествовавшихъ открытію спектральнаго анализа и химіи солнца; я говорилъ приблизительно слѣдующее: «Тальботъ наблюдалъ блестящія полосы въ спектрахъ окрашеннаго пламени; какъ онъ, такъ и сэръ Джонъ Гершель указывали на возможность сдѣлать изъ спектральнаго анализа очень чувствительный, хотя и не вполне надежный химическій реактивъ. Болѣе чѣмъ за четверть вѣка до нихъ докторъ Миллеръ показывалъ рисунки и описывалъ спектры цвѣтнаго пламени различныхъ тѣлъ; Уитстонъ, съ его обычною проникательностью, изслѣдовалъ спектръ электрической искры; онъ доказалъ, что блестящія линіи въ спектрѣ зависятъ отъ того, между какими металлами проходитъ искра. Въ одномъ изслѣдованіи, которое Кирхгофъ называетъ классическимъ, Сванъ доказываетъ, что при помощи спектра можно обнаружить присутствіе  $\frac{1}{2,500,000}$  грана натрія въ пламени бунзеновской горѣлки. Онъ доказалъ также постоянство блестящихъ линій въ спектрахъ пламени раскаленныхъ углеводородовъ. Массонъ опубликовалъ увѣчанную преміей работу о линіяхъ въ спектрѣ электрической индукціонной искры. Ванъ-деръ-Виллигенъ, а потомъ Плюкеръ, также получили превосходные рисунки спектровъ изъ того же источника».

«Но никто изъ этихъ замѣчательныхъ изслѣдователей не дошелъ до яснаго понятія о соотношеніи между блестящими линіями металловъ и темными линіями солнечнаго спектра. До изслѣдованій Бунзена и Кирхгофа нельзя было сказать, чтобы спектральный анализъ былъ хоть сколько-нибудь прочно обоснованъ. Первымъ, кто дѣйствительно близко подошелъ къ истинѣ, былъ Онгстремъ. Въ одномъ трактатѣ, — который я самъ перевелъ и помѣстилъ въ «Philosophical Magazine» за 1855 г., — онъ указываетъ на то, что тѣла поглощаютъ тѣ самые лучи, которые они излучаютъ, когда становятся свѣтящимися. Въ другомъ мѣстѣ онъ говоритъ объ одномъ спектрѣ, что онъ производитъ на него впечатлѣніе «обращеннаго» солнечнаго спектра. Но какъ ни строго наученъ его трактатъ, онъ всетаки отличается свойственной тому времени неопредѣленностью взглядовъ по этому вопросу. Фуко, Томсонъ и Бальфуръ Стюартъ были близки къ этому открытію, а Стоксъ, съ его остроумными соображеніями, которыя однако же не были опубликованы, чуть-чуть не сдѣлалъ его.

Каждый годъ, какъ духовно, такъ и физически, представляетъ собою какъ бы наслѣдіе предшествующаго года. Наука доказываетъ, что она

истинное дитя природы: она развивается по закону органическаго роста. Непрерывность въ ней никогда не нарушается. Всѣ великія открытія подготавливаются двумя путями: во первыхъ, другими открытіями, которыя какъ бы служатъ введеніемъ къ нимъ; во вторыхъ, повышеніемъ способности изслѣдованія. Такъ, Птолемей появился продолжателемъ Гиппарха, Коперникъ — продолжателемъ ихъ обоихъ, Кеплеръ — продолжателемъ всѣхъ трехъ, а Ньютонъ — всѣхъ четырехъ. Ньютонъ не сразу поднялся до такой поразительной высоты надъ общимъ умственнымъ уровнемъ. Въ то время, когда онъ появился, научный уровень уже былъ поднятъ высоко. Правда, Ньютонъ возвышается надъ этимъ плоскогоріемъ, какъ громадная гора; но онъ все же опирается на это плоскогоріе, и значительная часть его абсолютной высоты представляетъ собою высоту развитія человѣчества въ его время. То же произошло и съ открытіями Кирхгофа. Многое было сдѣлано до него; онъ овладѣлъ этимъ и, благодаря своей личной гениальности, пошелъ еще дальше. Онъ замѣнилъ неопредѣленное опредѣленнымъ и неизвѣстное извѣстнымъ; ввелъ порядокъ въ беспорядочно разбросанныя свѣдѣнія. Я не думаю, чтобы Ньютонъ имѣлъ больше правъ на тѣ открытія, которыя сдѣлали его имя безсмертнымъ, чѣмъ Кирхгофъ — на заслугу объединенія, расширенія и оживленія великими общими законами отрывочныхъ знаній.

Дополнимъ наше изложеніе законовъ химіи солнца еще однимъ замѣчаніемъ. Благодаря механически плавающимъ въ атмосферѣ земли частицамъ твердыхъ тѣлъ, мы не видимъ солнца рѣзко очерченнымъ; оно кажется намъ, вслѣдствіе разсѣянія свѣта, окруженнымъ блестящимъ сіяніемъ. Какъ громкій шумъ заглушаетъ шопотъ и яркій свѣтъ покрываетъ слабый, такъ это сіяніе вокругъ солнца мѣшаетъ намъ видѣть многія удивительныя явленія на краяхъ солнца. Это сіяніе превращается въ полную темноту всякій разъ, какъ луна становится между солнцемъ и землею; тогда мы видимъ цѣлый рядъ розовыхъ выступовъ, иначе протуберанцевъ, которые иногда тянутся на десятки тысячъ за темнымъ краемъ луны. Вассеніусъ описалъ ихъ въ «Philosophical Transactions» за 1773 годъ; но вѣроятно ихъ наблюдали и раньше. Въ 1842 году они произвели большой шумъ въ ученномъ мірѣ; ихъ сравнивали со снѣжными вершинами Альпъ, залитыми лучами солнца при его заходѣ. Что эти выступления представляютъ собою горячіе газы и въ особенности водородъ, доказалъ Жансенъ во время солнечнаго затмѣнія, которое наблюдалось въ Индіи 18 августа 1868 года.

Но эти протуберанцы можно сдѣлать видимыми и при полномъ солнечномъ блескѣ, и по вполне понятной причинѣ. Вы видѣли, что мы на нашихъ лекціяхъ пользовались одною призмой, чтобы получить спектръ, но разъ поставили двѣ призмы. Въ последнемъ случаѣ разсѣянный бѣлый свѣтъ распредѣлялся на вдвое большую площадь, и всѣ цвѣта сообразно этому блѣднѣли. Вы видѣли также, что мы пользовались одною или двумя призмами, чтобы получить линіи раскаленныхъ паровъ. Но здѣсь полосы цвѣта были совершенно одноцвѣтны; поэтому вторая призма не могла болѣе разсѣивать ихъ, и свѣтъ не блѣднѣлъ.

Примѣнимъ результаты этихъ наблюденій къ окружающему солнцу пространству. Окружающее его сіяніе можно безгранично разсѣивать и разслаблять, увеличивая число призмъ, тогда какъ монохроматичный свѣтъ,

примѣшивающійся къ этому сіянію и замаскированный имъ, сохранилъ бы при разсѣяніи свою яркость. На этихъ соображеніяхъ былъ построенъ методъ наблюденія, который примѣняли, независимо другъ отъ друга, Жансенъ въ Индіи и Локьеръ въ Англии. Оказалось, что въ спектрѣ протуберанцевъ преобладали монохроматичныя полосы; ихъ можно было видѣть и при дневномъ освѣщеніи. Благодаря своимъ тщательнымъ и добросовѣстнымъ изслѣдованіямъ краевъ солнца, Локьеръ доказалъ, что протуберанцы представляютъ собою только мѣстные выступы огненной оболочки, окружающей солнце со всѣхъ сторонъ; эту оболочку онъ назвалъ хромоферой.

Мы вышли бы далеко за предѣлы нашихъ лекцій, еслибы стали говорить объ интересныхъ и важныхъ результатахъ, которыхъ достигли Секки, Респиги, Юнгъ и многіе другіе выдающіеся ученые, занимавшіеся химіей солнца. Я могу также лишь вскользь упомянутьъ объ замѣчательной работѣ доктора Хетгинса надъ постоянными звѣздами, туманностями и кометами. Они болѣе, чѣмъ всѣ другія изслѣдованія, подтверждаютъ мнѣніе, что открытіе спектральнаго анализа и объясненіе фраунгоферовыхъ линий безгранично расширило область химическихъ изслѣдованій. Интересные опыты профессора Дьюара ежедневно увеличиваютъ наши знанія, а точныя изслѣдованія капитана Эбней и другихъ ученыхъ открываютъ новыя области для нашего изслѣдованія.

Но я задавался цѣлью объяснить здѣсь законы, не входя въ подробности доказательствъ.

### Обзоръ изложеннаго и заключеніе.

Цѣлью моихъ лекцій было рассмотреть, по возможности выдѣляя взаимную непрерывную связь открытій и теорій, историческое развитіе и современное состояніе области знанія, надъ которой работали наиболѣе выдающіеся изслѣдователи, какихъ когда-либо видѣлъ міръ. Я старался объяснить наглядно и понятно значеніе каждаго опыта; опытъ является представителемъ и выразителемъ мыслей, — это языкъ, обращенный къ зрѣнію, какъ слова обращаются къ слуху.

Ничто не можетъ быть убѣдительнѣе, ничто не врѣзывается такъ въ память, какъ опытъ и его научный выводъ. Но, если отдѣлить опытъ отъ его научнаго значенія, то онъ скорѣе можетъ служить цѣлямъ фокусника, — удивить, поразить, — чѣмъ цѣлямъ образованія, которое должно быть однимъ изъ главныхъ стимуловъ научной дѣятельности.

Теперь было бы весьма кстати сдѣлать краткій обзоръ всего изложеннаго нами. Наше теперешнее знаніе законовъ и явленій свѣта слѣдуетъ приписать стремленію человечества къ знанію. Мы видѣли, какъ усердно занимались вопросомъ о свѣтѣ древніе; но они дѣлали это, какъ дѣти, которыя только напрасно утомляютъ свои руки, такъ какъ мускулы ихъ развиты недостаточно. Эти первые изслѣдователи смутно и неопредѣленно раздумывали надъ явленіями природы, — имъ недоставало надлежащей школы, чтобы придти къ яснымъ воззрѣніямъ, къ твердому познанію законовъ. Они убѣдились въ прямолинейномъ распространеніи свѣта, — знали также, что уголъ паденія равенъ углу отраженія. Болѣе тысячи лѣтъ, —

мнѣ кажется, можно даже сказать болѣе тысячи пятисотъ лѣтъ,—духъ научнаго изслѣдованія былъ какъ бы скованъ параличемъ; и въ самомъ дѣлѣ, духовныя силы, которыя могли бы посвятить себя наукѣ, были все это время обращены въ другую сторону.

Изслѣдованіе свѣта возобновились въ 1100 году однимъ арабскимъ ученымъ, Альгазеномъ. Затѣмъ ихъ продолжали Роджеръ Бэконъ, Виттеліо и Кеплеръ: правда, эти изслѣдователи не открыли основныхъ законовъ явленій свѣта,—но они не дали погаснуть духу изслѣдованія. Затѣмъ явилось фундаментальное открытіе Снелля, —этотъ «краеугольный камень» оптики, какъ я его уже разъ назвалъ. Вскорѣ послѣ этого Декартъ примѣнилъ это открытіе къ объясненію радуги. Затѣмъ слѣдуетъ опроверженіе Ремеромъ мнѣнія Декарта, будто бы свѣтъ распространяется въ пространствѣ мгновенно. Наконецъ, появились опыты Ньютона по анализу и синтезу бѣлаго свѣта; они доказали, что свѣтъ состоитъ изъ различнаго рода лучей неодинаковой преломляемости.

До объясненія сложности бѣлаго свѣта всѣ изслѣдованія Ньютона увѣчивались успѣхомъ,—изслѣдовалъ ли онъ явленія небснаго пространства, или земныя; большая часть его позднѣйшихъ опытовъ также имѣть безсмертное значеніе. Но «одинъ Богъ безъ грѣха», людямъ же свойственно ошибаться; и вотъ, вскорѣ послѣ открытія состава свѣта, въ Ньютонѣ проявился челоѣкъ. Онъ принялъ мнѣніе, будто преломленіе и свѣто-разсѣяніе идутъ всегда объ руку; что нельзя уничтожить одно, не уничтоживъ вмѣстѣ съ тѣмъ и другого. Здѣсь его поправилъ Доллондъ.

Но Ньютонъ допустилъ и еще худшую ошибку, чѣмъ эта. Наука,—какъ я объяснялъ вамъ еще на второй лекціи,—не вся цѣликомъ укладывается въ область чувства. Корни явленій природы вдаются въ область, лежащую внѣ области чувствъ а научные запросы челоѣчества нельзя удовлетворить, не разъяснивъ самыхъ первичныхъ корней всѣхъ явленій. Поэтому совершенно естественно, что въ области оптическихъ явленій самые гениальные люди старались прорвать границы чувственнаго міра и прослѣдить явленія до ихъ подчувственныхъ <sup>1)</sup> основаній. При такихъ условіяхъ они пу- скались въ область теоріи, и тутъ Ньютонъ,—хотя отъ времени до времени его всетаки тянуло къ правдѣ,—былъ всетаки вовлеченъ въ ошибку, которая вполне и укоренилась въ его представленіяхъ. Его опыты остаются непреложными, но его теорія уже оставлена. Въ теченіи цѣлаго столѣтія она представляла собою какъ бы преграду для новыхъ открытій; но,—какъ и при всѣхъ препятствіяхъ, основывающихся только на авторитетѣ, а не на истинѣ,—давленіе на эту плотину все увеличивалось, и, наконецъ, она прорвалась.

Въ 1808 году Малюсъ, смотря черезъ исландскій шпатель на солнечный лучъ, отраженный отъ окна Люксембургскаго дворца въ Парижѣ, открылъ поляризацию свѣта при отраженіи. Какъ мы уже говорили, это открытіе послѣдовало въ самое неблагоприятное для волновой теоріи свѣта время. Но времена скоро измѣнились. Въ 1811 году Араго открылъ блестящіе цвѣтные эффекты, получающіеся въ гипсовыхъ пластинкахъ при поляризованномъ свѣтѣ,—которые мы тутъ и воспроизвели; онъ

1) Въ подлинникѣ *subsensible*, что буквально означаетъ подчувственный.

же открытъ и вращеніе плоскости поляризаціи въ кристаллахъ кварца. Зеебекъ открылъ въ 1813 году поляризацію свѣта турмалиномъ. Въ томъ же году Брюстеръ открылъ прекрасныя цвѣтныя полосы, окружающія оси двусосныхъ кристалловъ. Въ 1814 году Вульстенъ открылъ круги исландскаго шпата. Всѣ эти открытія, которыя безъ теоретическаго объясненія представляли бы для насъ кучу безсвязныхъ, неимѣющихъ никакого отношенія другъ къ другу эффектовъ, были органически связаны волновой теоріей колебанія.

Волновую теорію свѣта испытывали и провѣряли всѣми возможными способами, — и она выдержала эту критику; особенно выдѣлялся строгостью и вѣскостью своихъ доказательствъ Эри. Однимъ очень важнымъ подтвержденіемъ ея мы обязаны покойному сэру Вильяму Гамильтону изъ Дублина; развивая эту теорію отъ того мѣста, гдѣ ее оставилъ Френель, онъ пришелъ къ заключенію, что въ четырехъ особыхъ точкахъ поверхности волнъ двупреломляющихъ кристалловъ лучъ раздѣляется не на двѣ части, а на безконечное число частей, и вмѣсто двухъ изображеній получается непрерывная конусообразная поверхность. Ни одинъ человекъ не видалъ еще этой поверхности, когда сэръ Гамильтонъ вывелъ теоретически фактъ ея существованія. Онъ попросилъ доктора Ллойда провѣрить на мѣстѣ вѣрность его вывода. Ллойдъ взялъ кристаллъ арагонита и, съ точностью слѣдуя указаніямъ теоріи, разрѣзалъ его такъ, какъ она предписывала, сталъ наблюдать, какъ этого требовала теорія, и увидѣлъ свѣтящуюся поверхность, которая до тѣхъ поръ существовала лишь въ умѣ математика.

Но тѣмъ не менѣ эта великая теорія волнообразнаго колебанія, какъ и многія другія истины, только послѣ большого промежутка времени признанная благословеніемъ рода человѣческаго, доказала свое право на существованіе только послѣ ожесточенныхъ споровъ. Противъ нея выступили многіе выдающіеся ученые; а на ея сторонѣ были Гукъ, Гюйгенсъ, значительно расширившій ея примѣненіе, и Эйлеръ. Но они не имѣли усилія. И въ самомъ дѣлѣ въ ихъ рукахъ теорія не имѣла еще строгихъ доказательствъ; только въ рукахъ Томаса Юнга она приняла видъ неопровержимой истины. Онъ заставилъ свѣтвыя волны дѣйствовать другъ на друга, и онѣ, по его желанію, то взаимно уничтожались, то усиливали другъ друга. По ихъ взаимодействію онъ опредѣлилъ длины разнаго рода волнъ; узнавъ длину волнъ, онъ примѣнилъ это знаніе во всѣхъ направленіяхъ. Наконецъ, онъ показалъ, что трудный для того времени вопросъ о поляризаціи тоже можетъ быть подведенъ подъ эту теорію.

Затѣмъ явился Френель, необычайныя математическія способности котораго позволили ему до такой степени обобщить теорію, какая была не достижима для Юнга. Онъ сообщилъ ей необходимую для научной теоріи цѣльность и полноту, прослѣдивъ за эфиромъ въ самое сердце кристалловъ самаго сложнаго строенія, а также тѣлъ, подверженныхъ давленію и расширенію. Онъ доказалъ, что всѣ явленія, открытыя Малюсомъ, Араго, Брюстеромъ и Био, представляютъ собою какъ бы нервныя центры теоретическаго организма, который и обуславливаетъ смыслъ ихъ существованія. Умъ Френеля былъ слишкомъ силенъ для его слабаго тѣла, и

этотъ ученый умеръ въ молодомъ еще возрастѣ, оставивъ послѣ себя безсмертное имя въ лѣтописяхъ науки.

Слѣдовало бы сказать нѣсколько словъ о Френелѣ. Есть на свѣтѣ вещи, еще болѣе цѣнныя, чѣмъ наука. Характеръ выше разума; но для лицъ, склонныхъ къ хорошему мнѣнію о человѣческой природѣ, особенно радостно видѣть благородный характеръ въ соединеніи съ высокимъ умомъ. Такое соединеніе можно видѣть у Френеля. Во время горячихъ споровъ о волновой теоріи, онъ явился горячимъ борцомъ за нее, требуя лишь справедливости и не отказывая въ справедливости другимъ. Онъ сразу понялъ и призналъ заслуги Томаса Юнга. Это онъ и его соотечественникъ Араго первые обратили вниманіе на несправедливость, сдѣланную по отношенію къ Томасу Юнгу въ «Edinburgh Review».

Я желалъ бы прочесть вамъ отрывокъ изъ письма, написаннаго Френелемъ Юнгу въ 1824 году; оно бросаетъ прекрасный свѣтъ на характеръ французскаго естествоиспытателя. «Во мнѣ уже давно притупилось» говорилъ Френель, «чувство самолюбія и интереса къ чужому мнѣнію, которое называется любовью къ славѣ. Я работаю не столько для одобренія со стороны публики, сколько для внутренняго удовлетворенія, которое всегда было самой пріятной наградой за мои усилія. Безъ сомнѣнія въ минуты унынія и апатіи я не разъ нуждался въ помощи тщеславія и самолюбія, чтобы побудить себя къ новымъ опытамъ и изслѣдованіямъ. Но всѣ похвалы Араго, Лапласа и Біо не могли доставить мнѣ столько наслажденія, сколько открытіе теоретической истины или подтвержденіе опытомъ какого нибудь вычисленія».

Тутъ сказывается истинный характеръ науки. Ею слѣдуетъ заниматься ради ея самой изъ чистой любви къ истинѣ, не для похвалы или пользы которую она приноситъ. Моя дѣятельность въ Америкѣ<sup>1)</sup> теперь почти уже закончилась; но я желалъ бы попросить у васъ терпѣнія еще для нѣкоторыхъ заключительныхъ замѣчаній относительно людей, оставившихъ намъ столько знаній, слабое представленіе о которыхъ я пытался сообщить вамъ на этихъ лекціяхъ. Что побуждало ихъ къ этой дѣятельности? Что заставляло ихъ вести побѣдоносную борьбу съ сопротивленіемъ природы, являющуюся наслѣдіемъ человѣческаго рода? Не слѣдуетъ забывать, что ни одинъ изъ этихъ великихъ изслѣдователей, — начиная съ Аристотеля и кончая Стоксомъ и Кирхгофомъ, — не имѣлъ въ виду никакой «практической», въ обыкновенномъ смыслѣ этого слова, цѣли. Они не имѣли въ виду никакой денежной награды, и не видѣли въ знаніи средства къ полученію денегъ. Въ большинствѣ случаевъ ихъ благородный образъ мыслей шелъ какъ разъ по обратному направленію: знаніе они ставили своею цѣлью, а деньги, которые у нихъ были, служили развѣ средствомъ къ достиженію этой цѣли. Мы видимъ теперь тысячи практическихъ примѣненій результатовъ ихъ трудовъ, и этого достаточно, не только, чтобы оправдать, но чтобы возвысить ихъ стремленія. Однако они работали не для этого; ихъ награда была совѣмъ другого рода. Какого же рода? Мы любимъ красивыя платья, любимъ роскошь, любимъ прекрасные экипажи, любимъ деньги, и человѣкъ, который можетъ указать на все, это какъ на результатъ дѣя-

1) Эти лекціи были прочитаны Тиндалемъ въ Соед. Штатахъ.

тельности своей жизни, тѣмъ самымъ оправдываетъ эти результаты передъ всѣмъ міромъ. Въ особенности въ Америкѣ и въ Англійи его называли бы «практичнымъ» человѣкомъ. Но мнѣ бы хотѣлось обратиться къ этому собранію съ вопросомъ, удовлетворяютъ ли эти вещи всѣмъ требованіямъ человѣческой природы? Самый фактъ такого собранія здѣсь публички, представляющей собою лучшую часть умственной жизни и образованія этого большого города, въ теченіи шести непріятныхъ вечеровъ, уже служатъ отвѣтомъ на мой вопросъ <sup>1)</sup>. Такому собранію мнѣ нѣтъ надобности говорить, что кромѣ физическихъ удовольствій существуютъ еще и удовольствія умственныя; они то и составляли награду нашихъ великихъ изслѣдователей. Чужа проблески истинъ природы, они часто самоотверженно продолжали свою работу, становясь выше страданій жизни. Многіе изъ нихъ уже при смерти, не будучи въ состояніи держать перо, одухотворенные горячей любовью къ истинѣ, диктовали друзьямъ результаты своихъ работъ, и затѣмъ успокаивались на вѣки.

Если бы мы видѣли ихъ во время работы, не зная о результатахъ ихъ трудовъ, то что бы мы могли подумать объ нихъ? Непосвященнымъ въ дѣло современникамъ они часто могли казаться маленькими дѣтми, забавляющимися мыльными пузырями или другими пустяками. Если бы вы могли слѣдить за истиннымъ изслѣдователемъ, — вашимъ Генри или Дрэперомъ въ его лабораторіи, не будучи одухотворены его идеями, вы едва ли поняли бы, что его тамъ привлекаетъ.

Многіе изъ предметовъ, которыми такой ученый занимается, показались бы вамъ слишкомъ ничтожными; если бы вы спросили его, какая польза отъ всего этого, вы вѣроятно привели бы его въ большое смущеніе. Онъ едва ли сумѣлъ бы объяснить вамъ эту пользу; онъ не поручился бы, что его работа можетъ принести хоть одинъ долларъ кому нибудь изъ его современниковъ или изъ послѣдующихъ поколѣній. Исторія науки, правда, не разъ доказывала, что научныя открытія могутъ приносить не только доллары въ карманы отдѣльныхъ людей, но и цѣлыя милліоны въ сокровищницы человѣчества, но надежда на такіе успѣхи никогда не была и не будетъ стимуломъ научныхъ изслѣдованій. Я знаю, что говорить такъ передъ людьми практики небезопасно; знаю, что Токвиль говоритъ объ васъ: «Люди Сѣвера обладаютъ не только опытомъ, но и знаніемъ. Но они не занимаются наукой для наслажденія, — они хватаются за нее только тогда, когда она приноситъ практическую пользу». Но я желалъ бы спросить, на какую практическую пользу вы надѣялись, собираясь столько разъ сюда, несмотря на снѣгъ и жестокую стужу? Что вызвало любезныя приглашенія, оторвавшія меня отъ моихъ работъ въ Лондонѣ, чтобы читать вамъ эти лекціи, послѣ которыхъ я, если бы пожелалъ, вернулся бы обратно миліонеромъ? Я здѣсь не потому, что научилъ васъ заработать наукой хоть одинъ центъ, но потому, что я, по мѣрѣ силъ, старался представить міру науку, какъ источникъ умственнаго наслажденія. Никогда не случалось, чтобы смыслъ двухъ выраженій такъ искажался, и чтобы они такъ невѣрно примѣнялись къ высшимъ стремленіямъ человѣка, какъ понятія «пользы»

<sup>1)</sup> Въ Нью-Йоркѣ, во время чтенія этихъ лекцій, уже болѣе десяти лѣтъ не случалось такой погоды; снѣгъ лежалъ такъ глубоко, что нѣкоторое время нельзя было пользоваться обычными путями сообщенія.

и «практичности». Мы желаемъ подчинить имъ все, даже высшія интеллектуальныя потребности человѣка. Но наука, болѣе чѣмъ что либо, служить этимъ потребностямъ; я высоко цѣню ее, не только какъ источникъ знанія, но и какъ орудіе воспитанія. Поэтому я и хочу обратить ваше вниманіе на ея требованія. Но если уже говорить о матеріальныхъ потребностяхъ и матеріальныхъ удовольствіяхъ, то и тутъ чистая наука должна сказать свое слово. Люди часто говорятъ такъ, какъ будто бы до Джемса Уатта вовсе не знали пара, а электричества не знали до Уитстона и Морзе. Но на самомъ дѣлѣ Уаттъ, Уитстонъ и Морзе, при всѣхъ своихъ способностяхъ, только примѣняли результаты трудовъ прежнихъ изслѣдователей, работавшихъ вовсе не для практическихъ цѣлей. По этому поводу слѣдуетъ добавить еще нѣсколько словъ. Вы очень увлекаетесь,—и не безъ основанія,—вашими электрическими телеграфами, гордитесь паровыми машинами и заводами, восторгаетесь успѣхами фотографіи. Вы съ гордостью ежедневно видите, какъ возникаютъ новыя отрасли промышленности, новыя орудія благосостоянія и комфорта человѣчества. Промышленная Англія всѣми силами стремится къ той же цѣли; еще сильнѣе бьетъ ключемъ промышленность Соединенныхъ Штатовъ. Что же представляютъ собою промышленная Америка и промышленная Англія?

Если вы желаете выслушать свободное слово, то я разъясню вамъ этотъ вопросъ путемъ сравненія. обнажите сильную руку и посмотрите на напряженные мускулы, когда она согнута и сжата въ кулакъ. Что, развѣ это выраженіе силы представляетъ собою только результатъ дѣйствія однихъ мускуловъ? Нѣтъ, мускуль только носитель высшей силы, безъ которой онъ былъ бы безсиленъ, какъ кусокъ пластичнаго гѣста. Сила мускула проявляется лишь благодаря тонкому невидимому нерву. Безъ тонкихъ волоконъ генія, которыя, какъ нервы, тянутся по всей исторіи человѣчества, начиная съ самаго перваго изобрѣтателя, и промышленная Америка и промышленная Англія походили бы на это пластичное гѣсто.

Въ настоящее время въ Англіи очень много говорятъ о техническомъ образованіи; потребность въ немъ настолько очевидна, что всѣ единогласно признають ее,—но вовсе не слышно о необходимости научнаго творчества. Но какъ ручей иссякнетъ, если запереть его источникъ, такъ, конечно, и «техническое образованіе» безъ научной дѣятельности утратитъ свою силу и производительную способность.

Наши великіе изслѣдователи оставили намъ достаточно работы на нѣкоторое время; но потомъ мы можемъ оказаться въ положеніи китайцевъ, о которыхъ Токвиль говоритъ, что они, забывъ научныя основанія практическихъ работъ, въ концѣ концовъ были вынуждены слѣпо подражать открытіямъ своихъ предковъ, которые были умнѣ ихъ, такъ какъ черпали вдохновеніе у самой природы.

Какъ Англія, такъ и Америка имѣютъ достаточно основаній помнить объ этомъ. Доступность крупныхъ матеріальныхъ успѣховъ слишкомъ соблазнительна, чтобы не заставить объ эти страны забыть о незначительныхъ зачаткахъ этихъ результатовъ въ умѣ научнаго изслѣдователя. Вы только приумножаете, но творчество принадлежитъ ему. Если вы дадите ему погибнуть,—или даже откажете ему въ помощи и поддержкѣ,—вы не только утратите двигателя умственнаго прогресса, но и пресѣчете

источникъ промышленной жизни. Все, что мы говорили о технической дѣятельности, относится также и къ воспитанію; и здѣсь научный изслѣдователь является первичнымъ источникомъ знанія. Учителю предоставляется почетная и часто трудная задача придать этому знанію доступную форму. Но эта задача становится еще выше, когда учитель изо всѣхъ силъ старается хоть одинъ ручеекъ въ громадный потокъ научныхъ открытій. Въ самомъ дѣлѣ, вѣдь можно сомнѣваться, можетъ ли человекъ, не имѣвшій непосредственнаго общенія съ природой, не учившійся у нея самой, правильно понимать и сообщать другимъ истинный смыслъ науки. Несомнѣнно, мы могли бы услышать хорошую лекцію изъ устъ способнаго человека, получившаго всѣ свои знанія изъ «вторыхъ рукъ», какъ могли бы слышать хорошую и поучительную проповѣдь отъ какого нибудь толковаго человека, совершенно неспособнаго къ творчеству. Но чтобы дойти до убѣдительной силы самой науки, соответствующей тому, что ваши предки-пуритане называли «экспериментальной религіей сердца», для этого нужно заняться самостоятельными изслѣдованіями.

Для того, чтобы сохранить надлежащее положеніе науки въ человѣческомъ обществѣ, необходимы работники трехъ родовъ: во-первыхъ, изслѣдователи истинъ природы, призваніе которыхъ—находить эти истины и расширять область ихъ открытія, но не для практическихъ цѣлей, а ради нихъ самихъ; во-вторыхъ, учителя естественныхъ наукъ, призваніе которыхъ—распространять знанія, созданныя трудами изслѣдователей; наконецъ, нужны люди, примѣняющіе истины природы; они стремятся сдѣлать научныя познанія полезными для потребностей цивилизованной жизни. Всѣ эти три класса должны жить и трудиться вмѣстѣ; но какъ здѣсь, такъ и въ Англии, общепринятая представленія о наукѣ часто относятся не къ самой наукѣ, а къ ея практическимъ примѣненіямъ. Эти примѣненія, въ особенности на этомъ материкѣ, такъ поразительны, они такъ сами бросаются въ глаза, что за ними не видно труженика, посвятившаго себя болѣе тихой и скромной работѣ,—научнымъ изслѣдованіямъ. Возьмемъ, напр., электрической телеграфъ, какъ намъ уже не разъ приходилось дѣлать. Я далекъ отъ того, чтобы хоть сколько нибудь умалять заслуги тѣхъ, кто сообщилъ ему въ Англии и Америкѣ такую удобную для общественнаго употребленія форму.

Они заслуживаютъ большой награды,—да, вѣроятно, и получили ее. Но мнѣ пришлось бы измѣнить себѣ и скрыть отъ васъ правду, еслибы я вамъ не сказалъ, что какъ бы высоки ни были ихъ спеціальныя способности и заслуги, но электрической телеграфъ изобрѣли не они.

Изобрѣтеніе электрическаго телеграфа обусловливается открытіемъ электричества, знаніемъ его явленій и законовъ. Такія открытія не были сдѣланы людьми практики, да и не могли быть сдѣланы ими; люди практики заняты, конечно, очень цѣнными идеями, но эти идеи никакъ не могутъ привести къ настоящему открытію.

Древніе открыли электричество янтара, Гильбертъ распространилъ это открытіе въ 1600 году на другія тѣла. За ними слѣдовали Бойль, фонъ-Герике, Грэй, Кантонъ, Дюфэ, Клейстъ, Кунеусъ и вашъ соотечественникъ Франклинъ. Но этого рода электричество, если не считать нѣкоторыхъ опытовъ, не могло служить цѣлямъ телеграфіи. Затѣмъ появился великій

итальянскій ученый Вольта, который открылъ источникъ электричества, носящій его имя; онъ внесъ въ свои изслѣдованія необычайно тонкую проникаемость и умѣнье комбинировать опыты. Далѣе появился ученый, соединившій съ высокой гениальностью рѣдкую глубину сердца, — Михаилъ Фарадэй, открывшій великую область электромагнетизма. Эрстедъ открылъ отклоненіе магнитной стрѣлки, а Араго и Стерджонъ магнетизацію желѣза электрическимъ токомъ. Наконецъ, область гальваническаго тока обрѣла своего теоретическаго Ньютона въ Омѣ; а Генри изъ Принстона, сумѣвшій, благодаря своей проникаемости, оцѣнить заслуги Ома раньше, чѣмъ онѣ были признаны въ его отечествѣ, занялъ въ то же время выдающееся мѣсто среди экспериментаторовъ.

Въ трудахъ этихъ ученыхъ вы найдете всѣ данныя, какія только примѣняются въ какой бы то ни было формѣ въ телеграфѣ. Болѣе того, знаменитый астрономъ Гауссъ и извѣстный естествоиспытатель Веберъ — оба профессора геттингенскаго университета, — желая установить болѣе быстрое сообщеніе между обсерваторіей и физическимъ кабинетомъ въ университетѣ, сдѣлали это при помощи электрическаго телеграфа. Такъ, раньше, чѣмъ явились вы, люди практики, электрическая сила уже была открыта, ея законы изслѣдованы и точно установлены, самыми сложными ея явлениями уже овладѣли, — даже примѣненіе для телеграфа уже было показано; и все это было сдѣлано людьми, единственною наградою которыхъ за ихъ труды было благородное возбужденіе во время поисковъ истины и радость при ея открытіи!

Развѣ мы должны забывать объ этомъ? — Если бы мы и забыли, то ужъ на нашъ собственный рискъ. Я повторяю вамъ: за практическими примѣненіями научныхъ открытій лежитъ цѣлая область умственнаго труда, куда рѣдко отваживаются идти люди практики; но изъ нея то они и черпаютъ всѣ свои силы. Если отрѣзать ихъ отъ этой области, они оказались бы совершенно безпомощными. Поговорка «мы пахали», относящаяся къ мухѣ и волю, ни къ кому такъ не подходитъ, какъ къ изобрѣтателямъ примѣненій научныхъ истинъ по сравненію съ учеными изслѣдователями.

Но теперь нѣсколько возраженій. Если я говорю, что люди практики не дѣлаютъ необходимыхъ предварительныхъ, чисто научныхъ открытій, то это не значить, что этого никогда не бываетъ; хотя рѣдко, но и теперь бываютъ случаи, когда изобрѣтатели научныхъ истинъ умѣютъ найти для нихъ и практическое примѣненіе; вообще говоря, эти двѣ работы требуютъ различныхъ способностей ума, различнаго направленія мышленія. Если я тутъ выдѣляю интересы тѣхъ, чье положеніе, — которымъ они всецѣло обязаны своей умственной высотъ, — часто оцѣнивается такъ неправильно, то я вовсе не хочу возвысить одинъ классъ работниковъ на счетъ другого: они неизбѣжно дополняютъ другъ друга. Но не забудьте, что одинъ классъ вполне обезпеченъ. Видя, что имъ предоставлены всевозможныя матеріальныя награды, общество приписываетъ имъ также и всѣ умственныя преимущества; но это совершенно несправедливо, и можетъ служить лишь во вредъ тѣмъ научнымъ занятіямъ, отъ которыхъ происходятъ не только всѣ наши свѣдѣнія о природѣ, но и всякое промышленное

искусство; они то и заставляютъ промышленный геній страны вѣчно стремиться впередъ.

Пастеръ, одинъ изъ самыхъ выдающихся членовъ французской академіи, высказываясь по поводу грустнаго положенія своей родины и относительно побѣды Германіи въ послѣднюю войну, говоритъ слѣдующее: «Очень немногіе люди понимаютъ истинное происхожденіе чудесъ промышленности и благосостоянія народовъ. Для доказательства достаточно указать на все учащающееся повтореніе, какъ въ официальномъ языкѣ, такъ и въ различныхъ сочиненіяхъ, совершенно неправильнаго выраженія «прикладная наука». Недавно въ присутствіи одного весьма даровитаго министра выразили сожалѣніе, что люди, способные принести много пользы на поприщѣ науки, уклоняются отъ научной карьеры. Государственный дѣятель, стараясь показать, что мы не должны удивляться этому, сказалъ: въ настоящее время царство теоретической науки прошло и уступило мѣсто прикладной наукѣ. Не могло быть мнѣнія ошибочнѣе этого, — я готовъ даже сказать, что и для практической жизни нѣтъ ничего опаснѣе, чѣмъ послѣдствіе этихъ словъ. Они остались у меня въ памяти, какъ доказательство неотложной необходимости реформъ нашихъ высшихъ научныхъ учреждений. Не существуетъ отдѣла науки, который можно было бы назвать «прикладная наука». Существуетъ наука и существуютъ ея приложенія; они такъ же неразрывно связаны, какъ дерево и его плоды».

Кювье, творецъ сравнительной анатоміи, пишетъ объ этомъ же вопросѣ слѣдующее: «Всѣ эти великія практическія нововведенія представляютъ собою не болѣе, какъ приложеніе истинъ высшаго порядка, которыхъ искали не ради практической цѣли, а ради нихъ самихъ, и только изъ любви къ самому знанію. Кто изобрѣлъ ихъ примѣненіе, не могъ бы ихъ открыть; кто открылъ ихъ, не имѣлъ желанія искать ихъ примѣненія. Погруженные въ высокія области, куда завлекало ихъ научное мышленіе, люди чистаго знанія вовсе не видѣли практическихъ послѣдствій своихъ собственныхъ трудовъ. Всѣ эти процвѣтающія торговыя фирмы, заселенныя колоніи, корабли, бороздящіе моря,—все это происходитъ отъ научныхъ открытій, и все остается чуждымъ дѣятелямъ науки. Лишь только наука переходитъ въ область практики, ученые покидаютъ ее; это дѣло ихъ не касается».

Когда «отцы-пилигримы» пристали къ Плаймутской скалѣ, и когда Пеннъ заключилъ свой договоръ съ индѣйцами, пришельцамъ пришлось строить дома, обрабатывать землю и заботиться о своихъ душахъ. Въ такомъ населеніи, конечно, никто не могъ думать о наукѣ въ ея абстрактной формѣ. И до сихъ поръ, пока закаленный пионеръ Запада долженъ еще бороться съ суровой природой, проникать въ горы и подчинять себѣ лѣса и степи, нельзя было ожидать занятій наукой ради самаго знанія. Первая потребность человѣка это пища и кровля; но большая часть этого материка значительно выше этихъ заботъ. Джентльмены въ Нью-Йоркѣ, Бруклинѣ, Бостонѣ, Филадельфіи, Балтиморѣ и Вашингтонѣ уже построили свои дома, и построили очень хорошо; у васъ уже вполне позаботились объ обѣдахъ и я могу засвидѣтельствовать ихъ превосходныя качества. Вы достигли всѣхъ условій хорошей и независимой жизни; отъ васъ можно теперь требовать такого образованія, до какого можетъ въ настоящее время дойти человѣкъ. Обладая богатствомъ и досугомъ, вы дошли до той зрѣлости, когда

искатель научной истины ради нея самой долженъ найти поддержку и поощреніе.

Одинъ изъ интересующихъ насъ въ данное время вопросовъ, — это вопросъ, можетъ ли республика воспитать наиболѣе гениальныхъ людей. Вы знакомы съ сочиненіями Токвиля, — знакомы также съ той симпатіей, которую онъ питалъ къ вашимъ учрежденіямъ; эта симпатія должна быть для васъ тѣмъ дороже, что онъ съ чисто философской откровенностью указываетъ, какъ на ваши заслуги, такъ и на слабыя мѣста и неудачи. Если бы я сталъ говорить здѣсь слишкомъ критически и предубѣжденно о наукѣ въ Америкѣ, вы бы тотчасъ, точно благодаря какому то невидимому излученію, почувствовали это изъ моихъ словъ, и отъ этого зависѣло бы ваше сегодняшнее сужденіе обо мнѣ. Если же я возьму на себя смѣлость повторить, въ очень дѣйствительно очень дружелюбномъ тонѣ то, что сказалъ этотъ знаменитый историкъ и изслѣдователь демократическихъ учреждений, то я убѣжденъ, что вы выслушаете меня до конца. Онъ писалъ давно: быть можетъ, теперь онъ и не написалъ бы этого. Но все же никому не повредитъ еще разъ услышать его слова и принять ихъ поближе къ сердцу.

Въ одномъ изъ своихъ сочиненій, опубликованномъ въ 1850 году, Токвиль говоритъ: «Мы должны сознаться, что среди современныхъ цивилизованныхъ народовъ не много найдется такихъ, которые бы сдѣлали столь же незначительные успѣхи въ области высшихъ наукъ, какъ Соединенные Штаты <sup>1)</sup>». Онъ высказываетъ убѣжденіе, что еслибы вы были въ мірѣ одни, вы скоро пришли бы къ открытію, что не можете долго подвигаться впередъ въ области прикладныхъ наукъ, не заботясь въ тоже время о теоретической наукѣ. Но, по его мнѣнію, вы не находитесь одни, онъ отказывается отдѣлать Америку отъ ея первоначальной родины и утверждаетъ, что отсюда то вы и берете тѣ уметвенныя сокровища, надъ созданіемъ которыхъ вы не желаете трудиться.

Токвиль, очевидно, сомнѣвается, чтобы новая республика могла воспитать гениевъ, какъ это дѣлали древнія аристократическія республики. «Будущее покажетъ, можетъ ли въ демократическомъ обществѣ рѣдкая и плодотворная любовь къ глубокому знанію развиваться также успѣшно, какъ въ обществѣ аристократическомъ. «Что касается меня», продолжаетъ онъ, «то я въ этомъ сильно сомнѣваюсь». Онъ говоритъ о лихорадочной суетливости демократовъ, — не во время большихъ возбужденій, которыя, конечно, могутъ дать исключительный импульсъ къ новымъ идеямъ, но во время мира. «Въ демократіи», говоритъ онъ, «постоянно происходитъ небольшое и непріятное движеніе, — родъ непрерывнаго тренія одного человѣка о другого, которое сбиваетъ и разсѣиваетъ умъ, не освѣжая его и не сообщая ему вдохновенія». Вамъ остается теперь показать, дѣйствительно ли это такъ, или научный гений можетъ найти благоприятныя условія для своего процвѣтанія и въ вашей средѣ.

Я бы неохотно сталъ возражать такому тонкому наблюдателю и

<sup>1)</sup> Il faut reconnaître que parmi les peuples civilisés de nos jours il en est peu chez qui les hautes sciences aient fait moins de progrès qu'aux Etats-Unis, ou qui aient fourni moins de grands artistes, de poètes illustres et de célèbres écrivains! (De la Démocratie en Amérique, etc. Tome II, p. 36).

глубокому политическому мыслителю, но съ тѣхъ поръ какъ я нахожусь въ этой странѣ, я не могъ найти ничего въ ея общественныхъ учрежденіяхъ, что могло бы помѣшать прирожденному изслѣдователю всецѣло посвятить себя чистой наукѣ. Если въ Америкѣ и не достигли большихъ результатовъ въ области науки, то я склоненъ приписывать этотъ недостатокъ вовсе не мелочной суетливости общества, а тому, что тѣ изъ васъ, которые были бы способны къ глубокимъ научнымъ изслѣдованіямъ, настолько завалены дѣлами администраціи и школьнымъ преподаваніемъ, что для нихъ совершенно невозможно заниматься продолжительными и спокойными наблюденіями, необходимыми для научныхъ изслѣдованій. Можно было бы спросить: да развѣ Генри могъ бы превратиться въ чиновника администраціи, или Дрэнперъ могъ бы оставить естественныя науки и писать объ исторіи, если бы научный изслѣдователь пользовался въ этой странѣ тѣмъ почетомъ, котораго онъ заслуживаетъ? Я думаю, что едва ли. Но все же, по моему, такое положеніе вещей долго продолжаться не будетъ. Въ Америкѣ у отдѣльныхъ лицъ, стремящихся къ общественному благу, проявляется необыкновенная готовность жертвовать своимъ состояніемъ на дѣло воспитанія, — готовность, какой не приходится видѣть ни въ одной другой странѣ; нужно лишь вѣрно направить ее и она поможетъ вамъ устранить упрекъ Токвиля.

Самая трудная задача ваша будетъ заключаться не въ постройкѣ научныхъ учреждений, а въ нахожденіи подходящихъ для нихъ лицъ. Вы можете построить и обставить лабораторіи; можете снабдить ихъ всеми вспомогательными орудіями для научныхъ изслѣдованій. Но сдѣлавъ это, вы только создадите возможность для упражненія силъ, происходящихъ изъ такого источника, который совершенно внѣ вашей власти. Вы не можете создать гения, если бы даже готовы были предложить за него все ваши сокровища. Говоря языкомъ Библии, геній—божій даръ. Если бы ваши богатства и ваша готовность къ пожертвованіямъ были въ миллионъ разъ больше, то вы могли бы лишь заботиться о томъ, чтобы этотъ чудный даръ имѣлъ достаточно свободы, свѣта и теплоты, необходимыхъ для развитія. Иногда мы видимъ, что благородное растеніе гибнетъ отъ окружающихъ его сорныхъ травъ. Хотя жизнедѣятельность растенія и внѣ вѣдѣнія садовника, но сорныя травы онъ можетъ удалить; такъ и вы, представители капітала, часто можете освободить генія отъ стѣсняющей его жизнь борьбы за существованіе.

Слѣдуя вашему любезному приглашенію, я пріѣхалъ сюда читать лекціи; теперь, когда мое посѣщеніе Америки уже почти относится къ прошедшему, я могу сказать, что мои воспоминанія о немъ будутъ имѣть лишь свѣтлыя стороны. Едва ли кто изъ публичныхъ лекторовъ былъ такъ щедро награжденъ, какъ я. Находясь въ такомъ счастливомъ положеніи, я могу сказать вамъ, что дѣло лектора и учителя не есть еще самое высшее дѣло въ области науки; учитель большею частью лишь распространяетъ сокровища ума, накопленныя высоко стоящими учеными. Хотя умѣренное чтеніе лекцій и преподаваніе, вообще говоря, и содѣйствуютъ умственной свѣжести ученыхъ, всетаки ваши наиболѣе выдающіеся ученые должны выступать не столько въ роли преподавателей, сколько въ роли изслѣдователей истины. Между вами тоже найдутся научные гении,

не въ большомъ количествѣ, — въ большомъ количествѣ, повѣрьте мнѣ, ихъ нѣтъ нигдѣ, — но все же они находятся тутъ и тамъ. Уберите съ ихъ пути всѣ лишеныя, препятствія, относитесь участливо къ основателямъ нашего знанія; предоставьте имъ нужную для ихъ изслѣдованій свободу, не переутомляйте ихъ лекціями и дѣлами администраціи, не требуйте отъ нихъ такъ называемыхъ практическихъ результатовъ, а, главное, не предлагайте имъ вопроса, съ которымъ такъ часто невѣжды обращаются къ гению: а какая же польза въ вашей работѣ? Предоставьте имъ искать истину, какъ бы непрактичной она въ данное время вамъ ни казалась. «Если ты бросишь хлѣбъ на воду, онъ непременно вернется къ тебѣ, хотя, быть можетъ, лишь черезъ много дней».

## ПРИЛОЖЕНІЕ.

### О спектрахъ поляризованнаго свѣта.

Вильямъ Споттисвудъ показалъ нѣсколько лѣтъ тому назадъ членамъ Королевскаго Общества рядъ опытовъ, и очень эффектныхъ, надъ спектрами поляризованнаго свѣта. Онъ прежде всего повторилъ со своими большими призмами Николая опыты Фуко и Физо и далъ ихъ объясненіе; затѣмъ сдѣлалъ очень интересное добавленіе, — уже свое собственное. Я привожу здѣсь часть разсужденій изъ его сообщенія.

«Какъ извѣстно, достаточно тонкая пластинка гипса, помѣщенная между двумя призмами Николая, или, выражаясь технически, между поляризаторомъ и анализаторомъ, вызываетъ двѣтнующую окраску. Является вопросъ: какова же природа этихъ цвѣтныхъ лучей? Чтѣ они — простые цвѣта спектра, или составные? И если составные, то изъ какихъ частей они состоятъ? Отвѣтъ, вытекающій изъ волновой теоріи свѣта, будетъ въ краткихъ словахъ слѣдующій: при прохожденіи черезъ гипсовую пластинку, лучи, въ зависимости отъ ихъ плоскости колебанія и отъ скорости распространенія въ гипсѣ, раздѣляются такъ, что одни изъ нихъ, приведенные анализаторомъ къ одной плоскости колебанія, уничтожаютъ другъ друга, другіе — усиливаютъ. Если это такъ, то при разсѣяніи призмой выходящихъ изъ анализатора лучей, это не замедлитъ обнаружиться: тогда смѣшаны лучи всевозможныхъ цвѣтовъ, а если одного цвѣта не хватаетъ, то на мѣстѣ недостающаго цвѣта въ спектрѣ окажется темная полоса. Но кромѣ того, при полученіи спектра должны проявиться всѣ тѣ явленія, которыя наблюдались при вращеніи анализатора: при вращеніи на  $45^\circ$  пропадали всѣ слѣды окраски, а при вращеніи на  $90^\circ$  появлялась окраска въ дополнительный цвѣтъ.

Въ спектрѣ красноватаго свѣта, полученнаго при помощи гипсовой пластинки, можно замѣтить темную полосу на мѣстѣ голубого цвѣта. При вращеніи анализатора темная полоса по немногу проясняется, и при  $45^\circ$  исчезаетъ почти совсѣмъ. При такомъ положеніи каждая часть спектра имѣетъ надлежащую яркость; безъ спектроскопа цвѣтъ казался бы бѣлымъ. Затѣмъ, при дальнѣйшемъ вращеніи анализатора, появляется темная полоса на мѣстѣ краснаго цвѣта, соответствующемъ дополнительному цвѣту къ тому, который раньше былъ замѣненъ темной полосой; полоса становится

особенно темной при вращеніи на  $90^\circ$ . Такимъ образомъ спектроскопъ даетъ намъ подробный отчетъ о явленіяхъ при первоначальной окраскѣ и при ея измѣненіяхъ.

Извѣстно далѣе, что полученная, благодаря гипсовой или какой-нибудь другой кристаллической пластинкѣ, цвѣтная окраска зависитъ отъ толщины пластинки. Примѣняя пластинки различной толщины, дающія окраску различныхъ цвѣтовъ, мы и въ спектрахъ получаемъ полосы на различныхъ мѣстахъ. Тонкія пластинки обнаруживаютъ темныя полосы близъ фіолетоваго конца, гдѣ волны короче, — онѣ даютъ красную окраску; толстыя пластинки даютъ темныя полосы близъ красного конца, гдѣ волны длиннѣе, — и онѣ болѣе голубого цвѣта.

Если увеличивать понемногу толщину пластинки, что ея окраска пройдетъ всѣ цвѣта спектра попорядку; при дальнѣйшемъ утолщеніи пластинки вновь повторяется тотъ же рядъ цвѣтовъ; но можно замѣтить, что при каждомъ новомъ появленіи, цвѣта дѣлаются все блѣднѣе и блѣднѣе, пока, наконецъ, послѣ ряда повтореній, при достаточной толщинѣ пластинки, не исчезнутъ всякіе слѣды окраски. Возьмемъ теперь рядъ пластинокъ: первая двѣ изъ нихъ, какъ вы видите, даютъ окраску; остальные пластинки толще ихъ: онѣ даютъ настолько тонкіе цвѣта, что ихъ съ трудомъ можно различать. Спектръ первой изъ нихъ обнаруживаетъ одну темную полосу, второй — двѣ; такимъ образомъ два ряда цвѣтовъ неодинаковы: второй рядъ получается погашеніемъ двухъ составныхъ частей бѣлаго свѣта. Спектры остальныхъ пластинокъ обнаруживаютъ цѣлый рядъ темныхъ полосъ; онѣ тѣмъ многочисленнѣе, чѣмъ толще пластинка. Такое увеличеніе числа полосъ можетъ продолжаться до безконечности. Весь свѣтъ, котораго не хватаетъ въ спектрѣ толстыхъ пластинокъ, былъ взятъ изъ разныхъ его мѣстъ, или, другими словами, сохранившійся свѣтъ распространяется болѣе или менѣе равномерно по спектру, сообразно съ чѣмъ и сумма всѣхъ лучей все ближе и ближе приближается къ бѣлому свѣту.

Эти опыты были произведены болѣе тридцати лѣтъ тому назадъ французскими учеными Фуко и Физо. Если вмѣсто гипса, исландскаго шпата и другихъ обыкновенныхъ кристалловъ, ставить пластинки кварца, вырѣзанныя перпендикулярно къ его оси, и тогда вращать анализаторъ, какъ мы это дѣлали раньше, то цвѣта будутъ мѣняться непрерывно, а не будутъ обнаруживать лишь одинъ опредѣленный цвѣтъ и его дополнительный цвѣтъ, съ темнымъ промежуткомъ между ними; рядъ полученныхъ цвѣтовъ будетъ въ зависимости частью отъ направленія вращенія анализатора, частью отъ природы кристалла, т. е. отъ того, будетъ ли онъ «правовращающимъ» или «лѣвовращающимъ». Если изслѣдовать спектръ и въ этомъ случаѣ, то можно убѣдиться, что темныя полосы вовсе не исчезаютъ, а переходятъ отъ одного конца спектра къ другому, — въ томъ именно направленіи, въ которомъ появляются цвѣта, видимые при непосредственномъ проектированіи на экранѣ.

Получаемая при помощи кварцевыхъ пластинокъ поляризація называется «круговою» поляризаціею, а получаемая при помощи другихъ кристалловъ — «плоскою» или «прямолинейною», соответственно формѣ колебаній

частищъ эфира; это приводитъ насъ къ болѣе подробному изслѣдованію природы поляризаціи различныхъ частей спектра поляризованнаго свѣта.

Намъ ясны два обстоятельства: во-первыхъ, если свѣтъ поляризованъ плоско,—т. е. всѣ колебанія луча прямолинейны и лежатъ въ одной плоскости,—то всѣ они должны одинаково относиться къ любому опредѣленному направленію въ пространствѣ, такъ что различныя положенія анализатора должны и дѣйствовать на нихъ различно. Во-вторыхъ, если колебанія круговыя, то анализаторъ во всѣхъ своихъ положеніяхъ дѣйствуетъ на нихъ одинаково, въ чемъ бы это дѣйствіе ни выражалось. Эти положенія повторяютъ лишь одинъ изъ основныхъ законовъ поляризаціи. Въ самомъ дѣлѣ плоско поляризованный свѣтъ попеременно пропускается и погашается анализаторомъ при его вращеніи на  $90^\circ$ , а кругло поляризованный, по всѣмъ видимостямъ, остается безъ перемѣны. Если мы тщательно изслѣдуемъ спектръ прошедшаго черезъ пластинку гипса или другого обыкновеннаго кристалла свѣта, мы убѣдимся, что, если принять за основныя двѣ слѣдующія другъ за другомъ полосы, то занимаемыя ими части спектра и часть спектра, лежащая посрединѣ между ними, поляризованы плоско: онѣ попеременно свѣтятся и тускнѣютъ; части же спектра, лежація между ними,—т. е. отстояція отъ основныхъ полосъ на  $\frac{1}{4}$  разстоянія между ними, остаются все время свѣтлыми: онѣ поляризованы кругло. Но было бы неправильно выводить такое заключеніе на основаніи лишь этого опыта: мы видѣли бы тѣ же явленія, если бы эти части спектра были совсѣмъ не поляризованы, т. е. представляли бы собою обыкновенный свѣтъ. При этомъ предположеніи могли бы также думать, что части спектра, лежація по обѣ стороны разсматриваемыхъ нами мѣстъ, т. е. отстояція отъ основныхъ полосъ на  $\frac{1}{8}$  разстоянія между ними,—частью поляризованы. Но существуетъ очень простое приспособленіе,—такъ называемая «пластинка въ четверть-волны», которая позволяетъ намъ отличать не поляризованный свѣтъ отъ кругло-поляризованнаго; это приспособленіе представляетъ собою слюдяную пластинку такой толщины, что разница хода обыкновеннаго и необыкновеннаго луча составляетъ для нея четверть длины волны. Въ виду небольшого количества времени, находящагося въ нашемъ распоряженіи, мнѣ едва ли удастся вполне разъяснить механическое дѣйствіе ея на свѣтовой лучъ; достаточно указать, что такая пластинка, будучи поставлена въ подлежащее положеніе можетъ, превращать плоско-поляризованный свѣтъ въ кругло-поляризованный, и обратно. Если это такъ, то оставшіяся свѣтлыми части спектра должны потемнѣть при вращеніи анализатора. Общій видимый результатъ ея дѣйствія сведется къ передвиженію всѣхъ полосъ на  $\frac{1}{4}$  разстоянія между ними.

Круговая поляризація, какъ и всякое круговое движеніе, можетъ проявиться въ двухъ видахъ, отличающихся другъ отъ друга лишь направленіемъ движенія. И въ самомъ дѣлѣ, стоитъ намъ повернуть «пластинку въ четверть волны» на  $90^\circ$ , и вызванная ею круговая поляризація одного вида превратится въ другой видъ,—напр., правое вращеніе превратится въ лѣвое. Сообразно съ этимъ, правыя колебанія кругло-поляризованнаго луча превращаются пластинкой въ колебанія плоско-поляризованнаго луча одного направленія, а лѣвыя круговыя колебанія—въ плоскія колебанія другого направленія, перпендикулярнаго къ первому. Поэтому при

вращеніи пластинки на  $90^\circ$  мы видимъ, что полосы перемѣщаются въ обратномъ направленіи. Итакъ, мы имѣемъ доказательство не только того, что свѣтъ около полосъ кругло поляризованъ, но и что по одну сторону мы имѣемъ правое вращеніе, по другую—лѣвое<sup>1)</sup>.

Если бы время позволяло, я могъ бы разсмотрѣть и еще болѣе тонкія подробности и показать, что между плоско и кругло поляризованнымъ свѣтомъ находится эллиптически-поляризованный; могъ бы также показать положеніе большой и малой осей эллипса и направленіе вращенія. въ каждомъ случаѣ. Но для нашихъ цѣлей достаточно и уже сказаннаго.

Прежде чѣмъ перейти къ сложнымъ полосамъ въ спектрѣ, которыя я собираюсь вамъ показать, я желалъ бы попросить на нѣсколько минутъ вашего вниманія, чтобы показать особенное явленіе, получающееся при примѣненіи двухъ гипсовыхъ пластинокъ, дающихъ дополнительные цвѣта. Спектръ измѣняется въ зависимости отъ относительнаго расположенія пластинокъ. Если онѣ расположены сходнымъ образомъ, т. е. такъ, какъ будто бы онѣ составляли одинъ кристаллъ, онѣ дѣйствуютъ, какъ простая пластинка, толщина которой равняется суммѣ толщинъ обѣихъ пластинокъ: онѣ вызвали бы вдвое большее число темныхъ полосъ, чѣмъ одна пластинка. При вращеніи анализатора полосы исчезаютъ и появляются вновь на мѣстахъ дополнительныхъ цвѣтовъ, какъ и при обыкновенномъ случаѣ плоско-поляризованнаго свѣта. Если повернуть одну пластинку на  $45^\circ$ , то мы увидимъ лишь одну темную полосу, и въ опредѣленномъ мѣстѣ спектра. Эта полоса раздваивается, и обѣ части ея, при вращеніи анализатора, или удаляются другъ отъ друга къ красному и фіолетовому концамъ спектра, или сближаются, въ зависимости отъ направленія его вращенія. Если пластинку повернуть на  $45^\circ$  въ обратномъ направленіи, то получится обратное явленіе. Въмѣстѣ съ тѣмъ полосы оказываются не вездѣ одинаково темными. Наконецъ, при поворотѣ пластинки на  $90^\circ$ , совсѣмъ не видно полосъ, и спектръ кажется попеременно то свѣтящимся, то темнымъ,—какъ будто бы пластинокъ совсѣмъ не было; но плоскость поляризаціи при этомъ тоже вращается на  $90^\circ$ .

Если примѣнять клинообразную пластинку кристалла, то полосы не будутъ пересѣкать спектръ вертикально, онѣ будутъ идти по діагонали, и ея направленіе (вправо или влѣво) будетъ зависѣть отъ положенія толстаго конца клина. Если пользоваться двумя одинаковыми клинообразными пластинками, сложивъ ихъ толстыми концами, то онѣ дѣйствуютъ, какъ одна пластинка, уголъ и толщина которой вдвое больше первой. А если приложить ихъ толстымъ концомъ одной къ тонкому кону другой, то онѣ будутъ дѣйствовать, какъ одна плоская пластинка, и полосы опять будутъ вертикальны и перпендикулярны къ длинѣ спектра.

При вогнутой пластинкѣ полосы расположатся вѣерообразно; степень ихъ расхожденія будетъ зависѣть отъ разстоянія щели отъ центра кризисной поверхности пластинки.

<sup>1)</sup> Здѣсь дѣйствуютъ другъ на друга два взаимно-перпендикулярныхъ колебанія, на которыя раздѣляется лучъ, благодаря гипсовой пластинкѣ; они дѣйствуютъ точно такъ же, какъ два взаимно перпендикулярныхъ колебанія, которыя мы сообщали на четвертой лекціи маятнику, когда онъ былъ на границѣ своего колебанія. Такимъ образомъ колебанія превращаются во вращенія.

Если сложить два кварцевыхъ клина, такъ, чтобы оптическая ось одного изъ нихъ была параллельна сторонѣ преломляющаго угла, а другого—перпендикулярна къ ней, находясь однако въ плоскости этого угла, то мы получимъ такъ называемый «компенсаторъ Бабинэ». Въ этомъ случаѣ явленія очень оригинальны и разнообразны. Диагональныя полосы иногда удваиваются, иногда—какъ и при обыкновенныхъ клинообразныхъ пластинкахъ, иногда соединяются и образуютъ продольныя полосы (вмѣсто поперечныхъ); иногда онѣ пересѣкаются и образуютъ различные узоры; свѣтлыя пятна среди темной сѣти, или наоборотъ, въ зависимости отъ расположенія пластинокъ.

При различномъ расположеніи кристалловъ между поляризаторомъ и анализаторомъ можно до бесконечности разнообразить явленія. Но сказаннаго, вѣроятно, достаточно, чтобы показать, на сколько тонко и тщательно можно изслѣдовать поляризованный свѣтъ при помощи методовъ спектральнаго анализа».

Красивое и поразительное явленіе, получающееся при помощи круглой гипсовой пластинки, тонкой посрединѣ и постепенно утолщающейся къ краямъ, вполне аналогично подобному же явленію,—Ньютоновымъ кольцамъ. Пусть на стекла, обнаруживающія эти кольца, падаетъ тонкій пучекъ свѣта, такъ, что онъ покроетъ на нихъ узкій вертикальный поясъ. Изображеніе этого пояса на экранѣ будетъ покрыто цвѣтными кольцами. Если подвергнуть отраженный лучъ анализу призмой, то на полученный спектръ можно смотрѣть, какъ на безчисленное количество отдѣльныхъ, расположенныхъ рядомъ, изображеній этого пояса. До дисперсіи, изображеніе все было покрыто цвѣтными кольцами, и свѣтъ нигдѣ не былъ погашенъ вполне. Но дисперсія раздѣляетъ различныя цвѣта другъ отъ друга, и каждый цвѣтъ покрывается системой темныхъ линий вълѣдствіе интерференціи, которая съ увеличеніемъ преломляемости сближаются все тѣснѣе и тѣснѣе. Весь спектръ кажется покрытымъ непрерывнымъ рядомъ темныхъ полосъ, которыя пересѣкаютъ цвѣта и по направленію отъ краснаго конца къ фіолетовому все болѣе и болѣе сближаются.

При опытѣ съ гипсомъ (селенитомъ) передъ поляризаторомъ ставится щель, а тонкую гипсовую пластинку держать непосредственно передъ щелью, такъ что свѣтъ проходитъ черезъ центральный поясъ пластинки. Какъ и при кольцахъ Ньютона, изображеніе пояса покрыто цвѣтными кольцами; если разложить его призмой, то получается спектръ, пересѣкаемый совершенно темными полосами,—точно такъ же, какъ и въ опытѣ съ кольцами Ньютона, и по такой же причинѣ. Это и есть то красивое явленіе, которое Споттисвудъ описываетъ, какъ вѣерообразное расположеніе полосъ: вѣеръ раскрывается къ красному концу спектра.

### Измѣреніе свѣтовыхъ волнъ.

Диффракціонныя полосы, описанныя на второй лекціи, можно получить не на сѣтчаткѣ глаза, а на экранѣ, или на матовомъ стеклѣ, если смотрѣть на него сзади въ увеличительное стекло, или ихъ можно видѣть въ воздухѣ, если отодвинуть стекло. Предположимъ, что мы получили ихъ не на сѣтчаткѣ, а на экранѣ; это даетъ намъ возможность рѣ-



## ОГЛАВЛЕНИЕ.

	Стр.
ЛЕКЦІЯ I. Значеніе опыта.—Прямолинейное распространіе свѣта.— Отраженіе.—Преломленіе.—Поглощеніе. . . . .	1
ЛЕКЦІЯ II. Физическія теоріи.—Теорія истеченія и волновая теорія.—Интерференція. . . . .	88
ЛЕКЦІЯ III. Теорія и опытъ.—Полярность.—Явленія въ кристаллахъ.— Двойное преломленіе.—Поляризація и деполяризація. . . . .	88
ЛЕКЦІЯ IV. Хроматическая поляризація.—Круговая поляризація.— Круговая поляризація.—Магнетизація свѣта.—Искусственное небо. . . . .	70
ЛЕКЦІЯ V. Зрѣніе и лучеиспусканіе.—Ультра-фіолетовые лучи.— Флюоресценція.—Инфра-красные лучи.—Калоресценція.—Тождество свѣта и лучистой теплоты. . . . .	92
ЛЕКЦІЯ VI. Спектральный анализъ.—Общіе выводы. . . . .	88
ПРИЛОЖЕНІЕ. Спектры поляризованнаго свѣта.—Измѣреніе волнъ свѣта . . . . .	129

Черезъ контору „НАУЧНАГО ОБОЗРѢНІЯ“ можно  
выписывать книгу:

М. М. Филипповъ.

# Философія дѣйствительности.

Исторія и критическій анализъ научныхъ міросозерцаній отъ древности до нашихъ дней.

(Два тома, свыше 1000 стр. съ таблицами рисунковъ).

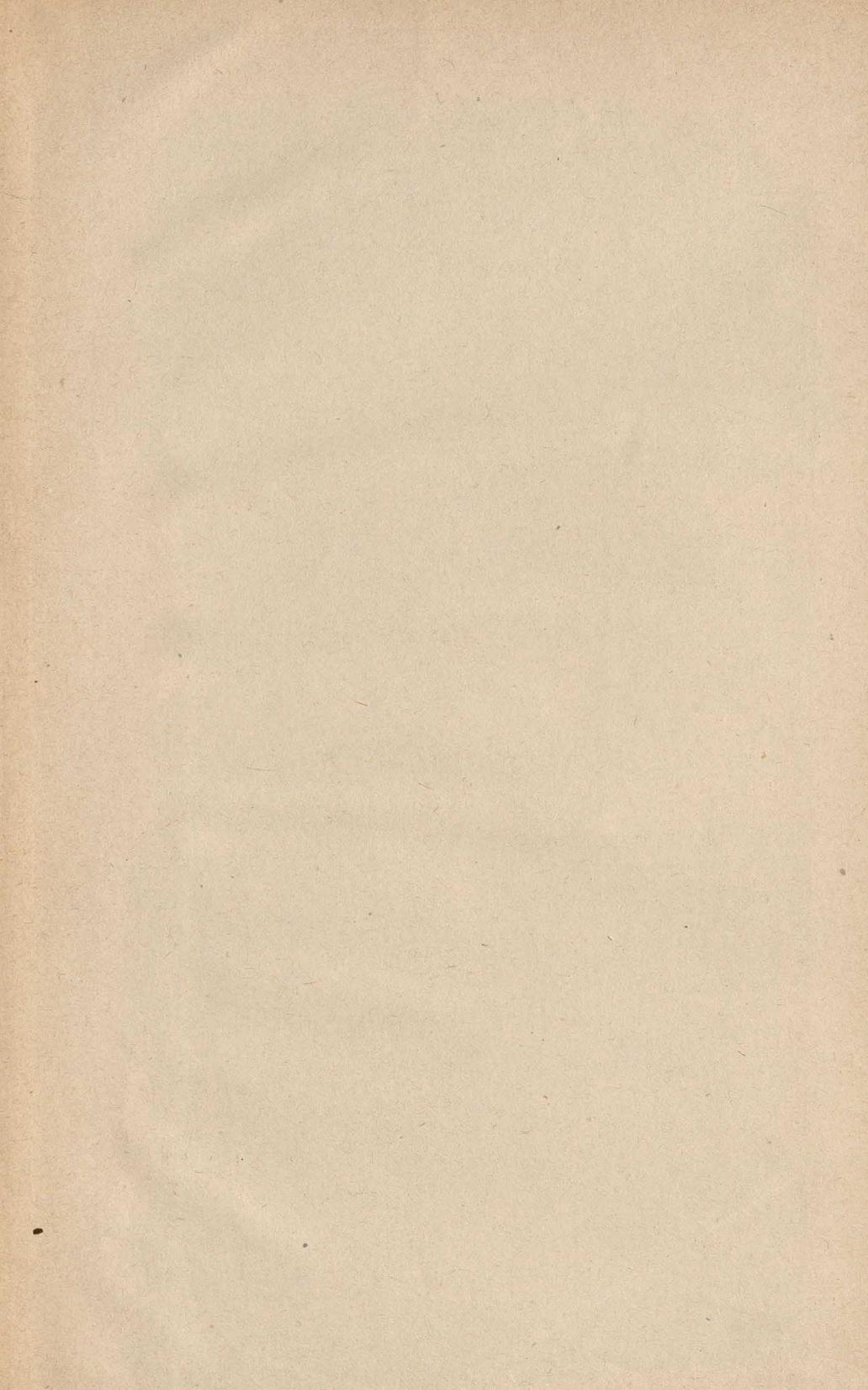
Ц. семь рубл., съ пер. восемь рубл.

Выписывающіе непосредственно черезъ Главную Контору  
„НАУЧНАГО ОБОЗРѢНІЯ“ за пересылку не платятъ.

Адресовать: С.-Петербургъ, Главная Контора  
„Научнаго Обозрѣнія“.

Невскій пр., д. № 79, кв. № 26.











2014312932