

13522

# О СВѢТѢ И ЭЛЕКТРИЧЕСТВѢ

ДЖОНА ТИНДАЛЛЯ.

Лекціи, читанныя въ королевскомъ Институтѣ Великобританіи.

P 262584

ПРОВЕРЕНО  
1952

ОБЩЕСТВЕННАЯ  
БИБЛИОТЕКА  
ИМ. Я. С. БАУМАНА

Фундаментальная

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Изданіе книжнаго магазина Чернессова.

1873

БИБЛИОТЕКА  
ИМПЕРАТОРСКАГО  
МОСКОВСКАГО  
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА



Дозволено цензурою. С.-Петербургъ 11 Декабря 1872 года.

Типографія І. Мордуховскаго (бывшая Неклюдова), Офицерская  
№ 14.



## О СВѢТѢ.

Общія соображенія. — Прямолинейное распространение свѣта.

1. Древніе предполагали, что свѣтъ производится и видѣніе возбуждается чѣмъ-то исходящимъ изъ глаза. Въ настоящее время думаютъ, что видѣніе возбуждается чѣмъ-то дѣйствующимъ на глазъ извнѣ. Что именно такое это что-то, — это мы рассмотримъ впослѣдствіи подробнѣе.

2. *Свѣтящіяся* тѣла суть самостоятельные источники свѣта. Они сами производятъ и распространяютъ его, а не получаютъ свой свѣтъ отъ другихъ тѣлъ. Солнце, звѣзды, пламя свѣчи представляютъ примѣры подобныхъ тѣлъ.

3. *Освѣщенныя* тѣла суть такія, которыя получаютъ свѣтъ дѣлающій ихъ видимыми отъ свѣтящихся тѣлъ. Домъ, дерево, человѣкъ представляютъ примѣры такихъ тѣлъ. Эти тѣла разбрасываютъ во всѣхъ направленіяхъ получаемый ими свѣтъ. Этотъ свѣтъ доходитъ до глаза и дѣйствіемъ его освѣщенныя тѣла становятся видимыми.

4. Всѣ освѣщенныя тѣла разбрасываютъ или отражаютъ свѣтъ и отличаются другъ отъ друга избыткомъ или недостаткомъ свѣта, который они посылаютъ глазу. Бѣлое облако



на темноголубомъ небѣ отличается избыткомъ своего свѣта; темный сосновый лѣсъ проектирующійся на томъ же самомъ облакѣ отличается недостаткомъ свѣта.

5. Взгляните на какую нибудь точку видимаго предмета. Свѣтъ идетъ отъ этой точки къ глазу по прямымъ линіямъ. Линіи свѣта или, какъ ихъ называютъ, *лучи* свѣта доходящіе до зрачка образуютъ *конусъ*, у котораго зр чекъ составляетъ основаніе, а видимая точка вершину. Точка всегда видится въ томъ мѣстѣ, гдѣ лучи образующіе поверхность этого конуса пересѣкаютъ другъ друга или, какъ мы это скоро узнаемъ, гдѣ они *кажутся* пересѣкающимися другъ друга.

6. Свѣтъ, какъ сейчасъ было сказано, движется по прямымъ линіямъ; вы видите свѣтящійся предметъ посредствомъ лучей, которые онъ посылаетъ глазу. Небольшое препятствіе скрывающее отъ глаза видимую точку всегда находится на прямой линіи между глазомъ и точкой. Въ темной комнатѣ сдѣлайте въ ставнѣ небольшое отверстіе, черезъ которое пропустите солнечный свѣтъ. Небольшой свѣтящійся пучокъ обозначить свой ходъ на пыли носящейся въ комнатѣ и путь этого пучка будетъ совершенно прямой.

7. Вообразите, что отверстіе уменьшилось въ объемѣ до такой степени, что пучокъ проходящій сквозь него и обозначающійся на пыли комнаты станетъ тонкимъ какъ линія. Въ этомъ видѣ пучокъ и есть то, что мы называемъ *лучомъ* свѣта.

### Образованіе изображеній черезъ небольшія отверстія.

8. Вмѣсто того чтобы пропускать въ темную комнату черезъ маленькое отверстіе *прямой солнечный свѣтъ*, пропустимъ въ нее свѣтъ отъ какого нибудь тѣла освѣщеннаго солнцемъ, на прим. отъ дерева, дома, человѣка. Устройте такъ, чтобы этотъ свѣтъ упалъ на бѣлый экранъ помѣщенный въ темной комнатѣ. Каждая видимая точка предмета по-



сылаетъ прямой лучъ свѣта черезъ отверстіе. Лучъ содержитъ въ себѣ и цвѣтъ той точки, отъ которой онъ идетъ и отпечатлѣваетъ этотъ цвѣтъ на экранѣ. Сумма лучей падающихъ такимъ образомъ на экранъ производитъ *обратное* изображеніе предмета. Изображеніе получается обратнымъ потому, что лучи въ отверстіи пересѣкаются между собою.

9. *Опытныя доказательства.* — Помѣстите горящую свѣчку въ небольшой ящикъ съ маленькимъ отверстіемъ въ одной изъ его стѣнокъ или и съ большимъ отверстіемъ но покрытымъ тонкимъ оловянымъ листкомъ. Проколите оловяный листокъ иглой; и тогда получится обратное изображеніе пламени на экранѣ помѣщенномъ для принятія его. Когда мы будемъ приближать ящикъ къ экрану или экранъ къ ящику, то величина изображенія будетъ уменьшаться; при увеличеніи же разстоянія между ними величина изображенія будетъ увеличиваться.

10. Очертаніе изображенія получается тѣмъ, что отъ каждой точки контура предмета проводятся прямыя линіи черезъ отверстіе и продолжаются до тѣхъ поръ, пока онѣ пересѣкутъ экранъ. Но этого не могло бы быть, если бы прямыя линіи и лучи свѣта не совпадали между собою.

11. Нѣкоторыя тѣла имѣютъ способность пропускать черезъ себя свѣтъ, такъ что онъ свободно проходитъ черезъ нихъ; такія тѣла называются *прозрачными*. Другія же тѣла имѣютъ способность погашать свѣтъ входящій въ нихъ; эти тѣла называются *непрозрачными*. Однако нѣтъ тѣлъ совершенно прозрачныхъ и совершенно непрозрачныхъ. Чистѣйшее стекло и хрусталь погашаютъ нѣкоторые лучи; самые непрозрачные металлы, если они достаточно тонки, пропускаютъ черезъ себя нѣкоторые лучи. Краснота лондонскаго солнца въ дымной атмосферѣ происходитъ отъ нѣкоторой прозрачности дыма для краснаго свѣта. Чистая вода на большихъ глубинахъ кажется голубою; она болѣе или менѣе погашаетъ красные лучи. Ледъ, если смотрѣть на него въ



большихъ массахъ, какъ въ альпійскихъ ледникахъ, также кажется голубымъ.

### ТѢНИ.

12. Какъ слѣдствіе прямолинейнаго движенія свѣта, непрозрачныя тѣла отбрасываютъ тѣни. Если источникъ свѣта есть *точка*, то тѣнь имѣетъ рѣзкія очертанія; если же источникъ свѣта есть свѣтящаяся *поверхность*, то совершенная тѣнь бываетъ окаймлена несовершенною тѣнью, называемою *полутѣнью*.

13. Если свѣтъ исходитъ изъ точки, то тѣнь шара помѣщеннаго въ свѣтъ бываетъ *расходящимся* конусомъ съ рѣзкими очертаніями.

14. Если же свѣтъ исходитъ отъ свѣтящагося шара, то совершенная тѣнь другаго шара равнаго ему по объему будетъ *цилиндромъ*, который окаймленъ полутѣнью.

15. Если изъ двухъ шаровъ свѣтящійся будетъ больше, тогда совершенная тѣнь будетъ *сходящійся конусъ*; онъ бываетъ окруженъ полутѣнью. Такой видъ имѣютъ тѣни отбрасываемы въ пространство землею и луною; потому что солнце есть шаръ большій чѣмъ земля и луна.

16. Для глаза находящагося въ настоящей конической тѣни луны солнце будетъ казаться въ полномъ затмѣніи; глазу же помѣщенному въ полутѣни солнце покажется серповиднымъ; между тѣмъ какъ для глаза находящагося за вершиной конической тѣни и внутри пространства обнимаемаго поверхностью конуса солнце кажется въ *кольцеобразномъ* затмѣніи. Всѣ эти виды затмѣнія дѣйствительно и бываютъ по временамъ видимы съ земной поверхности.

17. Вліяніе величины можетъ быть опытно доказано посредствомъ пламени имѣющаго форму рыбаго хвоста, также посредствомъ плоскаго маслянаго или парафиноваго пламени. Держа непрозрачную палку между пламенемъ и бѣлымъ экраномъ, мы получаемъ рѣзкую тѣнь, когда *край* пламени обращенъ къ палкѣ. Когда же къ палкѣ обращена расши-



ренная часть пламени, тогда совершенная тѣнь окаймляется полутѣнью.

18. По мѣрѣ увеличенія разстоянія отъ экрана, полутѣнь болѣе и болѣе захватываетъ совершенную тѣнь и наконецъ совершенно сглаживаетъ ее.

19. Вслѣдствіе большаго углового разстоянія солнца сглаживается рѣзкость солнечныхъ тѣней. Напр. тѣнь волоса въ солнечномъ свѣтѣ замѣтно исчезаетъ на нѣсколькихъ дюймахъ разстоянія его отъ поверхности, на которую она падаетъ. Напротивъ электрической свѣтъ исходящій отъ небольшихъ заостренныхъ угольковъ отбрасываетъ опредѣленную тѣнь волоса на экранъ даже на разстояніи многихъ футовъ.

### Ослабленіе свѣта съ увеличеніемъ разстоянія; законъ обратныхъ квадратовъ.

20. Свѣтъ ослабѣваетъ въ своей напряженности или силѣ по мѣрѣ удаленія отъ своего источника. Если свѣтовой источникъ есть *точка*, то сила свѣта ослабѣваетъ *обратно пропорціонально квадратамъ разстоянія*. Принимая количество свѣта падающее на данную поверхность на разстояніи фута или ярда за 1, мы получимъ, что количество его падающее на нее на разстояніи 2 футовъ или ярдовъ будетъ  $\frac{1}{4}$ , на разстояніи 3 футовъ или ярдовъ —  $\frac{1}{9}$ , на разстояніи 10 футовъ или ярдовъ —  $\frac{1}{100}$  и т. д. Это и есть законъ обратныхъ квадратовъ въ примѣненіи къ свѣту.

21. *Опытныя доказательства.*—Помѣстите вашъ источникъ свѣта, которымъ можетъ быть пламя свѣчи—хотя законъ строго вѣренъ только для *точекъ*—на извѣстномъ разстояніи отъ бѣлаго экрана, напр. въ 9 футахъ. Держите квадратный кусокъ картона или другой подходящій предметъ на разстояніи  $2\frac{1}{4}$  футовъ отъ пламени или на  $\frac{1}{4}$  разстоянія отъ экрана. Картонъ отбрасываетъ тѣнь на экранъ.

22. Вы можете убѣдиться въ томъ, что площадь этой тѣни въ 16 разъ больше площади картоннаго квадрата, который отбрасываетъ ее. Тотъ, кто имѣетъ элементарныя свѣ-



дѣнія въ геометріи, сейчасъ же увидитъ, что это должно быть такъ, но и не знающіе геометріи легко могутъ убѣдиться въ этомъ посредствомъ измѣренія. Раздѣливши напр. каждую сторону квадратнаго листа бумаги на четыре равныя части и свертывая листъ въ противоположныхъ точкахъ дѣленія, мы получимъ маленкій квадратъ составляющій  $\frac{1}{16}$  площади большаго квадрата. Возьмемъ этотъ маленкій квадратъ или другой равный ему и будемъ держать передъ свѣтомъ, чтобы онъ отбрасывалъ тѣнь. Когда мы отодвинемъ его на  $2\frac{1}{4}$  фута отъ пламени, то его тѣнь на экранѣ отстоящемъ на 9 футовъ какъ разъ будетъ равна цѣлому развернутому листу бумаги. Такимъ образомъ когда мы отнимемъ маленкій квадратъ, то свѣтъ падавшій на него разсѣется на экранѣ по площади въ 16 разъ большей; поэтому онъ ослабѣетъ до  $\frac{1}{16}$  своей прежней силы. Другими словами, увеличивая разстояніе въ 4 раза, мы ослабляемъ свѣтъ въ 16 разъ.

23. Сдѣлайте тотъ же опытъ, помѣстивши квадратъ на разстояніи 3 футовъ отъ источника свѣта и 6 футовъ отъ экрана. Тѣнь отбрасываемая теперь квадратомъ будетъ въ 9 разъ больше площади самаго квадрата; поэтому свѣтъ падающій на квадратъ разсѣвается на экранѣ по поверхности въ 9 разъ большей. Такимъ образомъ онъ ослабѣваетъ до  $\frac{1}{9}$  своей силы. Другими словами, утраивая разстояніе отъ источника свѣта, мы ослабляемъ свѣтъ въ 9 разъ.

24. Сдѣлайте тотъ же опытъ на разстояніи  $2\frac{1}{4}$  футовъ отъ источника. Тѣнь будетъ здѣсь въ четыре раза больше площади квадрата отбрасывающаго тѣнь и свѣтъ разсѣявшійся по большому квадрату будетъ ослабленъ до  $\frac{1}{4}$  своей прежней силы. Такимъ образомъ удвояя разстояніе отъ источника свѣта, мы уменьшаемъ силу свѣта въ 4 раза.

25. Вмѣсто того чтобы начинать съ разстоянія  $2\frac{1}{4}$  футовъ отъ источника, мы могли бы начать съ разстоянія въ 1 футъ. Площадь тѣни въ этомъ случаѣ была бы въ 81 разъ больше площади отбрасывающаго ее квадрата; это значитъ, что на разстояніи 9 футовъ сила свѣта составляетъ только  $\frac{1}{81}$  силы его на разстояніи 1 фута.



26. Такимъ образомъ когда разстоянія будутъ

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9 и проч.,

то соотвѣтствующія имъ силы свѣта будутъ

1,  $\frac{1}{4}$ ,  $\frac{1}{9}$ ,  $\frac{1}{16}$ ,  $\frac{1}{25}$ ,  $\frac{1}{36}$ ,  $\frac{1}{49}$ ,  $\frac{1}{64}$ ,  $\frac{1}{81}$  и проч.

Это и есть числовое выраженіе закона обратныхъ квадратовъ.

### Фотометрія или измѣреніе свѣта.

27. Установленный нами выше законъ даетъ намъ возможность сравнивать одинъ свѣтъ съ другимъ и выражать въ числахъ ихъ относительныя освѣтительныя способности.

28. Чѣмъ сильнѣе свѣтъ, тѣмъ темнѣе тѣнь отбрасываемая имъ; другими словами, тѣмъ больше контрастъ между освѣщенной и неосвѣщенной поверхностью.

29. Помѣстите вертикальную палку передъ бѣлымъ экраномъ и держите горящую свѣчку въ нѣкоторомъ, разстояніи за палкой; палка будетъ отбрасывать тѣнь на экранъ.

30. Помѣстите другую горящую свѣчку подлѣ первой; тогда получится другая тѣнь, и легко затѣмъ пристроить все такимъ образомъ, чтобы обѣ тѣни находились близко одна подлѣ другой и поэтому глазу было бы легко сравнивать ихъ между собою. Если при одинаковомъ разстояніи обѣихъ свѣчей отъ экрана обѣ тѣни будутъ одинаково темны, тогда значить обѣ свѣчи имѣютъ одинаковую освѣтительную способность.

31. Но если одна изъ тѣней будетъ темнѣе чѣмъ другая, то это значитъ, что соотвѣтствующій ей свѣтъ свѣтлѣе другаго. Отодвигайте болѣе свѣтлый свѣтъ дальше отъ экрана; тогда обѣ тѣни будутъ постепенно сравниваться между собою по темнотѣ и наконецъ глазъ уже не въ состояніи будетъ замѣчать между ними разницу. Тѣнь соотвѣтствующая каждому свѣту освѣщается и другимъ свѣтомъ и поэтому если тѣни равны, то это происходитъ только оттого,



что количества свѣта посылаемыя обоими источниками на экранъ также равны.

32. Измѣрьте разстоянія обѣихъ свѣчей отъ экрана и возьмите эти разстоянія въ квадратѣ. Эти два квадрата и выразятъ относительныя освѣтительныя способности двухъ свѣчей. Положимъ одно разстояніе будетъ 3 фута, а другое 5; тогда освѣтительныя способности будутъ относиться между собою какъ 9 къ 25.

### Ясность.

33. Но если свѣтъ такъ быстро ослабѣваетъ съ увеличеніемъ разстоянія — если напр. свѣтъ свѣчи на разстояніи одного ярда въ 100 разъ сильнѣе, чѣмъ на разстояніи 10 ярдовъ — то отчего же происходитъ, что смотря на горящія свѣчи въ церквахъ или театрахъ или въ большихъ комнатахъ или на наши уличные фонари, мы видимъ свѣтъ на разстояніи 10 ярдовъ почти также, если не совершенно также ясно, какъ и на самомъ близкомъ разстояніи?

34. Чтобы отвѣчать на этотъ вопросъ, я долженъ забѣжать впередъ и сказать, что задняя сторона глаза есть экранъ сотканный изъ нервныхъ волоконъ и называемый ретиной или сѣтчаткой, и что мы видимъ свѣтъ отчетливо тогда, когда получается его изображеніе на этомъ экранѣ. Этотъ предметъ будетъ вполне разъясненъ, когда мы перейдемъ къ разсмотрѣнію глаза. Чувство внѣшней ясности зависитъ отъ ясности этого внутренняго изображенія на ретинѣ, а не отъ его величины. По мѣрѣ того, какъ мы удаляемся отъ предмета, его изображеніе на ретинѣ становится меньше и легко доказать, что это уменьшеніе слѣдуетъ закону обратныхъ квадратовъ; что на вдвое большемъ разстояніи площадь ретиннаго изображенія уменьшается до  $\frac{1}{4}$ , а на втрое большемъ до  $\frac{1}{9}$  и т. д. Сосредоточеніе свѣта сопровождающее это уменьшеніе величины вполне вознаграждаетъ за ослабленіе происходящее отъ разстоянія; поэтому еслибы воздухъ



былъ ясенъ, то свѣтъ казался бы наблюдателю одинаково яснымъ въ предѣлахъ большихъ измѣненій разстоянія.

35. Еслибы можно было помѣстить глазъ наблюдателя сзади ретины, то онъ могъ бы дѣйствительно наблюдать увеличеніе или уменьшеніе изображенія по мѣрѣ уменьшенія или увеличенія разстоянія; чрезвычайно простой аппаратъ даетъ намъ возможность показать это на опытѣ. Возьмемъ картонную или оловянную трубку въ три или четыре дюйма ширины и въ три или четыре дюйма длины и закроемъ одинъ конецъ ея тонкимъ оловяннымъ листомъ, а другой прозрачной копировальной бумагой или и обыкновенной, но смазанной деревяннымъ масломъ или терпентиномъ. Проколите оловянный листъ и обратите это отверстіе къ пламени свѣчи. Тогда глазъ увидитъ обратное изображеніе пламени на просвѣчивающей бумагѣ. Когда мы станемъ приближать пламя, изображеніе сдѣлается больше, а при удаленіи пламени изображеніе становится меньше; но *ясность* остается неизмѣнною. Тоже самое бываетъ и съ изображеніемъ на ретинѣ.

36. Если пропустить солнечный лучъ въ комнату черезъ небольшое отверстіе, то свѣтовое пятно образовавшееся на стоящемъ въ отдаленіи экранѣ будетъ *круглымъ*, какова бы ни была форма отверстія; этотъ любопытный эффектъ происходитъ отъ угловой величины солнца. Еслибы солнце было *точкой*, то свѣтовое пятно имѣло бы точно такую форму, какъ отверстіе. Предположимъ, что отверстіе имѣетъ квадратную форму; тогда каждая точка на окружности солнца образовала бы маленькій квадратъ на экранѣ. Эти квадраты располагаются по кругу соотвѣтствующему окружности солнца; сливаясь между собою и покрывая другъ друга, они производятъ круглое очертаніе. Свѣтовые пятна образующіяся чрезъ промежутки въ листьѣ деревьевъ на землѣ имѣютъ круглую форму по той же самой причинѣ.

**Свѣтъ требуетъ времени для прохожденія по пространству.**

37. Это было доказано въ 1675 и 1676 годахъ знаменитымъ



датчаниномъ по имени Олафомъ Ремеромъ, который въ то время вмѣстѣ съ Кассини занимался въ Парижѣ наблюденіями надъ затмѣніемъ спутниковъ Юпитера. Эта планета отстоящая отъ солнца на 475,693,000 миль имѣетъ четыре спутника. Мы теперь обратимъ вниманіе только на одного изъ нихъ, самаго близкаго къ планетѣ. Ремеръ наблюдалъ эту луну и увидѣлъ, что она движется передъ планетой, переходитъ на другую сторону ея и затѣмъ погружается въ тѣнь Юпитера, причемъ свѣтъ ея исчезаетъ, точно свѣтъ вдругъ погасшей лампы; на противоположномъ концѣ тѣни она снова являлась, какъ будто вдругъ зажженная лампа. Такимъ образомъ спутникъ былъ сигнальнымъ свѣтомъ для астронома и давалъ ему возможность точно опредѣлить время его обращенія. Промежутокъ между двумя послѣдовательными появленіями свѣта въ этой лунной лампѣ и давалъ это время. Было найдено, что оно составляетъ 42 часа, 28 минутъ и 35 секундъ.

38. Это наблюденіе было столь точно, что опредѣливши моментъ, когда спутникъ выходилъ изъ тѣни, можно было опредѣлить моментъ его сотого выходненія. Оно должно было случиться черезъ 100 разъ 42 часа, 28 минутъ, 35 секундъ отъ его перваго выходненія.

39. Первое наблюденіе Ремера было сдѣлано въ то время, когда земля находилась въ части ея орбиты ближайшей къ Юпитеру. Спустя около 6 мѣсяцовъ, когда спутникъ долженъ былъ сдѣлать свое сотое выходненіе изъ тѣни, онъ оказался неаккуратнымъ и опоздалъ на цѣлыя 15 минутъ противъ вычисленнаго времени. Но кромѣ того его выходненіе происходило все позже и позже по мѣрѣ того какъ земля подвигалась къ части своей орбиты наиболѣе удаленной отъ Юпитера.

40. Ремеръ разсуждалъ такимъ образомъ: «Еслибы я имѣлъ возможность оставаться на другой сторонѣ земной орбиты, то спутникъ всегда показывался бы въ надлежащее время; наблюдатель, помѣщенный здѣсь, вѣроятно увидѣлъ бы его 15 минутами раньше и запозданіе въ моемъ случаѣ про-



изошло отъ того, что свѣту нужно было 15 минутъ на то чтобы пройти отъ мѣста, гдѣ было сдѣлано мое первое наблюдение, до моего настоящаго мѣста.»

41. За этой геніальной догадкой немедленно послѣдовала другая. «Если мое предположеніе справедливо, разсуждалъ Ремеръ, тогда по мѣрѣ того какъ я буду приближаться къ Юпитеру по другой сторонѣ земной орбиты, запаздываніе должно будетъ становиться постепенно меньше и когда я достигну мѣста моего перваго наблюденія, то запаздыванія вовсе не должно быть.» Онъ нашолъ, что это дѣйствительно такъ и есть и такимъ образомъ не только доказалъ, что свѣтъ требуетъ времени для прохожденія по пространству, но и опредѣлилъ скорость его распространенія.

42. Скорость свѣта опредѣленная Ремеромъ составляетъ 192,500 миль въ секунду. 290

### Аберрація свѣта.

Удивительная скорость приписанная свѣту по наблюденіямъ Ремера получила самое разительное подтвержденіе отъ англійскаго астронома Брадлея въ 1723 году. Въ садахъ Кью и до настоящаго времени стоятъ солнечные часы на томъ самомъ мѣстѣ, гдѣ Брадлей открылъ аберрацію свѣта.

43. Если мы движемся быстро въ то время, когда идетъ снѣгъ падающій внизъ вертикально, то намъ кажется, будто снѣжинки падаютъ не вертикально, а летятъ какъ будто на встрѣчу намъ. Подобное отклоненіе лучей свѣта звѣздъ вслѣдствіе движенія земли по ея орбитѣ называется *аберраціей свѣта*.

44. Зная скорость, съ которою мы движемся подъ вертикально падающимъ снѣгомъ и зная уголъ, подъ которымъ кажутся намъ падающими снѣговья хлопья, мы можемъ легко вычислить скорость падающихъ хлопьевъ снѣга. Точно такимъ же образомъ зная скорость движенія земли по орбитѣ и уклоненіе лучей свѣта производимое движеніемъ земли, мы можемъ непосредственно вычислить скорость свѣта.



45. Скорость свѣта по вычисленію Брадлея составляетъ 191,515 миль въ секунду, — самое поразительное согласіе съ результатомъ Ремера.

46. Эта скорость была также опредѣлена опытами на земныхъ разстояніяхъ. Физо нашолъ такимъ образомъ, что она составляетъ 194,677 миль въ секунду, между тѣмъ какъ позднѣйшіе опыты Фуко дали 185,177 миль въ секунду.

47. «Пушечному ядру, говоритъ сэръ Джонъ Гершель, нужно было бы 17 лѣтъ, чтобы долетѣть до солнца, между тѣмъ свѣтъ проходитъ это пространство въ 8 минутъ. Самая быстрая птица при наибольшей быстротѣ своего полета употребила бы три недѣли на то, чтобы облетѣть вокругъ земли. Свѣтъ же проходитъ это пространство въ меньше времени, чѣмъ сколько нужно для одного взмаха ея крыльевъ; но такая быстрота свѣта вполне соотвѣтствуетъ разстояніямъ, которыя долженъ проходить свѣтъ. Можно доказать, что свѣтъ отъ ближайшихъ неподвижныхъ звѣздъ доходитъ до нашей солнечной системы не меньше чѣмъ въ 5 лѣтъ, а телескопы открываютъ намъ предметы вѣроятно гораздо болѣе отдаленные.»

### Отраженіе свѣта (Катоптрика). — Плоскія зеркала.

48. Когда свѣтъ переходитъ изъ одной оптической среды въ другую, то часть его всегда возвращается назадъ или отражается.

49. Свѣтъ отражается *правильно* отъ полированныхъ поверхностей; но если поверхность неполирована, то свѣтъ отражается *неправильно* или разсѣвается.

50. Такимъ образомъ клочекъ обыкновенной рисовальной бумаги разсѣетъ лучъ свѣта падающій на него, такъ что освѣтитъ всю комнату. Но плоское зеркало принимающее солнечный лучъ отразитъ его въ опредѣленномъ направленіи и освѣтитъ сильно только небольшую часть комнаты.



51. Если полировка зеркала будетъ совершенна, то оно будетъ невидимо, мы только увидимъ въ немъ изображенія другихъ предметовъ; еслибы въ комнатѣ не было частичекъ пыли, то солнечный лучъ проходящій по воздуху также былъ бы невидимъ. Частички, носящіяся въ воздухѣ и зеркало становятся видимыми оттого, что они разсѣваютъ свѣтъ.

52. Лучъ свѣта падающій на отражающую поверхность перпендикулярно отражается отъ нея также по перпендикуляру; онъ просто возвращается назадъ по своему прежнему пути. Если же онъ падаетъ на поверхность наклонно, то и отражается наклонно.

53. Поставьте перпендикуляръ къ поверхности въ той точкѣ, гдѣ лучъ падаетъ на нее; уголъ заключающійся между *прямымъ* лучомъ и этимъ перпендикуляромъ называется угломъ паденія. Уголъ же образуемый *отраженнымъ* лучомъ и перпендикуляромъ называется угломъ отраженія.

54. Основной законъ оптики гласитъ, что *уголъ паденія равенъ углу отраженія*.

### Доказательство закона отраженія.

55. Наполните какой нибудь сосудъ водою и подчерните воду, прибавивши къ ней нѣсколько чернилъ. Повѣсьте надъ водою какой нибудь небольшой отвѣсъ, напр. маленькую свинцовую пульку привязанную къ ниткѣ. Вода будетъ нашимъ горизонтальнымъ зеркаломъ, а нитка перпендикуляромъ. Приставьте къ ниткѣ горизонтальную скалу съ отмѣченными на ней дюймами по правую и по лѣвую сторону нитки, такъ чтобы нитка такимъ образомъ находилась на нулевой точкѣ скалы. Зажженная свѣчка помѣщается на одной сторонѣ отъ отвѣсной линіи, а глазъ наблюдателя на другой.

56. Вопросъ подлежащій разрѣшенію состоитъ въ слѣдующемъ: какимъ образомъ отразится лучъ падающій на на жидкую поверхность у основанія отвѣсной линіи? Вода



свѣчку вдоль скалы, такъ чтобы верхушка ея пламени стояла противъ разныхъ чиселъ на ней, мы найдемъ, что для того чтобы увидѣть отраженную верхушку пламени *по направленію одного фута отъ отвѣсной линіи*, мы должны помѣстить глазъ на скалѣ по одну сторону этой линіи на такомъ разстояніи отъ нея, на какомъ стоитъ свѣчка по другую сторону ея. Другими словами, лучъ отраженный отъ основанія перпендикуляра пересѣкаетъ скалу въ разстояніи равномъ разстоянію свѣчки по другую сторону этого перпендикуляра. Изъ этого непосредственно слѣдуетъ, что уголъ паденія равенъ углу отраженія.

57. Съ искусственнымъ горизонтомъ этого рода и при помощи теодолита для измѣренія необходимыхъ угловъ указанный законъ былъ установленъ съ самою строгою точностью. Послѣ того, какъ уголъ высоты звѣзды измѣренъ инструментомъ, телескопъ направляютъ внизъ на изображеніе звѣзды отраженное отъ искусственного горизонта. Всегда оказывается, что прямой и отраженный лучи образуютъ равные углы съ горизонтальною осью телескопа, такъ какъ отраженный лучъ настолько ниже горизонтальной оси, насколько прямой выше ея. Вслѣдствіе разстоянія звѣздъ лучъ падающій на отражающую поверхность параллеленъ съ лучомъ, падающимъ прямо въ телескопъ, и изъ этого выводится посредствомъ короткаго но строгаго доказательства вышеуказанный законъ.

58. Путь проходимый прямымъ и отраженнымъ лучами есть самый кратчайшій.

59. Когда отражающая поверхность не гладка, то до глаза достигаютъ лучи отъ различныхъ точекъ болѣе или менѣе отдаленныхъ одна отъ другой. Такимъ образомъ покрытая зыбью поверхность Темзы посылаетъ глазу вмѣсто одного изображенія фонарей стоящихъ на ея берегу столбы свѣта. Подувши на нашъ сосудъ съ водою, мы также обратимъ отраженный свѣтъ нашей свѣчи въ свѣтовой столбъ.

60. Свѣтъ отражается съ различною силою отъ различныхъ веществъ. При перпендикулярномъ паденіи вода отра-



жасть изъ 1000 лучей только 18, стекло изъ 1000 — 25, между тѣмъ какъ отъ ртути изъ 1000 лучей отражается 666.

61. Когда лучи падаютъ наклонно, тогда отражается большее количество свѣта отъ воды и стекла, чѣмъ сколько показано въ 60 параграфѣ. Такимъ образомъ при углѣ паденія въ 40 градусовъ вода отражаетъ 22 луча; при 60° — 65 лучей; при 80° — 333 луча; а при 89<sup>1</sup>/<sub>2</sub>° (когда свѣтъ почти только скользитъ по поверхности) она отражаетъ 721 лучъ изъ 1000. Это гораздо болѣе чѣмъ отражаетъ ртуть при такомъ же паденіи.

62. Увеличеніе отраженного свѣта по мѣрѣ того, какъ увеличивается наклонность паденія можетъ быть показано въ нашемъ бассейнѣ съ водою. Держите свѣчку такъ, чтобы ея лучи составляли большой уголъ съ поверхностью жидкости, и замѣтьте ясность ея изображенія. Затѣмъ опускайте свѣчку и глазъ до тѣхъ поръ, пока прямой и отраженной лучи почти только будутъ скользить по жидкой поверхности; изображение пламени будетъ теперь гораздо свѣтлѣй чѣмъ прежде.

*Отраженіе отъ зеркалъ.* Съ помощью зеркалъ могутъ быть произведены и поняты разные поучительные опыты.

63. Замѣтьте прежде всего, что когда свѣчка помѣщена между зеркаломъ и глазомъ, такъ что линія идущая отъ глаза черезъ свѣчку перпендикулярна къ зеркалу, то бываетъ видимо только одно очень отчетливое изображеніе свѣчки.

64. Затѣмъ подвиньте глазъ такъ, чтобы онъ получалъ наклонное отраженіе; изображеніе будетъ уже не одно, такъ какъ мы увидимъ рядъ изображеній сначала отчасти покрывающихъ другъ друга. Когда уголъ паденія станетъ достаточно наклоннымъ, то эти изображенія, если стекло зеркала достаточно толсто, будутъ совершенно отдѣльны одно отъ другаго.

65. Первое изображеніе этого ряда происходитъ отъ отраженія свѣта отъ передней поверхности стекла.

66. Второе изображеніе, которое обыкновенно бываетъ гораздо свѣтлѣе, происходитъ вслѣдствіе отраженія отъ задней амальгамированной поверхности зеркала. При большихъ



углахъ паденій, какъ мы сказали выше, металлическое отраженіе бываетъ гораздо сильнѣе чѣмъ отъ стекла.

67. Другія изображенія ряда производятся отраженіемъ свѣта отъ одной поверхности стекла къ другой. При каждомъ отраженіи отъ амальгамированной поверхности часть свѣта выходитъ изъ стекла и достигаетъ глаза, образуя изображеніе; а часть его возвращается назадъ къ амальгамированной поверхности, гдѣ онъ снова отражается. Часть этого отраженного луча также достигаетъ глаза и даетъ другое изображеніе. Этотъ процессъ продолжается: количество свѣта достигающее до глаза становится постепенно меньше и вслѣдствіе этого послѣдующія изображенія становятся тусклѣе, пока они не станутъ наконецъ столь тусклыми, что ихъ уже нельзя и видѣть.

68. Можно произвести здѣсь весьма поучительный опытъ показывающій увеличеніе отраженія отъ стекла вслѣдствіе большей наклонности паденія. Когда мы будемъ приближать къ зеркалу свѣчку и глазъ, то первое изображеніе будетъ постепенно становится ярче; и вы наконецъ достигнете того, что изображеніе отраженное отъ стекла сдѣлается ярче и свѣтлѣе чѣмъ отраженное отъ металлической поверхности. При этомъ часто оказываются неправильности въ отраженіи отъ зеркала; но съ хорошимъ зеркаломъ — а мало бываетъ зеркалъ ужъ такихъ дурныхъ, чтобы они не имѣли хоть нѣсколько хорошихъ мѣстъ — можно получить рядъ указанныхъ изображеній.

69. *Положеніе и характеръ изображеній въ плоскихъ зеркалахъ.* — Изображеніе въ плоскомъ зеркалѣ кажется находящимся за зеркаломъ на такомъ разстояніи, на какомъ предметъ стоитъ передъ зеркаломъ. Это непосредственно вытекаетъ изъ равенства угловъ паденія и отраженія. Проведите линію представляющую сѣченіе плоскаго зеркала и помѣстите передъ нею точку. Лучи исходящіе изъ этой точки отражаются отъ зеркала и падаютъ въ зрачекъ глаза. Зрачекъ есть основаніе конуса такихъ лучей. Продолжите лучи за зеркало; они пересѣкутся тамъ и точка бу-



детъ намъ представляться такъ, какъ еслибы она дѣйстви-тельно находилась въ мѣстѣ пересѣченія. Легко доказать, что мѣсто пересѣченія находится на такомъ разстояніи за зеркаломъ, на какомъ находится точка передъ зеркаломъ.

70. Было бы желательно, чтобы учащіеся упражнялись въ опредѣленіи положеній изображеній въ плоскомъ зеркалѣ при данныхъ положеніяхъ предмета. Изображеніе получается всегда проведеніемъ перпендикуляровъ отъ каждой точки предмета и продолженіемъ ихъ за зеркаломъ, такъ чтобы часть ихъ сзади зеркала была равна части передъ зеркаломъ. Такимъ образомъ мы узнаемъ, что изображеніе бываетъ та-кой же величины и формы какъ и предметъ и сходно съ нимъ во всѣхъ отношеніяхъ исключая одного,—изображеніе имѣетъ боковую обратность относительно предмета (оно симметрично предмету).

71. Эта обратность даетъ намъ возможность читать при помощи зеркала написанное обратно отъ правой руки къ лѣвой, такъ какъ бы оно было написано обыкновеннымъ обра-зомъ. Наборщики набираютъ буквы этимъ обратнымъ обра-зомъ; а посредствомъ отпечатыванія буквъ на бумагѣ онѣ выходятъ обратно этому, т. е. какъ слѣдуетъ. Зеркало да-етъ намъ возможность читать наборъ какъ отпечатанную страницу.

72. Эта боковая обратность бываетъ и тогда, когда мы смотримъ въ зеркало на себя. Напр. правая щека предмета есть лѣвая щека изображенія; правая рука предмета есть лѣвая рука изображенія и т. д. Волосы расчесанные въ пред-метѣ на лѣво въ изображеніи расчесаны на право и т. д.

73. Плоское зеркало въ половину высоты предмета даетъ изображеніе въ цѣлую высоту. Это строго выводится изъ вышесказаннаго.

74. Если плоское зеркало будетъ двигаться параллельно самому себѣ, то изображеніе въ зеркалѣ будетъ двигаться съ вдвое большею скоростію.

75. Тоже бываетъ и съ вращающимся зеркаломъ: если



заставить плоское зеркало вращаться, то уголъ описываемый изображеніемъ будетъ вдвое больше описываемаго зеркаломъ.

76. Въ зеркалѣ наклоненномъ подъ угломъ въ 45 градусовъ къ горизонту изображеніе прямо-стоящаго предмета кажется горизонтальнымъ, между тѣмъ какъ изображеніе горизонтальнаго предмета кажется прямостоящимъ.

77. Предметъ помѣщенный передъ зеркалами стоящими подъ угломъ даетъ число изображеній зависящее отъ величины угла, заключающагося между ними. Чѣмъ меньше уголъ, тѣмъ больше число изображеній. Чтобы найти число изображеній, нужно раздѣлить 360 на число градусовъ угла заключающагося между двумя зеркалами; частное, если оно будетъ цѣлое число, покажетъ число изображеній  $+ 1$ , или покажетъ изображенія и предметъ. На этомъ основано устройство калейдоскопа.

78. Когда уголъ равенъ 0, другими словами, когда зеркала параллельны, то число изображеній бесконечно. Практически же мы видимъ между параллельными зеркалами длинный рядъ изображеній, которыя постепенно становятся слабѣе и наконецъ перестаютъ быть замѣтными для глаза.

### Отраженіе отъ кривыхъ поверхностей. — Вогнутыя зеркала.

79. Уже было сказано и доказано, что свѣтъ движется прямыми линіями, которыя называются лучами. Такіе лучи могутъ быть или расходящимися или параллельными или сходящимися.

80. Лучи исходящіе отъ земныхъ точекъ необходимо бываютъ расходящимися. Лучи отъ солнца или звѣздъ вслѣдствіе громаднхъ разстояній этихъ предметовъ замѣтно параллельны.

81. Посредствомъ надлежащаго отраженія мы можемъ сдѣлать лучи отъ земныхъ источниковъ или параллельными или сходящимися. Это дѣлается посредствомъ *вогнутыхъ* зеркалъ.

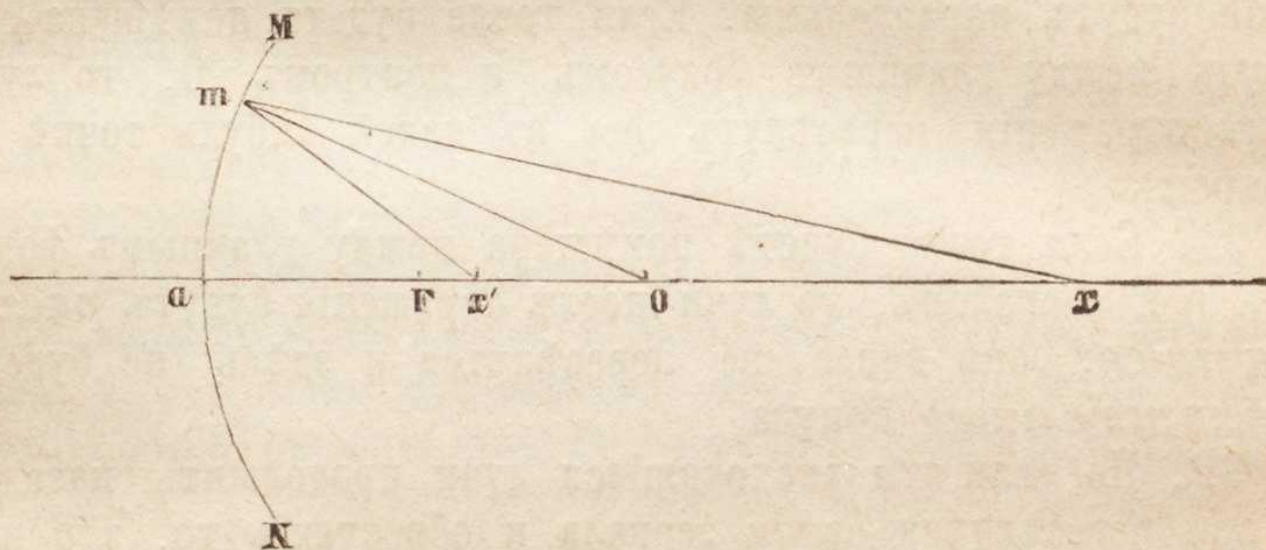
82. Въ своемъ отраженіи отъ такихъ зеркалъ свѣтъ по-



винуется закону уже изложенному относительно плоских зеркаль. Уголъ паденія равенъ углу отраженія.

83. Пусть  $MN$ , рис. 1, будетъ небольшая часть окружности круга съ его центромъ  $O$ . Пусть линія  $ax$  проходящая черезъ центръ разсѣкаетъ дугу  $MN$  на двѣ равныя части въ  $a$ . Затѣмъ вообразите, что кривая  $MN$  сдѣлала полный оборотъ вокругъ  $ax$  какъ своей неподвижной оси; кривая опишетъ часть сферической поверхности. Вообразите, что поверхность обращенная къ  $x$  посеребрена; тогда мы будемъ имѣть вогнутый сферическій рефлекторъ. Теперь мы можемъ понять дѣйствіе этого рефлектора на свѣтъ.

Рис. 1.



84. Линія  $ax$  есть главная ось зеркала.

85. Всѣ лучи выходящіе изъ точки помѣщенной въ центрѣ  $O$  падаютъ на поверхность зеркала какъ перпендикуляры и послѣ отраженія возвращаются въ  $O$ .

86. Свѣтящаяся точка помѣщенная на оси дальше  $O$ , напр. въ  $x$ , посылаетъ на зеркало расходящійся конусъ лучей. Эти лучи послѣ отраженія становятся сходящимися и пересѣкаются другъ друга въ какой нибудь точкѣ на оси между центромъ  $O$  и зеркаломъ. Во всякомъ случаѣ лучи прямой и отраженный (напр.  $xm$  и  $mx'$ ), образуютъ равные углы съ радіусомъ ( $Om$ ) проведеннымъ къ точкѣ паденія.

87. Предположимъ, что  $x$  находится на чрезвычайно далекомъ разстояніи, на такомъ напр. какъ солнце отъ нашего маленькаго зеркала или, что вѣрнѣе, предположимъ, что онъ



удаленъ на *безконечное* разстояніе, — тогда лучи падающіе на зеркало будутъ *параллельны*. Послѣ отраженія такіе лучи пересѣкаются между собою *въ точку лежащей между зеркаломъ и его центромъ*.

88. Эта точка обозначенная на фигурѣ F есть *главный фокусъ* зеркала; т. е. главный фокусъ есть фокусъ *параллельныхъ лучей*.

89. Разстояніе между поверхностью зеркала и его главнымъ фокусомъ называется *фокуснымъ разстояніемъ*.

90. Въ оптикѣ положеніе предмета и его изображенія всегда замѣнимы между собою. Если свѣтящаяся точка будетъ помѣщена въ главномъ фокусѣ, то лучи отъ нея послѣ отраженія будутъ параллельны. Если точка будетъ помѣщена гдѣ нибудь между главнымъ фокусомъ и центромъ O, то лучи послѣ отраженія пересѣкутъ ось въ какой нибудь точкѣ за центромъ.

91. Если точка будетъ помѣщена между главнымъ фокусомъ F и зеркаломъ, то лучи послѣ отраженія будутъ *расходящимися*; они вовсе не пересѣкутся и здѣсь не будетъ *дѣйствительнаго* конуса.

92. Но если эти расходящіеся лучи продолжить назадъ, то они пересѣкутся *сзади* зеркала и образуютъ то, что называется *мнимымъ* или *воображаемымъ* фокусомъ.

Прежде чѣмъ идти далѣе, необходимо усвоить эти простыя подробности, такъ чтобы умѣть при данномъ положеніи точки на оси вогнутаго зеркала найти безъ затрудненія положеніе изображенія этой точки или опредѣлить, какой бываетъ фокусъ *дѣйствительный* или *воображаемый*.

93. Такимъ образомъ станетъ очевиднымъ, что въ то время какъ точка движется съ *безконечнаго* разстоянія къ центру сферическаго зеркала, изображеніе точки передвигается только между главнымъ фокусомъ и центромъ. Наоборотъ оказывается, что въ то время какъ свѣтящаяся точка движется отъ центра къ главному фокусу, изображеніе точки движется отъ центра къ *безконечному* разстоянію.

94. Точка и ея изображеніе занимаютъ мѣста, которыя



называются *сопряженными фокусами*. Если понять предыдущій параграфъ, то легко видѣть, что сопряженные фокусы движутся въ противоположныхъ направленіяхъ и что они совпадаютъ въ центрѣ зеркала.

95. Если вмѣсто точки будетъ помѣщенъ за центромъ зеркала предметъ значительныхъ размѣровъ, тогда получится *обратное* изображеніе предмета въ *уменьшенномъ* видѣ между центромъ и главнымъ фокусомъ.

96. Если предметъ будетъ помѣщенъ между центромъ и главнымъ фокусомъ, то обратное и *увеличенное* изображеніе предмета получается за центромъ. Положенія предмета и его изображенія, какъ уже было упомянуто, взаимно замѣнимы или превратимы.

97. Въ двухъ случаяхъ указанныхъ въ 95 и 96 изображеніе образуется въ воздухѣ *передъ* зеркаломъ. Это *дѣйствительное* изображеніе. Но если предметъ будетъ помѣщенъ между главнымъ фокусомъ и зеркаломъ, тогда мы видимъ *прямое* и *увеличенное* изображеніе предмета сзади зеркала. Это *мнимое* изображеніе. Лучи входятъ въ глазъ такъ какъ будто бы они шли отъ предмета находящагося за зеркаломъ.

98. Изъ этого ясно, что изображенія видимыя въ обыкновенныхъ зеркалахъ суть мнимыя изображенія.

99. Здѣсь слѣдуетъ замѣтить, что все сказанное выше относительно собиранія сферическимъ зеркаломъ лучей въ *одинъ фокусъ* вѣрно только тогда, когда зеркало составляетъ только небольшую часть сферической поверхности. Но даже и въ такомъ случаѣ это вѣрно только практически, а не строго и теоретически.

#### Фокусная поверхность.

100. Когда употребляется какъ зеркало большая часть сферической поверхности, то лучи не собираются въ одной точкѣ; напротивъ ихъ пересѣченія образуютъ *поверхность*, которая называется въ оптикѣ *фокусною* поверхностью (*caustic*, по нѣмец. *Brennfläche*).

101. Внутренняя поверхность обыкновеннаго стакана есть



кривой рефлекторъ. Налейте стаканъ молокомъ почти до вер-ху и поставьте подлѣ него горящую свѣчку; на поверхности молока образуется фокусная кривая. Аккуратно согнутое кольцо посеребренное внутри также ясно и хорошо показываетъ фокусную поверхность. Фокусъ сферическаго зеркала есть остроконечіе его фокусной поверхности.

102. *Аберрація*. — Уклоненіе всякаго луча отъ этого фокуса называется *абберраціей* луча. Неспособность сферическаго зеркала собрать всѣ лучи падающіе на него въ одну точку называется *сферической абберраціей* зеркала.

103. Дѣйствительныя изображенія, какъ уже было сказано, образуются въ воздухѣ передъ вогнутымъ зеркаломъ и они могутъ быть видимы въ воздухѣ глазомъ помѣщеннымъ между расходящимися лучами сзади изображенія. Если непрозрачный экранъ, напр. толстая бумага, перехватываетъ изображеніе, то оно проецируется на экранъ и можетъ быть видимо во всѣхъ положеніяхъ глазомъ помѣщеннымъ передъ экраномъ. Если экранъ полупрозраченъ, напр. изъ матоваго стекла или прозрачной копировальной бумаги, то изображеніе можетъ быть видимо глазомъ находящимся или передъ экраномъ или сзади его. Такимъ способомъ получаютъ изображенія въ фантасмагоріяхъ.

Вогнутыя сферическія поверхности обыкновенно употреб-ляются какъ зажигательныя зеркала. Сосредоточивая солнеч-ные лучи посредствомъ зеркала въ 3 фута въ діаметрѣ и въ 2 фута фокуснаго разстоянія, можно получить весьма сильныя дѣйствія. Въ фокусѣ его вода быстро приходитъ въ кипѣніе и горючія вещества немедленно загораются. Тол-стая бумага горитъ пламенемъ съ значительными взрывами, а доска продыравливается какъ будто раскаленнымъ желѣзомъ.

### Выпуклыя зеркала.

104. Въ *выпуклыхъ* сферическихъ зеркалахъ положенія фокусовъ и изображеній опредѣляются также, какъ и въ во-



гнутыхъ зеркалахъ. Но всѣ фокусы и всѣ изображенія выпуклаго зеркала мнимы.

105. Такимъ образомъ чтобы найти главный фокусъ вы проводите параллельные лучи, которые послѣ отраженія образуютъ съ радіусами углы равные угламъ образуемымъ прямыми лучами. Отраженные лучи будутъ здѣсь *расходящимися*; но будучи продолжены назадъ, они пересѣкаются въ главномъ фокусѣ *сзади зеркала*.

106. Проведеніе *двухъ* линій достаточно для того, чтобы опредѣлить положеніе изображенія какой угодно точки предмета какъ въ вогнутомъ такъ и въ выпукломъ сферическомъ зеркалѣ. Лучъ проведенный отъ точки черезъ центръ зеркала отразится черезъ центръ же; лучъ проведенный параллельно оси зеркала послѣ отраженія или самъ или же его продолженіе пройдетъ черезъ главный фокусъ. Пересѣченіе этихъ двухъ отраженныхъ лучей опредѣляетъ положеніе изображенія точки. Примѣняя это построеніе къ предметамъ замѣтной величины, мы получимъ, что изображеніе предмета въ выпукломъ зеркалѣ всегда бываетъ въ *прямомъ видѣ* и въ *уменьшонномъ*.

107. Если зеркало вмѣсто сферическаго будетъ *параболическимъ*, то всѣ параллельные лучи падающіе на зеркало собираются въ одну точку въ его фокусѣ; наоборотъ, свѣтящаяся точка помѣщенная въ фокусѣ распространяетъ параллельные лучи: здѣсь не бываетъ аберраціи. Если зеркало будетъ *эллиптическимъ*, то всѣ лучи исходящіе изъ одного изъ фокусовъ эллипсоида собираются въ другомъ. Параболическіе рефлекторы употребляются на маякахъ, гдѣ имѣютъ въ виду то, чтобы распространялся далеко по морю сильный пучокъ состоящій изъ лучей возможности параллельныхъ. Въ этомъ случаѣ центръ пламени помѣщается въ фокусѣ зеркала; но такъ какъ пламя имѣетъ замѣтную величину, а не есть одна точка, то лучи отраженного пучка не строго параллельны.



## Преломленіе свѣта (Діоптрика).

108. До сихъ поръ мы останавливали наше вниманіе на той части свѣтоваго пучка, которая отскакиваетъ отъ отражающей поверхности. Но кромѣ того часть пучка *входитъ* въ отражающее вещество, быстро погашаясь, когда вещество не прозрачно (см. § 11), или свободно *проходя* черезъ него, если вещество прозрачно.

109. Такимъ образомъ при отраженіи отъ воды, какъ упомянуто въ § 60, когда паденіе было перпендикулярно, всѣ лучи проходятъ черезъ воду, исключая 18, которые только отражаются. Другими словами, 982 изъ 1000 лучей входятъ въ воду и проходятъ черезъ нее.

110. Тоже самое вѣрно и относительно ртути упомянутой въ § 60; изъ 1000 лучей падающихъ на ртуть при перпендикулярномъ паденіи 334 входятъ въ металлъ и погашаются на небольшомъ разстояніи ниже поверхности.

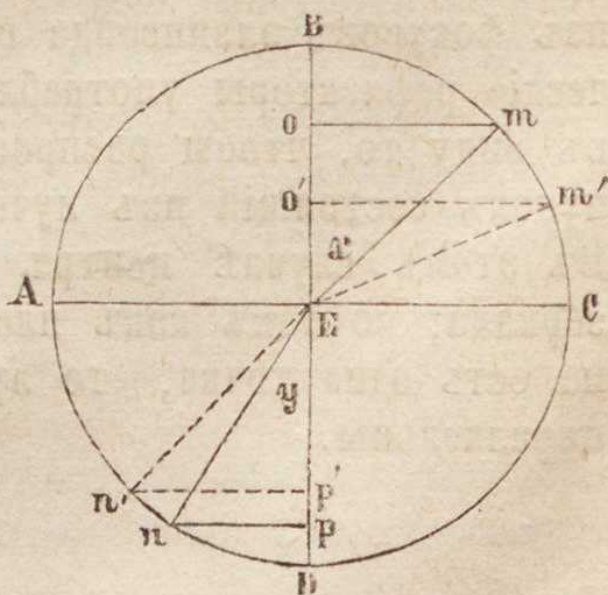
Мы теперь переходимъ къ разсмотрѣнію той части свѣтоваго пучка, которая входитъ въ отражающее вещество и возьмемъ какъ разъясняющій примѣръ переходъ свѣта изъ воздуха въ воду.

111. Если лучъ падаетъ на воду перпендикулярно, то онъ продолжаетъ свой путь по прямой линіи черезъ воду; если же паденіе бываетъ наклонно, то направленіе луча измѣняется въ точкѣ, въ которой онъ входитъ въ воду.

Рис. 2.

112. Это отклоненіе луча называется *преломленіемъ*. Величина его бываетъ различна въ различныхъ веществахъ.

113. Преломленіе свѣта пови-  
нуется совершенно строгому закону, который долженъ быть ясно понятъ. Пусть ABCD, рис. 2, будетъ сѣченіе цилиндрическаго сосуда, который до половины на-





полненъ водою и поверхность ея есть  $AC$ .  $E$  есть центръ круговаго сѣченія цилиндра,  $BD$  перпендикуляръ къ поверхности въ точкѣ  $E$ . Вообразимъ, что цилиндрическая оболочка сосуда непрозрачна, напр. сдѣлана изъ мѣди или олова и представимъ себѣ, что въ ней находится отверстіе въ  $B$ , черезъ которое тоненькій свѣтовой пучокъ проходитъ къ точкѣ  $E$ . Пучокъ будетъ продолжать свой путь по прямой линіи къ  $D$ , не уклоняясь ни направо ни налѣво.

114. Теперь вообразимъ, что отверстіе находится въ  $m$  и лучъ падаетъ на поверхность воды въ  $E$  *наклонно*. По вхожденіи въ жидкость путь его измѣнится; онъ пойдетъ по линіи  $E n$ .

115. Проведите линію  $mo$  перпендикулярную къ  $BD$  и также линію  $nr$  перпендикулярную къ той же  $BD$ . Всегда оказывается, что  $mo$  раздѣленное на  $nr$  есть *постоянная величина*, каковъ бы ни былъ уголъ, подъ которымъ лучъ входитъ въ воду.

116. Уголъ обозначенный  $x$  надъ поверхностью называется угломъ паденія; а уголъ  $y$  подъ поверхностью называется угломъ преломленія; и если мы примемъ радіусъ круга  $ABCD$  за единицу или 1, то линія  $mo$  будетъ синусомъ угла паденія; между тѣмъ какъ линія  $nr$  будетъ синусомъ угла преломленія.

117. Отсюда весьма важный оптичeskій законъ—*синусъ угла паденія раздѣленный на синусъ угла преломленія даетъ постоянную величину*. Какъ бы велики или малы ни были эти углы, это отношеніе между ними никогда не измѣняется. Если одинъ изъ нихъ уменьшится или увеличится, то и другой долженъ уменьшиться или увеличиться такъ, чтобы соотвѣтствовать этому закону. Такъ напр. если паденіе будетъ по пунктированной линіи  $m'E$ , то преломленіе пойдетъ по линіи  $En'$ ; но отношеніе между  $m'o'$  и  $n'r'$  будетъ совершенно такое же какъ между  $mo$  и  $nr$ .

118. Постоянная величина указанная выше называется *показателемъ преломленія*.



119. Необходимо сказать еще нѣсколько словъ для полнаго пониманія термина синусъ и для опытнаго подтвержденія закона преломленія. Когда одно число раздѣлено на другое, то частное называется *отношеніемъ* одного числа къ другому. Такъ напр. 1 раздѣленная на 2 даетъ  $\frac{1}{2}$ , и это есть отношеніе 1 къ 2. Также точно 2 раздѣленное на 1 даетъ 2, и это есть отношеніе 2 къ 1. Подобнымъ же образомъ 12 раздѣленное на 3 есть 4 и это тоже отношеніе 12 къ 3. Наоборотъ 3 раздѣленное на 12 даетъ  $\frac{1}{4}$  и это есть отношеніе 3 къ 12.

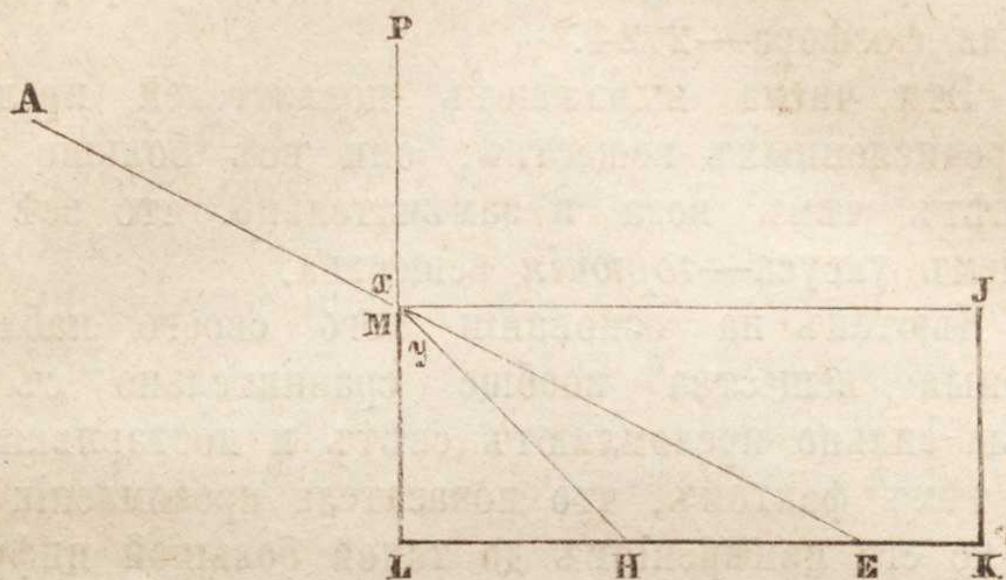
120. Въ прямоугольномъ треугольникѣ отношеніе каждой стороны къ гипотенузѣ находится посредствомъ дѣленія этой стороны на гипотенузу. — *Это отношеніе есть синусъ угла противолежащаго сторонѣ*, какъ бы великъ или малъ ни былъ треугольникъ. Такимъ образомъ въ рис. 2 синусъ угла  $x$  въ прямоугольномъ треугольникѣ *Е о т* есть дѣйствительно отношеніе линіи *о т* къ гипотенузѣ *Е т*; оно выражается въ формѣ дроби такимъ образомъ  $\frac{o\ t}{E\ t}$ . Подобнымъ же образомъ синусъ угла  $y$  есть отношеніе линіи *н р* къ гипотенузѣ *Е н* и выражается въ формѣ дроби такъ  $\frac{n\ p}{E\ n}$ . Эти дроби суть синусы соотвѣтствующихъ угловъ, какова бы ни была длина линіи *Е т* или *Е н*. Въ приведенномъ выше частномъ случаѣ, гдѣ эти линіи приняты за единицы, дроби  $\frac{m\ o}{1}$  и  $\frac{n\ p}{1}$  или другими словами *т о* и *н р* выражаютъ, какъ сказано, синусы соотвѣтствующихъ угловъ. Мы теперь можемъ понять простое но строгое доказательство закона преломленія.

121. МЕJK, рис. 3, есть ящикъ съ параллельными стеклянными стѣнками и непрозрачнымъ краемъ ML. Свѣтъ свѣчки помѣщенной въ А падаетъ въ сосудъ и край ML отбрасываетъ тѣнь, которая достигаетъ точки Е. Наполнимъ сосудъ водою; тогда тѣнь отступитъ до Н вслѣдствіе преломленія свѣта въ точкѣ, гдѣ онъ входитъ въ воду.

122. Уголъ заключающійся между МЕ и ML равенъ углу



паденія  $x$  и согласно съ опредѣленіемъ даннымъ въ 120,  
Рис. 3.



$\frac{LE}{ME}$  есть его синусъ; между тѣмъ какъ  $\frac{LN}{MN}$  есть синусъ угла преломленія  $y$ . Всѣ эти линіи могутъ быть или измѣрены или вычислены. Если они опредѣлены такимъ образомъ и если дѣленіе дѣйствительно произведено, то всегда оказывается, что два частныя  $\frac{LE}{EM}$  и  $\frac{LN}{MN}$  находятся между собою въ постоянномъ отношеніи, каковъ бы ни былъ уголъ, подъ кѣторымъ свѣтъ отъ А падаетъ на поверхность жидкости. Это отношеніе для воды составляетъ  $\frac{4}{3}$  или выражая въ десятичныхъ дробяхъ 1,333 (\*).

123. Когда свѣтъ переходитъ изъ воздуха въ воду, то преломленный лучъ наклоняется къ перпендикуляру. Это бываетъ вообще, хотя и не всегда, въ томъ случаѣ, когда свѣтъ переходитъ изъ менѣе плотной среды въ болѣе плотную.

124. Принципъ обратности проходящій черезъ всю оптику имѣетъ мѣсто и здѣсь. Когда лучъ переходитъ изъ воды въ воздухъ, то онъ отклоняется отъ перпендикуляра: онъ въ точности возвращается обратно на прежній путь.

125. Если вмѣсто воды взять уксусъ, то отношеніе будетъ 1,344; для водки — 1,360; для очищеннаго виннаго спирта—1,372; для миндальнаго или для прованскаго масла —

(\*) Болѣе точно 1,336.



1,470; для терпентина—1,605; для анисоваго масла—1,538; для масла горькихъ миндалей—1,471; для сѣроуглерода—1,678; для фосфора—2,24.

126. Эти числа выражаютъ показателей преломленія этихъ перечисленныхъ веществъ; они всѣ больше преломляютъ свѣтъ чѣмъ вода и замѣчательно, что всѣ они за исключеніемъ уксуса—горючія вещества.

127. Ньютонъ на основаніи того своего наблюденія, что жирныя вещества вообще сравнительно съ своею плотностью сильно преломляютъ свѣтъ и поставивши его въ связь съ тѣмъ фактомъ, что показатель преломленія алмаза доходилъ по его измѣреніямъ до такой большой цифры какъ 2,439,—предполагалъ, что алмазъ можетъ горѣть. Это смѣлое пророчество Ньютона (\*) вполнѣ оправдалось, и сожиганіе алмаза принадлежитъ къ самымъ обыкновеннымъ опытамъ новой химіи.

128. Здѣсь слѣдуетъ замѣтить, что преломленіе терпентина больше чѣмъ воды, хотя плотность терпентина относится къ плотности воды какъ 874 къ 1000. Лучъ идущій наклонно изъ терпентина въ воду отклоняется *отъ* перпендикуляра, хотя онъ переходитъ изъ менѣе плотной среды въ болѣе плотную; между тѣмъ какъ лучъ идущій изъ воды въ терпентинъ наклоняется *къ* перпендикуляру, несмотря на то, что онъ идетъ изъ болѣе плотной среды въ менѣе плотную. Вотъ почему въ 123 и употреблены слова «хотя и не всегда».

129. Если свѣтовой лучъ проходитъ черезъ преломляющую пластинку съ параллельными поверхностями или черезъ какое угодно число пластинокъ съ параллельными поверхностями, то достигши снова среды, по которой онъ шелъ до встрѣчи съ пластинками, онъ принимаетъ свое первоначальное направленіе. Это слѣдуетъ изъ упомянутаго уже закона обратности.

---

(\*) «Потому что этотъ великій человѣкъ, весьма строгій въ своихъ опытахъ и весьма осторожный въ своихъ предположеніяхъ, никогда не задумывался слѣдовать за выводами истины такъ далеко, какъ она только могла вести его.»—Біо.



130. Проходя черезъ преломляющее тѣло или черезъ нѣсколько преломляющихъ тѣлъ, свѣтъ совершаетъ свой переходъ въ *наименьшее время*. То есть при данной скорости свѣта въ различныхъ средахъ путь избираемый лучомъ или другими словами путь, къ которому вынуждаетъ его преломленіе, даетъ ему возможность совершить свой переходъ съ *наивозможною быстротою*.

131. Вслѣдствіе преломленія вода кажется всегда болѣе мелкою чѣмъ она есть на дѣлѣ и прозрачныя пластинки всякаго рода кажутся тоже тоньше. Поднятіе вверхъ нижней плоскости стеклянаго куба вслѣдствіе этой причины весьма замѣтно.

132. Для того чтобы понять, почему вода кажется болѣе мелкою, обратимъ вниманіе на какую нибудь точку на ея днѣ и предположимъ, что линія зрѣнія отъ этой точки къ глазу перпендикулярна къ поверхности воды. Изъ всѣхъ лучей исходящихъ изъ точки только одинъ перпендикулярный достигаетъ глаза безъ преломленія. Лучи же находящіеся подлѣ перпендикуляра выходя изъ воды, становятся еще болѣе расходящимися вслѣдствіе преломленія. Если продолжить эти расходящіеся лучи назадъ, то они пересѣкутся выше дѣйствительнаго дна; въ этой-то точкѣ мы и видимъ дно.

133. Вода кажется еще болѣе мелкою, если смотрѣть въ нее наклонно.

134. Вслѣдствіе этого кажущагося поднятія дна прямая палка опущенная въ воду кажется отклоненной на поверхности *отъ* перпендикуляра.

Замѣьте разницу между перемѣщеніемъ палки и свѣтоваго луча. Лучъ, входя въ воду, наклоняется *къ* перпендикуляру.

135. Это кажущееся поднятіе дна, когда вода налита въ сосудъ, дѣлаетъ видимымъ на днѣ сосуда предметъ, который былъ невидимъ, когда сосудъ былъ пустой.



## Непрозрачность прозрачныхъ смѣсей.

136. Преломленіе всегда сопровождается отраженіемъ; и если не бываетъ одного изъ нихъ, то исчезаетъ и другое. Твердое тѣло погруженное въ жидкость имѣющую одинаковый показатель преломленія съ твердымъ тѣломъ исчезаетъ; оно становится невидимымъ или столь же видимымъ какъ часть самой жидкости равная ему по объему.

137. Но при переходѣ изъ одной жидкости въ другую съ различнымъ показателемъ преломленія свѣтъ всегда отражается; и это отраженіе можетъ повториться столько разъ, что сдѣлаетъ смѣсь двухъ прозрачныхъ веществъ практически непроницаемою для свѣта. Это частота отраженій на граничащихъ поверхностяхъ воды и воздуха дѣлаетъ *тѣну* непрозрачною. Черныя тучи обязаны своею темнотою этому многократному отраженію, которое уменьшаетъ *проходящій* черезъ нихъ свѣтъ. Отъ этого также происходитъ ихъ бѣлизна при *отраженномъ* свѣтѣ. Отъ этой же причины происходитъ бѣлизна и непрозрачность обыкновенной соли и вообще всѣхъ прозрачныхъ тѣлъ, когда они измельчены въ порошокъ. Черезъ отдѣльныя частички свѣтъ проходитъ свободно; но отраженія на ихъ поверхностяхъ столь многочисленны, что свѣтъ истрачивается отъ отраженій прежде чѣмъ пройдетъ до какой нибудь глубины въ порошокъ.

138. Бѣлизна и непрозрачность писчей бумаги происходитъ главнымъ образомъ отъ этой же причины. Ткань изъ прозрачныхъ волоконъ не находящихся между собою въ оптическомъ прикосновеніи останавливаетъ свѣтъ посредствомъ многократныхъ отраженій его.

139. Но если промежутки между волокнами наполнить тѣломъ съ такимъ же показателемъ преломленія какъ сами фибры, то отраженіе отъ ихъ граничащихъ поверхностей уничтожается и бумага дѣлается прозрачною. Въ этомъ и состоитъ вся суть копировальной бумаги употребляемой инженерами. Она пропитана извѣстнымъ сортомъ масла и *черезъ нее* потомъ легко копировать карты и рисунки. Вода увели-



чиваетъ прозрачность бумаги, и бѣлое полотенце отъ смачиванія водою становится темнѣе; но ея показатель преломленія слишкомъ малъ, чтобы сообщить имъ значительную степень прозрачности. Однако же она дѣлаетъ просвѣчивающими нѣкоторые минералы, которые бываютъ непрозрачны въ сухомъ видѣ.

140. Чѣмъ выше показатель преломленія, тѣмъ обильнѣе отраженіе. Показатель преломленія воды напр. есть 1,336, а показатель стекла 1,5. Отсюда различные количества свѣта отражаемые водою и стекломъ при перпендикулярномъ паденіи, какъ упомянуто въ 60. Громадная же преломляющая способность сообщаетъ такой блескъ алмазу.

### Полное отраженіе.

Прочитайте параграфы 123 и 124; они будутъ продолжаться здѣсь.

141. Когда уголъ паденія изъ воздуха въ воду составляетъ около  $90^\circ$ , т. е. когда лучъ до вхожденія въ воду только скользитъ по ея поверхности, то уголъ преломленія будетъ  $48\frac{1}{2}^\circ$ . Наоборотъ когда лучъ выходящій изъ воды въ воздухъ падаетъ на поверхность подъ угломъ  $48\frac{1}{2}^\circ$ , то по выходѣ изъ воды онъ только едва скользнетъ по поверхности воды.

142. Если же уголъ образуемый лучомъ въ водѣ съ перпендикуляромъ къ поверхности будетъ больше  $48\frac{1}{2}^\circ$ , тогда лучъ вовсе не выйдетъ изъ воды; онъ *вполнѣ отражится* отъ поверхности.

143. Уголъ обозначающій предѣлъ, гдѣ начинается полное отраженіе, называется *предѣльнымъ угломъ* среды. Для воды этотъ уголъ составляетъ  $48^\circ 27'$ , для стекла флинтъ —  $38^\circ 41'$ , между тѣмъ какъ для алмаза  $23^\circ 42'$ .

144. Нужно ясно представлять себѣ, что пучокъ свѣтовыхъ лучей занимающій до вхожденія въ воду угловое пространство въ  $90^\circ$  сгущается въ водѣ въ угловое пространство  $48^\circ 27'$ , а что въ алмазѣ это сгущеніе бываетъ съ  $90^\circ$  до  $23^\circ 42'$ .



145. Для глаза помѣщоннаго въ спокойной водѣ берега ея должны казаться *поднятыми вверхъ*. Рыба напр. видитъ всѣ предметы какъ будто черезъ круговое отверстіе въ около  $97^\circ$ , т. е. дважды  $48,27'$ , въ діаметрѣ находящееся наверху. Всѣ предметы выше горизонта будутъ видимы въ этомъ пространствѣ, а предметы подлѣ горизонта будутъ сильно извращены и уменьшены въ размѣрахъ особенно въ высоту. За предѣлами этого круга дно воды будетъ видимо въ полномъ отраженіи и потому будетъ казаться столь же живо и ярко, какъ и при прямомъ видѣніи \*).

146. Подобное же дѣйствіе производимое атмосферою (когда нѣтъ вовсе облаковъ) сообщаетъ солнцу и лунѣ при восхожденіи и захожденіи слегка сплюснутый видъ.

147. *Опытныя доказательства.*—Положите шиллингъ въ стаканъ; налейте на него слой воды около дюйма глубины и наклоните стаканъ такъ, чтобы получить надлежащую наклонность паденія къ поверхности. Смотри снизу вверхъ на поверхность, мы увидимъ изображеніе шиллинга и такъ какъ здѣсь полное отраженіе, то изображеніе будетъ столь же блестяще какъ и самый шиллингъ. Ложка надлежащимъ образомъ погруженная въ стаканъ также даетъ изображеніе происходящее отъ полного отраженія.

148. Погрузите закрытый конецъ пустой пробирной скляночки въ стаканъ съ водою. Наклоняйте трубочку, пока горизонтальный свѣтъ падающій на нее отразится вполнѣ кверху. Если смотрѣть на трубочку сверху внизъ, то она покажется блестящею какъ полированное серебро. Налейте въ трубочку немножко воды: по мѣрѣ того какъ жидкость поднимается въ ней, полное отраженіе уничтожается, а вмѣстѣ съ нимъ пропадаетъ и блескъ, и блестящая часть постепенно уменьшается и наконецъ вполнѣ исчезаетъ, когда уровень жидкости внутри трубочки дойдетъ до уровня или выше уровня воды внѣ ея. Всякая другая трубка заткнутая такъ,

---

\*) Серъ Джонъ Гершель.



чтобы въ нее не проходила вода, годится для этого опыта, который красивъ и поучителенъ.

149. Если лучъ свѣта падаетъ перпендикулярно на сторону прямоугольной равнобедренной призмы, то онъ войдетъ въ стекло и упадетъ на гипотенузу подъ угломъ въ  $45^{\circ}$ . Это уголъ уже больше предѣльнаго угла стекла; лучъ поэтому отразится вполнѣ; и согласно съ закономъ выраженнымъ въ 54 параграфѣ прямой и отраженный лучи будутъ находиться подъ прямымъ угломъ между собою. Когда въ оптическихъ инструментахъ требуется подобное направленіе, то обыкновенно употребляется прямоугольная равнобедренная призма.

150. Если лучъ входитъ въ призму параллельно гипотенузѣ, то онъ преломляется и упадетъ на гипотенузу подъ угломъ большимъ предѣльнаго угла. Поэтому онъ будетъ отраженъ вполнѣ. Если предметъ не есть точка, но имѣетъ замѣтную величину, то лучи отъ его конечностей *пересѣкутся между собою* въ призмѣ и поэтому предметъ покажется въ *превратномъ видѣ*, если смотрѣть на него сквозь призму. Дове употребилъ превращающую призму, чтобы сдѣлать прямыми обратныя изображенія астрономическаго телескопа.

151. Миражъ пустынь и различныя другія необыкновенныя явленія въ атмосферѣ происходятъ отчасти вслѣдствіе полного отраженія. Когда солнечная теплота нагреетъ песокъ, то слой воздуха находящійся въ соприкосновеніи съ пескомъ становится менѣе плотнымъ чѣмъ вышележащій воздухъ. Лучи отъ какого нибудь отдаленнаго предмета, напр. отъ дерева, падая весьма наклонно на верхнюю поверхность этого слоя, могутъ быть вполнѣ отражены и такимъ образомъ могутъ дать изображенія подобныя тѣмъ, которыя производитъ поверхность воды. Солдаты французской арміи изнемогавшіе отъ жажды испытывали муки Тантала при видѣ такихъ обманчивыхъ явленій въ Египтѣ.

152. Газы, подобно жидкостямъ и твердымъ тѣламъ, могутъ преломлять и отражать свѣтъ; но вслѣдствіе ихъ малыхъ показателей преломленія отраженіе и преломленіе



въ нихъ бываютъ слабы. Однако атмосферное преломленіе должно быть принимаемо въ соображеніе какъ астрономомъ такъ и тѣми, которые производятъ тригонометрическія изслѣдованія. Преломленіе атмосферы дѣлаетъ то, что солнце кажется видимымъ прежде чѣмъ оно дѣйствительно взойдетъ и послѣ того какъ оно уже дѣйствительно зашло.

153. Колебаніе предметовъ видимыхъ черезъ воздухъ поднимающійся надъ нагрѣтою поверхностью происходитъ отъ неправильнаго отраженія, которое безпрестанно измѣняетъ направленіе лучей свѣта. Въ воздухѣ постоянно бываетъ это измѣненіе лучей и отчасти бываетъ источникомъ прискорбныхъ непріятностей для астронома, которому нужна однородная атмосфера.

154. Пламя свѣчи или газовой лампы и столбъ нагрѣтаго воздуха надъ пламенемъ; воздухъ поднимающійся отъ накаливаемаго до красна желѣза; выливаніе тяжелаго газа, напр. угольной кислоты, внизъ въ воздухъ; и выходъ легкаго газа, напр. водорода, вверхъ, — всѣ эти явленія могутъ стать видимыми вслѣдствіе своего дѣйствія на достаточно сильный свѣтъ. Если прозрачные газы помѣстить между такимъ свѣтомъ и бѣлымъ экраномъ, то на экранѣ будетъ видно, какъ они подымаются подобно дыму, вслѣдствіе вліянія преломленія.

### Чечевицы (линзы).

155. Чечевицей въ оптикѣ называется кусокъ преломляющаго вещества (напр. стекла), который ограниченъ кривыми поверхностями. Если эта поверхность сферическая, то чечевицы называются сферическими чечевицами.

156. Чечевицы раздѣляются на два класса; однѣ изъ нихъ дѣлаютъ параллельные лучи сходящимися, собираютъ ихъ; а другія дѣлаютъ такіе лучи расходящимися, рассеиваютъ ихъ. Каждый классъ состоитъ изъ трехъ родовъ чечевицъ, которыя называются такъ:



### Собирающія чечевицы.

1. Двояковыпуклая, съ обѣими поверхностями выпуклыми.
2. Плоско-выпуклая, съ одною поверхностію плоскою, а другою выпуклою.
3. Вогнуто-выпуклая (менискъ) съ вогнутою и выпуклою поверхностями, изъ которыхъ выпуклая поверхность имѣетъ большую кривизну.

### Разсѣвающія чечевицы.

1. Двояко-вогнутая, съ обѣими поверхностями вогнутыми.
2. Плоско-вогнутая, съ одною поверхностью плоскою, а другою вогнутою.
3. Выпукло-вогнутая, съ выпуклою и вогнутою поверхностями, изъ которыхъ вогнутая поверхность имѣетъ большую кривизну.

157. Прямая линія проведенная черезъ центръ чечевицы перпендикулярная къ ея обѣимъ выпуклымъ поверхностямъ есть главная ось чечевицы.

158. Свѣтовые лучи падающіе на выпуклую чечевицу параллельно оси пересѣкаются въ извѣстной точкѣ на оси за чечевицей. Эта точка называется главнымъ фокусомъ чечевицы. Какъ было прежде, и здѣсь главный фокусъ есть фокусъ параллельныхъ лучей.

159. Лучи отъ свѣтящейся точки находящейся за фокусомъ пересѣкаются на противоположной сторонѣ чечевицы и изображеніе точки получается въ мѣстѣ ихъ пересѣченія. По мѣрѣ того какъ точка приближается къ главному фокусу, ея изображеніе удаляется отъ него и когда точка достигнетъ главнаго фокуса, то ея изображеніе находится на безконечномъ разстояніи.

160. Если точка пройдетъ за главный фокусъ и будетъ находится между этимъ фокусомъ и чечевицей, то лучи, прошедши черезъ чечевицу, тоже останутся расходящимися. Если мы продолжимъ ихъ назадъ, то они пересѣкутся съ



той же стороны чечевицы, съ которой находится свѣтящаяся точка. Это будетъ *мнимый фокусъ*. Тѣло замѣтныхъ размѣровъ помѣщенное между фокусомъ и чечевицей дастъ мнимое изображеніе.

161. Если предметъ замѣтныхъ размѣровъ будетъ помѣщенъ гдѣ бы то ни было дальше главнаго фокуса, то по другую сторону чечевицы образуется въ воздухѣ дѣйствительное изображеніе предмета. Изображеніе можетъ быть или больше или меньше предмета, но оно всегда бываетъ *обратнымъ*.

162. Положенія предмета и его изображенія и здѣсь, какъ было прежде въ зеркалахъ, взаимно замѣстимы.

163. Въ вогнутыхъ чечевицахъ изображенія всегда бываютъ мнимы.

164. Сферическая чечевица не можетъ собрать всѣ падающіе на нее лучи въ одинъ фокусъ. Лучи идущіе черезъ чечевицу ближе къ ея окружности преломятся больше чѣмъ тѣ, которыя проходятъ черезъ центральныя части, и потому пересѣкутся раньше. Гдѣ требуется совершенная точность, тамъ обыкновенно употребляютъ, хотя съ большой потерей освѣщенія, только центральные лучи.

165. Эта разница фокуснаго разстоянія для центральныхъ и окружныхъ лучей называется *сферической абберраціей* чечевицы. Чечевица сдѣланная такъ, чтобы она собирала всѣ лучи въ одинъ фокусъ называется *апланатическою*; сферическая чечевица не можетъ быть сдѣлана апланатическою.

166. Подобно сферическимъ зеркаламъ и сферическія чечевицы имѣютъ свои фокусныя кривыя поверхности образующіяся отъ пересѣченія преломленныхъ лучей.

### Зрѣніе и глазъ.

167. Человѣческій глазъ есть сложная чечевица состоящая изъ трехъ главныхъ частей: *водянистой жидкости, хрусталика и стекловидной жидкости*.



168. Водянистая жидкость удерживается въ передней части глаза посредствомъ *роговой оболочки* образующей капсулу похожую по формѣ на часовое стекло. За водянистою жидкостью и непосредственно передъ хрусталикомъ находится *радужная оболочка*, которая окружаетъ *зрачокъ*. Затѣмъ слѣдуетъ хрусталикъ и стекловидная жидкость, которая составляетъ главную часть глазнаго яблока. Средній діаметръ глаза человѣческаго составляетъ 10,9 линіи \*).

169. Оптическій нервъ, входя въ глазъ сзади, раздѣляется на рядъ волоконъ, которыя сотканы вмѣстѣ, такъ что образуютъ *ретину*, нѣжную сѣтку расположенную какъ экранъ на задней части глаза. Сѣтка покоится на черномъ пигментѣ, который доводитъ до *minimum* всякое внутреннее отраженіе.

170. Посредствомъ радужной оболочки объемъ зрачка можетъ измѣняться въ извѣстныхъ предѣлахъ. Когда свѣтъ слабъ, то зрачокъ расширяется, а когда онъ силенъ, то зрачокъ сжимается; такимъ образомъ количество свѣта допускаемаго въ глаза можетъ быть регулируемо до нѣкой степени. Зрачокъ также уменьшается, когда глазъ фиксируетъ близкіе предметы и расширяется, когда онъ фиксируетъ отдаленные предметы.

171. Зрачокъ кажется темнымъ, отчасти вслѣдствіе темной внутренней оболочки, но главнымъ образомъ по другой причинѣ. Если бы мы могли освѣтить ретину и видѣть въ то же время освѣщенное мѣсто, то зрачокъ казался бы намъ свѣтлымъ. Но принципъ обратности, о которомъ уже нѣсколько разъ было упомянуто, имѣетъ и здѣсь свое дѣйствіе. Свѣтъ освѣщеннаго мѣста, возвращаясь назадъ наружу, идетъ своимъ прежнимъ путемъ и наконецъ падаетъ на источникъ освѣщенія. Поэтому чтобы увидѣть возвращающіеся лучи, глазъ наблюдателя долженъ быть помѣщенъ между источникомъ свѣта и ретиной. Но въ этомъ положеніи онъ совер-

---

\*) Линія есть  $\frac{1}{12}$  часть дюйма.



шено заслонилъ бы освѣщеніе. Если ввести въ глазъ свѣтъ посредствомъ зеркала, въ которомъ сдѣлано маленькое отверстие или же снята небольшая часть амальгамы, тогда глазъ наблюдателя находящагося сзади зеркала и смотрящаго черезъ отверстие можетъ видѣть освѣщенную ретину. Зрачокъ при этихъ обстоятельствахъ блеститъ какъ раскаленный уголь. На этомъ принципѣ основано устройство *офтальмоскопа* (глазное зеркало Гельмгольца), инструмента, посредствомъ котораго можно изслѣдовать внутренность глаза и узнать его состояніе въ болѣзненномъ и здоровомъ состояніи.

172. У альбиносовъ чорнаго пигмента нѣтъ, и зрачокъ кажется краснымъ отъ свѣта, который проходитъ черезъ *склеротику* или бѣлую оболочку глаза. Когда этотъ свѣтъ устраненъ, то зрачокъ альбиноса кажется чорнымъ. У нѣкоторыхъ животныхъ чорный пигментъ замѣненъ отражающей перепонкой, *tapetum*. Свѣтъ отражающійся отъ этой перепонки и дѣлаетъ то, что глаза кошки свѣтятся въ неполной темнотѣ. Свѣтъ въ этомъ случаѣ бываетъ не внутренній, а отражающійся извнѣ, потому что въ *совершенной* темнотѣ глаза кошки не свѣтятся.

173. Въ камеръ-обскурѣ фотографовъ изображенія внѣшнихъ предметовъ сдѣланныя обратными выпуклой чечевицей принимаются на пластинку матоваго стекла, и чечевица подвигается впередъ или назадъ, до тѣхъ поръ пока изображеніе на стеклѣ не будетъ рѣзко отчотливымъ.

174. Глазъ есть камеръ-обскура съ преломляющими чечевицами и ретина въ ней играетъ роль стеклянной матовой пластинки въ обыкновенной камерѣ. Для совершеннаго видѣнія необходимо, чтобы изображеніе на ретинѣ было очень отчотливо; другими словами, чтобы лучи отъ каждой точки визируемаго предмета сходились въ одну *точку* на ретинѣ.

175. Изображеніе на ретинѣ бываетъ *обратное*.

### **Аккомодация глаза: употребленіе очковъ.**

176. Если на буквы книги находящейся въ нѣкоторомъ



разстояніи отъ глаза смотрѣть черезъ газовый вуаль помѣщенный передъ глазомъ, то оказывается, что когда буквы бываютъ видны отчотливо, тогда вуаль видна неотчотливо; и наоборотъ если вуаль видна отчотливо, то буквы представляются неотчотливо. Это доказываетъ, что изображенія предметовъ находящихся на различныхъ разстояніяхъ отъ глаза не могутъ быть отчотливыми на ретинѣ *въ одно и то же время.*

177. Если бы глазъ былъ неподвижной, неизмѣняющейся массой, подобно стеклянной чечевицѣ не могущей измѣнять форму, то отчотливое видѣніе было бы возможно только на одномъ опредѣленномъ разстояніи. Но мы знаемъ, что глазъ имѣетъ способность аккомодации или приспособленія къ различнымъ разстояніямъ. Эта аккомодация совершается не посредствомъ подвиганія впередъ или назадъ передней части глаза, но посредствомъ измѣненія кривизны хрусталика.

178. Изображеніе свѣчки отраженное отъ передней или задней поверхности хрусталика, если наблюдать его, уменьшается, когда глазъ переходитъ отъ отдаленныхъ предметовъ къ ближайшимъ; это показываетъ, что кривизна хрусталика бываетъ больше при разсматриваніи близкихъ предметовъ, чѣмъ при разсматриваніи отдаленныхъ.

179. Главное преломленіе испытываемое лучами при прохожденіи черезъ глазъ совершается на поверхности роговой оболочки, гдѣ онъ переходитъ изъ воздуха въ болѣе плотную среду. Преломленіе въ одной роговой оболочкѣ заставило бы лучи пересѣчься въ точкѣ находящейся почти на полдюйма за ретиной. Схожденіе лучей увеличивается еще хрусталикомъ, который переноситъ точку пересѣченія передъ самую ретину.

180. Линія проведенная черезъ центръ роговой оболочки и центръ всего глаза къ ретинѣ называется осью глаза. Длина этой оси даже у молодыхъ людей бываетъ иногда слишкомъ мала; другими словами, ретина бываетъ иногда слишкомъ близко къ роговой оболочкѣ; такъ что преломляющая часть органа не въ состояніи бываетъ собрать лучи



отъ свѣтящейся точки такъ, чтобы они попали въ точку на ретинѣ. У старыхъ людей такія преломляющія поверхности глаза слегка уплощаются, способность аккомодациі хрусталика уменьшается и глазъ такимъ образомъ становится не въ состояніи достаточно преломлять лучи. Въ обоихъ случаяхъ изображеніе получается *за* ретиной, вмѣсто того чтобы ему получаться *на* ретинѣ и поэтому видѣніе бываетъ не-отчетливо.

181. Этому недостатку (называемому дальноркостью) помогаютъ тѣмъ, что держатъ предметы на такомъ разстояніи отъ глаза, чтобы уменьшить расхожденіе ихъ лучей или тѣмъ, что помѣщаютъ передъ глазомъ выпуклую чечевицу, которая помогаетъ глазу произвести надлежащее схождение. На этомъ и основано употребленіе очковъ.

182. Глазъ также иногда бываетъ слишкомъ длиненъ въ направленіи оси или же кривизна преломляющихъ поверхностей его можетъ быть слишкомъ велика. Въ томъ и другомъ случаѣ лучи входящіе въ зрачокъ собираются такъ, что пересѣкаются, не доходя до ретины. Этому недостатку (близорукость) можно помочь или тѣмъ, что держатъ предметы очень близко къ глазу, такъ чтобы увеличить расхожденіе ихъ лучей и отодвинуть дальше точку пересѣченія или же тѣмъ, что помѣщаютъ передъ глазомъ вогнутую чечевицу, которая производитъ необходимое расхожденіе.

183. Глазъ не можетъ аккомодироваться одновременно для горизонтальныхъ и вертикальныхъ предметовъ хотя и равно отстоящихъ. Разстояніе яснаго видѣнія больше для горизонтальныхъ линій чѣмъ для вертикальныхъ. Проведите чернилами двѣ линіи подъ прямымъ угломъ одна къ другой, одну вертикальную, другую горизонтальную; если одну изъ нихъ вы видите отчетливою черною и рѣзкою, то другая кажется неясною, какъ будто она проведена болѣе свѣтлыми чернилами. Аккомодируйте глазъ для этой послѣдней линіи и тогда первая покажется менѣе отчетливою. Это различіе въ кривизнѣ глаза по двумъ направленіямъ становится иногда столь сильнымъ, что дѣлаетъ необходимымъ употребленіе



цилиндрическихъ чечевицъ, способныхъ исправить этотъ недостатокъ.

### Слѣпое пятно.

184. То мѣсто, гдѣ оптичeskій нервъ входитъ въ глазъ и откуда онъ развѣтвляется, чтобы образовать сѣтку ретины, нечувствительно къ дѣйствию свѣта. Предметъ, изображеніе котораго падаетъ на это мѣсто, бываетъ невидимъ. Можно сдѣлать такъ, чтобы изображеніе циферблата, человѣческаго лица, луны попадало на это «слѣпое пятно», и тогда эти предметы будутъ невидимы.

185. Чтобы показать эту точку поступаютъ слѣдующимъ образомъ: Положите двѣ бѣлыя облатки на черную бумагу или двѣ черныя облатки на бѣлую бумагу на разстояніи 3 дюймовъ одна отъ другой. Поставьте правый глазъ на высотѣ 10 или 11 дюймовъ какъ разъ надъ лѣвой облаткой, такъ чтобы линія соединяющая оба глаза была параллельна линіи соединяющей обѣ облатки. Когда мы закроемъ лѣвый глазъ и будетъ смотрѣть пристально правымъ на лѣвую облатку, тогда правая облатка перестанетъ быть видимой. Въ этомъ положеніи изображеніе падаетъ на «слѣпое пятно» праваго глаза. Когда же мы поворотимъ глазъ слишкомъ направо или налево или если разстояніе между глазомъ и бумагой увеличится или уменьшится, тогда облатка становится видимой. Сохраняя надлежащія пропорціи относительно размѣровъ и разстояній, можно сдѣлать такъ, чтобы предметы большихъ размѣровъ чѣмъ облатка давали свое изображеніе на слѣпомъ пятнѣ и сдѣлались невидимыми.

### Продолжительность впечатлѣній.

186. Свѣтовое впечатлѣніе произведенное на ретину не прекращается мгновенно. Электрическая искра бываетъ почти мгновенная, но впечатлѣніе произведенное ею на глазъ сохраняется еще нѣкоторое время послѣ того, какъ искра уже



прекратилась. Продолжительность этого сохраненія бываетъ различна у различныхъ лицъ и достигаетъ до значительной части секунды.

187 Если такимъ образомъ искры слѣдуютъ одна за другою чрезъ промежутки меньшія того времени, въ теченіи котораго сохраняются впечатлѣнія, тогда отдѣльныя впечатлѣнія сливаются и образуютъ *непрерывный* свѣтъ. Если свѣтящаяся точка будетъ описывать кругъ въ меньшее время чѣмъ эти промежутки, тогда кругъ будетъ казаться непрерывной замкнутой кривой. По этой же причинѣ ступицы быстро вращающагося колеса сливаются вмѣстѣ, такъ что образуютъ сплошную поверхность. Фотометръ Уитстона основанъ на этой же продолжительности впечатлѣній. Ею также объясняются дѣйствія тѣхъ инструментовъ, въ которыхъ рядъ предметовъ въ разныхъ положеніяхъ и проходящихъ быстро передъ глазомъ производитъ впечатлѣніе *движенія*.

188. Струя воды выходящая изъ отверстія въ днѣ сосуда представляетъ двѣ отдѣльныя части: спокойную прозрачную часть близъ отверстія и мутную или неспокойную часть дальше внизъ. Обѣ части струи кажутся равно непрерывными. Но если струю въ темной комнатѣ освѣтитъ электрической искрой, то вся непрозрачная часть кажется рядомъ отдѣльныхъ капель стоящихъ совершенно спокойно. Впечатлѣніе же непрерывности при обыкновенномъ освѣщеніи получается оттого, что капли быстро слѣдуютъ одна за другою. Быстро летящее пушечное ядро освѣщенное блескомъ молніи показалось бы въ теченіи нѣкоторой части секунды совершенно неподвижнымъ въ воздухѣ.

189. Глазъ далеко не есть совершенный оптический инструментъ. Въ немъ есть недостатокъ состоящій въ сферической аберраціи; разсѣянный свѣтовой блескъ болѣе или менѣе сильный всегда окружаетъ отчетливыя изображенія свѣтящихся предметовъ на ретинѣ. Вслѣдствіе этого блеска изображеніе предмета значительно увеличивается въ размѣрахъ; но при обыкновенномъ освѣщеніи разсѣянный свѣтъ слишкомъ слабъ чтобы быть замѣтнымъ. Однако когда предметы



сильно освѣщены, особенно когда предметы малы, такъ что небольшое увеличеніе ихъ изображеній на ретинѣ становится замѣтнымъ, тогда такіе предметы кажутся большими чѣмъ они въ дѣйствительности. Такимъ образомъ платиновая проволока раскаленная до-красна вольтовымъ токомъ кажется очень увеличенною. Также точно молодой мѣсяцъ кажется составляющимъ часть большаго шара чѣмъ тусклая масса этого спутника, которую онъ обхватываетъ съ одной стороны. Подобнымъ же образомъ на значительныхъ разстояніяхъ параллельные пучки свѣта идущіе отъ нѣсколькихъ отдѣльныхъ лампъ и рефлекторовъ на маякѣ покрываютъ другъ друга и сливаются вмѣстѣ въ одинъ пучокъ. Раскаленные добѣла частички угля въ пламени описываютъ *линіи* свѣта вслѣдствіе ихъ быстрого движенія вверхъ. Эти лініи кажутся глазу *расширенными*; и такимъ образомъ пламя кажется гораздо болѣе *сплошнымъ и непрерывнымъ* чѣмъ оно есть въ дѣйствительности.

189. *а.* Это увеличеніе дѣйствительныхъ размѣровъ оптическаго изображенія называется *иррадіаціей*.

### Тѣла видимыя въ глазѣ.

190. Почти всякій глазъ содержитъ въ себѣ болѣе или менѣе не прозрачныя тѣла распределенныя въ его жидкостяхъ. Сюда относятся такъ называемыя *летающія мушки*; также темныя точки, змѣеобразныя лініи, чотки и кольца, которыя бываютъ видимы во многихъ глазахъ. Если бы площадь зрачка уменьшилась до того, что стала бы точкой, то такія тѣла могли бы составить значительное неудобство; но вслѣдствіе значительной величины зрачка-тѣни, которыя эти маленькія тѣла могли бы отбрасывать на ретину, практически уничтожаются, исключая тѣхъ случаевъ, когда они весьма близки къ задней части глаза \*). Стоитъ только смотрѣть на небо черезъ

---

\*) См. параграфы 18 и 19.



отверстіе сдѣланное булавкой, чтобы дать этимъ тѣнямъ большую отчетливость на ретинѣ.

191. Вены и артеріи самой ретины также отбрасываютъ свои тѣни на ея заднюю поверхность; но затѣняемая часть скоро получаютъ такую чувствительность къ свѣту, что она восполняетъ недостатокъ свѣта падающаго на нихъ. Поэтому при обыкновенныхъ обстоятельствахъ тѣни не видны. Но если эти тѣни упадутъ на менѣе чувствительную часть ретины, то изображенія сосудовъ становятся отчетливо видимыми.

192. Самый лучшій способъ увидѣть эти тѣни состоитъ въ томъ, чтобы въ темной комнатѣ сосредоточить на *блѣкн* глаза посредствомъ карманной лупы съ короткимъ фокусомъ маленькое изображеніе солнца или электрическаго свѣта. Нужно стараться, чтобы лучъ свѣта не попадалъ въ зрачокъ. Если лупу двигать туда и сюда, то тѣни переходятъ по разнымъ частямъ ретины и тогда видны отчетливыя изображенія венъ и артерій проецирующіяся въ темнотѣ передъ глазомъ.

193. Смотря въ темное пространство и двигая въ тоже время свѣчку сюда и туда въ сторонѣ отъ глаза, такъ чтобы лучи входили въ зрачокъ весьма наклонно, можно также получить тѣни ретинныхъ сосудовъ. Въ нѣкоторыхъ глазахъ эти изображенія являются съ необыкновенною быстротою и силою; въ другихъ же трудно получить желаемый эффектъ.

194. Наконецъ тонкія изображенія сосудовъ можно получить, если смотрѣть черезъ отверстіе сдѣланное булавкой на ясное небо и двигать отверстіе сюда и туда.

### Стереоскопъ.

195. Смотрите однимъ глазомъ на край руки, такъ чтобы палецъ ближайшій къ глазу покрывалъ всѣ другіе. Затѣмъ откройте другой глазъ; этотъ глазъ увидитъ и другіе пальцы. Такимъ образомъ *изображенія руки различны въ обоихъ глазахъ*.

196. Эти два изображенія проецируются на двухъ ре-



тинахъ; если бы мы могли какимъ нибудь образомъ соединить два рисунка сдѣланные на плоской поверхности, такъ чтобы они произвели въ двухъ глазахъ два изображенія подобныя двумъ изображеніямъ, какія давала рука въ предыдущемъ опытѣ, то мы получили бы впечатлѣніе рельефности. Это и дѣлается посредствомъ стереоскопа.

197. Первая форма этого инструмента была изобрѣтена серомъ Чарльзомъ Уитстономъ. Онъ дѣлалъ рисунки выпуклыхъ тѣлъ такъ, какъ послѣднія представляются для обоихъ глазъ и смотрѣлъ на изображенія этихъ рисунковъ въ двухъ плоскихъ зеркалахъ. Каждый глазъ смотрѣлъ на предназначенное для него изображеніе, а зеркала были расположены такимъ образомъ, что изображенія ихъ покрывали одно другое и такимъ образомъ казалось, будто они идутъ отъ одного и того же предмета. Вслѣдствіе этого соединенія двухъ плоскихъ проэкцій нарисованнаго предмета онъ кажется рельефнымъ тѣломъ.

198. Смотря на два такіе рисунка и соединяя ихъ, глаза получаютъ точно такія же впечатлѣнія и совершаютъ такіе же процессы, какъ еслибы они смотрѣли на дѣйствительный предметъ. Въ данное время мы видимъ отчетливо только одну точку предмета. Если различныя точки предмета находятся на различныхъ разстояніяхъ отъ глаза, то для того чтобы видѣть отчетливо ближайшія точки требуется большее сведеніе осей глазъ чѣмъ для видѣнія отдаленныхъ точекъ. Съ стереоскопическими рисунками бываетъ тоже самое; потому что кромѣ того, что ретинныя изображенія этихъ рисунковъ уже тождественны съ ретинными изображеніями дѣйствительнаго предмета, наши глаза для того чтобы слить соотвѣтствующія пары точекъ двухъ стереоскопическихъ рисунковъ должны дѣлать точно такія же сведенія осей, какія необходимы для отчетливаго видѣнія различныхъ точекъ дѣйствительнаго предмета. Поэтому вслѣдствіе соединенія такихъ рисунковъ и получается впечатлѣніе рельефности.

199. Измѣрьте разстояніе между *двумя* парами точекъ, которыя послѣ соединенія ихъ стереоскопомъ представляютъ двѣ



*единичныя точки* въ различныхъ разстояніяхъ отъ глаза. Разстояніе между одною парюю точекъ будетъ больше чѣмъ между другою парюю. Такимъ образомъ со стороны глаза необходимы различныя степени сведенія, чтобы соединить двѣ пары точекъ. Нужно замѣтить, что сліяніе производимое стереоскопомъ въ каждый данный моментъ бываетъ только *частное* или *мѣстное*. Если одна пара точекъ будетъ видна единично, то другія пары должны казаться вдвойнѣ. Это бываетъ также и въ томъ случаѣ, когда мы смотримъ двумя глазами на дѣйствительный рельефный предметъ; изъ всѣхъ точекъ его, которыя находятся на различныхъ разстояніяхъ отъ глазъ, бываетъ видима одиночно только одна въ данный моментъ.

200. Впечатлѣніе рельефности можетъ быть произведено очень живо даже и безъ стереоскопа. Болѣе легкій способъ состоитъ въ слѣдующемъ. Сдѣлайте два рисунка—проэкціи, какъ ихъ называютъ, усѣченного конуса; одинъ въ томъ видѣ, какъ конусъ представляется для праваго глаза, а другой — какъ для лѣваго. Держа ихъ на нѣкоторомъ разстояніи отъ глаза, смотрите на лѣвый рисунокъ правымъ глазомъ, а на правый рисунокъ лѣвымъ. Такимъ образомъ линіи зрѣнія обоихъ глазъ пересѣкутся между собою; и послѣ нѣ котораго упражненія съ карандашомъ помѣщеннымъ передъ глазами вы можете заставить двѣ соотвѣтствующія точки рисунковъ совпадать между собою. Въ моментъ совпаденія соединившіеся рисунки выступаютъ какъ единичный рельефный предметъ находящійся на воздухѣ въ мѣстѣ пересѣченія линій зрѣнія. Смотря по характеру рисунковъ, бываетъ видна или внутренняя сторона конуса или внѣшняя и кажется ближе къ глазу или его основаніе или вершина. Для этого опыта рисунки лучше дѣлать въ простыхъ очеркахъ и они могутъ быть сдѣланы гораздо больше чѣмъ обыкновенныя стереоскопическіе рисунки.

Нужно замѣтить, что и здѣсь также различныя пары соотвѣтствующихъ точекъ находятся на различныхъ разстояніяхъ между собою. Напр. двѣ соотвѣтствующія точки у вер-



шины конуса находятся между собою не на такомъ разстояніи какъ двѣ точки у его основанія.

201. Первый инструментъ Уитстона называется отражательнымъ стереоскопомъ; но существуетъ безчисленное множество другихъ способовъ производить такое сліяніе рисунковъ, чтобы получалось стереоскопическое дѣйствіе. Инструментъ наибольше употребительный въ публикѣ есть чечевичный стереоскопъ Сера Давида Брюстера. Въ немъ двѣ проэкціи соединяются посредствомъ получечевицъ обращенныхъ своими краями внутрь. Чечевичный стереоскопъ также и увеличиваетъ <sup>1)</sup>).

202. Въ 198 § было сказано, что для отчетливаго видѣнія близкой точки требуется большее сведеніе линій зрѣнія обоихъ глазъ чѣмъ какое нужно для видѣнія отдаленной точки. Посредствомъ инструмента, въ которомъ употребляются двѣ прямоугольныя призмы <sup>2)</sup>, лучи отъ двухъ точекъ *перекрещиваются* прежде чѣмъ достигнуть глаза и такимъ образомъ сведеніе дѣлается большимъ для отдаленной точки чѣмъ для близкой. Слѣдствіемъ этого бываетъ то, что близкія точки кажутся отдаленными, а отдаленныя близкими. На этомъ принципѣ основанъ *псевдоскопъ* Уитстона. Черезъ этотъ приборъ выпуклыя поверхности кажутся вогнутыми, а вогнутыя выпуклыми. Внутренняя сторона шляпы или чашки кажется внѣшней, между тѣмъ какъ шаръ представляется вогнутою сферическою поверхностью.

### Природа свѣта; физическая теорія отраженія и преломленія.

Теперь время исполнить до нѣкоторой степени обѣщаніе данное въ 1 параграфѣ и нѣсколько ближе рассмотреть то «что-то», которое возбуждаетъ ощущеніе свѣта.

203. Каждое ощущеніе соотвѣтствуетъ движенію возбужденному въ нашихъ нервахъ. Въ чувствѣ осязанія нервы

<sup>1)</sup> Болѣе подробныя и ясныя свѣдѣнія о стереоскопѣ находятся въ *Journal of the Photographical Society*, vol. III. pp. 116 a. 167.

<sup>2)</sup> См. § 150.



возбуждаются прикосновеніемъ осязаемаго тѣла; въ чувствѣ запаха ихъ возбуждаютъ безконечно малыя частички пахучихъ тѣлъ; въ чувствѣ слуха ихъ приводятъ въ движеніе вибраціи воздуха.

### Теорія истеченія.

204. Ньютонъ предполагалъ, что свѣтъ состоитъ изъ небольшихъ частичекъ истекающихъ съ невообразимою быстротою изъ свѣтящихся тѣлъ и столь тонкихъ, что онѣ могутъ проходить черезъ поры прозрачныхъ средъ. Предполагается, что эти частички, проходя черезъ жидкости глаза и ударяя въ зрительный нервъ, возбуждаютъ зрѣніе.

205. Это и есть *теорія истеченія* или *корпускулярная теорія свѣта*.

206. Принимая въ соображеніе громадную скорость свѣта, мы должны думать, что эти частички, если онѣ существуютъ, должны быть невообразимо малы; потому что если бы онѣ имѣли какой нибудь ощутительный вѣсъ, то неизбѣжно разрушили бы такой деликатный органъ какъ глазъ. Кусочекъ обыкновенной матеріи въ 1 гранъ вѣсомъ движущійся со скоростью свѣта обладалъ бы живою силою пушечнаго ядра въ 150 фунтовъ вѣсомъ движущагося со скоростью 1000 футовъ въ секунду.

207. Милліоны этихъ свѣтовыхъ частичекъ, предполагая, что онѣ существуютъ, были направлены на маленькій балансъ повѣшенный на одиночной паутинкѣ. Эта паутина, хотя была закручена 18,000 разъ, не обнаруживала стремленія раскручиваться; значитъ въ ней вовсе не было скручиванія. Ударъ частичекъ въ этотъ балансъ не производитъ ни малѣйшаго дѣйствія \*).

208. Если свѣтъ состоитъ изъ маленькихъ частичекъ, то онѣ должны вытекать съ одинаковою скоростью изъ

---

\*) Беннетъ, Phil. Trans. 1792.



всѣхъ небесныхъ тѣлъ. Но это кажется крайне невѣроятнымъ, если принять въ соображеніе различныя силы тяготѣнія такихъ различныхъ массъ. Вслѣдствіе притяженія такихъ различныхъ массъ частички по всей вѣроятности двигались бы съ различными степенями скорости.

209. Еслибы напр. неподвижная звѣзда съ плотностью солнца имѣла діаметръ въ 250 разъ большій діаметра солнца, то ея притяженіе, предполагая что оно дѣйствуетъ на свѣтъ также какъ на остальную матерію, было бы достаточно, чтобы совершенно остановить свѣтовые частички выходящіе изъ него. Меньшія массы должны были бы производить соотвѣтствующія степени замедленія; и поэтому свѣтъ испускаемый различными тѣлами двигался бы съ различными скоростями. Но это не такъ и свѣтъ движется съ одинаковою скоростью, каковъ бы ни былъ его источникъ; и поэтому *невѣроятно*, чтобы свѣтъ состоялъ изъ частичекъ исходящихъ изъ свѣтящихся тѣлъ.

Но самое рѣшительное и страшное возраженіе противъ теоріи истеченія можетъ быть сформулировано только послѣ того, какъ мы познакомимся съ объясненіемъ, какое она даетъ для явленій отраженія и преломленія.

210. Въ прямомъ отраженіи, согласно теоріи истеченія, свѣтовые частички прежде всего задерживаются въ своемъ ходѣ отталкивающею силою обнаруживаемою отражающимъ тѣломъ и затѣмъ тою же самою силою они отталкиваются въ противоположномъ направленіи.

211. Однако это отталкиваніе дѣйствуетъ *съ выборомъ*. Отражающее вещество избираетъ одну часть изъ группы частичекъ составляющихъ свѣтовой пучокъ и отбрасываетъ ее назадъ; но оно притягиваетъ остальные частички группы и пропускаетъ ихъ сквозь себя.

212. Когда свѣтовая частица приближается къ преломляющей поверхности наклонно и если это будетъ притягиваемая частица, то она падаетъ на поверхность, какъ обыкновенное брошенное тѣло падаетъ на землю. Такимъ образомъ объясняется преломленіе. Кромѣ того подобно брошен-



ному тѣлу скорость свѣтовой частицы должна *увеличиваться* во время ея отклоненія; она входитъ въ эту преломляющую среду съ увеличенною скоростью и разъ она попала въ эту среду, увеличенная скорость ея должна сохраняться, такъ какъ притяженія спереди и сзади частицы должны нейтрализовать другъ друга.

213. Такимъ образомъ неизбежное послѣдствіе теоріи Ньютона приводитъ къ тому, что преломленіе луча и наклоненіе его къ перпендикуляру сопровождается увеличеніемъ скорости, что свѣтъ движется въ водѣ быстрее чѣмъ въ воздухѣ, въ стеклѣ быстрее чѣмъ въ водѣ, въ алмазѣ быстрее чѣмъ въ стеклѣ. Словомъ, чѣмъ выше показатель преломленія, тѣмъ больше скорость свѣта.

214. Такимъ образомъ явилось рѣшительное испытаніе для теоріи истеченія, но она не выдержала этого испытанія. Потому что было доказано самыми строгими опытами, что скорость свѣта *уменьшается* по мѣрѣ того какъ показатель преломленія увеличивается. Однакоже эта теорія не устояла также и противъ другихъ возраженій противъ нея сдѣланныхъ гораздо прежде, чѣмъ произведены были эти опыты.

### Теорія волнообразныхъ движеній.

215. Противъ теоріи истеченія прежде всѣхъ возставали знаменитый астрономъ Гюйгенсъ и не менѣе знаменитый математикъ Эйлеръ, которые оба утверждали, что свѣтъ подобно звуку есть продуктъ *волнообразнаго движенія*. Лапласъ, Малюсъ, Біо и Брюстеръ поддерживали Ньютона и теорія истеченія держалась до тѣхъ поръ, пока не была окончательно низвергнута трудами Томаса Юнга (\*) и Огюстена Френеля.

---

\*) Юнгъ былъ назначенъ профессоромъ естественной исторіи въ Королевскомъ Институтѣ 3 августа 1801. Съ мраморной плиты въ деревенской церкви Фернборо, близъ Бромлея, Кентъ, я списалъ слѣдующую надпись:

«Близъ сего мѣста погребены останки Томаса Юнга, члена и



216. Эти два знаменитые естествоиспытателя, приведши цѣлый рядъ явленій необъяснимыхъ по теоріи истеченія, установили полный параллелизмъ между оптическими явленіями и волнообразнымъ движеніемъ. Подтвержденіе теоріи заключается въ томъ, что она одна можетъ объяснить явленія. На этомъ основаніи утверждается *теорія волнообразныхъ движеній* свѣта и каждый новый опытъ дѣлаетъ еще болѣе прочнымъ ея основаніе. На эту теорію мы дальше обратимъ большое вниманіе.

217. Въ дѣлѣ звука скорость зависитъ отъ отношенія между упругостью и плотностью тѣла, которое проводитъ звукъ. Чѣмъ больше упругость, тѣмъ больше скорость и чѣмъ меньше плотность, тѣмъ больше скорость. Для объясненія громадной скорости распространенія свѣта предполагается, что вещество передающее его обладаетъ необыкновенною упругостью и необыкновенною легкостью или тонкостью. Это вещество называется *свѣтоноснымъ эфиромъ*.

218. Онъ наполняетъ пространство, онъ окружаетъ атомы тѣлъ; онъ наполняетъ безъ нарушенія непрерывности жидкости глаза. Частицы свѣтящихся тѣлъ находятся въ состояніи вибрацій. Вибраціи сообщаются эфиру и проходятъ по немъ волнами. Эти волны, дѣйствуя на ретину, возбуждаютъ ощущеніе свѣта.

219. Въ дѣлѣ звука частицы воздуха качаются сюда и туда по тому направленію, въ которомъ распространяется

---

иностраннаго секретаря Королевскаго общества, члена національнаго института Франціи. Это человекъ равно знаменитый почти во всякой отрасли человѣческаго знанія; открытія его расширили границы естествознанія и онъ первый освѣтилъ тьму цѣлые вѣка покрывавшую египетскіе іероглифы.

«Любимый своими друзьями за свои частныя добродѣтели, уважаемый міромъ за свои несравненные открытія, онъ умеръ въ надеждѣ воскресенія праведныхъ.

«Родился въ Мильвертонѣ въ Сомерсетширѣ, іюня 13, 1773.

«Умеръ въ Паркѣ Скверѣ, Лондонъ, мая 29, 1829.

«На 56 году жизни.»



звукъ; въ дѣлѣ свѣта частицы эѳира качаются туда и сюда *перпендикулярно* къ тому направленію, въ которомъ распространяется свѣтъ. На научномъ языкѣ вибраціи звука называются *продольными*, а вибраціи свѣта *поперечными*. Дѣйствительно механическія свойства эѳира дѣлаютъ его похожимъ скорѣе на твердое тѣло чѣмъ на воздухъ.

220. *Интенсивность* или сила свѣта зависитъ отъ разстоянія, на которое раскачиваются сюда и туда частицы эѳира. Это разстояніе называется *амплитудой* или шириной вибраціи. Сила свѣта пропорціональна *квадрату* амплитуды; она также пропорціональна квадрату наибольшей скорости вибрирующей частицы.

221. Амплитуда вибрацій уменьшается прямо пропорціонально увеличенію разстоянія; слѣдовательно сила, которая выражается квадратомъ амплитуды, должна ослабѣвать обратно пропорціонально квадрату разстоянія. Это на языкѣ волнообразной теоріи называется закономъ обратныхъ квадратовъ.

222. Отраженіе эѳирныхъ волнъ слѣдуетъ закону изложенному относительно свѣта. Уголъ паденія, какъ можно показать, равенъ углу отраженія.

223. Чтобы объяснить преломленіе, возьмемъ для простоты часть круговой волны испускаемой солнцемъ или какимъ нибудь другимъ отдаленнымъ тѣломъ. Небольшая часть этой волны будетъ *прямою*. Предположимъ, что она падаетъ изъ воздуха на стеклянную пластинку и самая волна *параллельна* поверхности стекла. Такая волна пройдетъ черезъ стекло безъ измѣненія направленія.

224. Но такъ какъ скорость въ стеклѣ меньше чѣмъ скорость въ воздухѣ, то волна сдѣлается *медленнѣе*, переходя въ болѣе плотную среду.

225. Но предположимъ, что волна до паденія будетъ *наклонна* къ поверхности стекла; что конецъ волны первый упавшій на стекло первый и будетъ замедленъ, а другія части ея слѣдуютъ за нимъ сзади. Это замедленіе одного конца волны заставитъ ее повернуться; такъ что



когда волна вся войдетъ въ стекло, то ходъ ея будетъ наклоненъ къ ея первоначальному направленію. Она *преломлена*.

226. Если стекло, въ которое входитъ волна, будетъ пластинка съ параллельными поверхностями, то часть волны, которая *первая* достигнетъ верхней поверхности и первая будетъ замедлена, первая также достигнетъ и его нижней поверхности и раньше выйдетъ изъ замедляющей среды. Это заставитъ волну сдѣлать другой поворотъ, вслѣдствіе котораго она возвратится къ своему первоначальному направленію. Такъ просто волнообразная теорія объясняетъ преломленіе.

227. Собираніе или разсѣяніе свѣтовыхъ лучей чечевицами непосредственно выводится изъ того факта, что различныя точки свѣтовой волны достигаютъ чечевицы и замедляются чечевицей одна послѣ другой.

228. Плотность эѳира больше въ жидкостяхъ и твердыхъ тѣлахъ чѣмъ въ газахъ и больше въ газахъ чѣмъ въ пустотѣ. Частицы этихъ тѣлъ кажется обнаруживаютъ сжимающую силу на эѳиръ. Еслибы упругость эѳира увеличивалась въ той же пропорціи какъ его плотность, то одна изъ нихъ нейтрализовала бы другую, и тогда не послѣдовало бы замедленія скорости свѣта. Поэтому уменьшенная скорость въ сильно преломляющихъ тѣлахъ объясняется предположеніемъ, что въ такихъ тѣлахъ упругость *относительно плотности* меньше чѣмъ въ пустотѣ. Изъ этого предположенія немедленно вытекаютъ явленія представляемыя опытомъ.

229. Это совершенно тоже самое, что бываетъ съ звукомъ въ газахъ или парахъ, которые не слѣдуютъ закону Маріотта. Упругость такихъ газовъ или паровъ, когда ихъ сжимаютъ, увеличивается менѣе чѣмъ плотность; вслѣдствіе этого и уменьшается скорость звука въ нихъ.

230. Но мы можемъ опредѣлить точнѣе вліяніе, какое оказываетъ преломляющее тѣло на скорость свѣта. Обратите вниманіе на линіи *o t* и *n r* въ рис. 2, параграфъ 113. Эти двѣ линіи *представляютъ скорости свѣта* въ двухъ средахъ дѣйствую-



щихъ здѣсь; или выражаясь общѣе, синусъ угла паденія представляетъ скорость свѣта въ первой средѣ, между тѣмъ какъ синусъ угла преломленія представляетъ скорость во второй. *Такимъ образомъ показатель преломленія есть не что иное какъ отношеніе между двумя скоростями.* По этому для воды, показатель преломленія которой есть  $\frac{3}{4}$ , скорость свѣта въ воздухѣ относится къ скорости въ ней какъ 4 къ 3. Относительно стекла, для котораго показатель преломленія есть  $\frac{3}{2}$ , скорость свѣта въ воздухѣ относится къ скорости въ водѣ какъ 3 къ 2. Другими словами, скорость свѣта въ воздухѣ въ  $1\frac{1}{3}$  разъ больше скорости въ водѣ и около  $1\frac{1}{2}$  раза больше скорости въ стеклѣ. Скорость свѣта въ воздухѣ около  $2\frac{1}{2}$  разъ больше скорости въ алмазѣ и почти въ 3 раза больше скорости въ хромокисломъ свинцѣ, обладающемъ наибольшею извѣстною доселѣ способностью преломленія. Строго говоря, показатель преломленія относится къ переходу луча свѣта не изъ *воздуха*, но изъ пустоты \*) въ преломляющее тѣло. Раздѣливши скорость свѣта въ пустотѣ на скорость его въ преломляющемъ веществѣ, мы получимъ въ частномъ показатель преломленія вещества.

231. По волнообразной теоріи лучи свѣта перпендикулярны къ волнамъ ээира. *Лучъ* не имѣетъ матеріальнаго существованія, какое имѣетъ *волна*; онъ есть просто направленіе.

### Призмы.

232. Въ § 129 было сказано, что въ стеклянной пластинкѣ съ *параллельными поверхностями* направленіе, какое имѣлъ наклонный лучъ до своего вхожденія въ стекло, снова принимается имъ по выходѣ его изъ стекла. Но этого не бываетъ, если двѣ поверхности, изъ которой въ одну входитъ лучъ, а изъ другой выходитъ, не параллельны.

---

\*) Т. е. такой пустоты, въ которой нѣтъ ничего кромѣ самаго ээира



233. Если лучъ проходитъ черезъ прозрачное вещество имѣющее клинообразную форму въ направленіи перпендикулярномъ къ ребру клина, то онъ такъ и *остается* преломленнымъ, не возвращаясь къ первоначальному направленію. Тѣло такой формы называется въ оптикѣ *призмой* и уголъ образуемый двумя наклонными сторонами клина называется *преломляющимъ угломъ*.

234. Чѣмъ больше преломляющій уголъ, тѣмъ больше отклоненіе луча отъ его первоначальнаго направленія. Но въ одной и той же призмѣ величина преломленія измѣняется съ направленіемъ, по которому лучъ идетъ черезъ призму.

235. Если это направленіе таково, что часть луча внутри призмы образуетъ равные углы съ ея двумя сторонами или, что тоже, съ лучомъ прежде чѣмъ онъ войдетъ въ призму и послѣ того какъ онъ выйдетъ изъ нея, то преломленіе составляетъ *минимумъ*. Это можно доказать и математически и опытомъ; и на этомъ результатѣ основанъ методъ опредѣленія показателя преломленія.

236. Такъ какъ окончательное направленіе преломленнаго луча не измѣняется отъ прохожденія его черезъ стекляныя пластинки съ параллельными поверхностями, то мы можемъ употреблять пустые сосуды сдѣланные изъ такихъ пластинокъ и наполненные жидкостями и получать такимъ образомъ жидкія призмы.

### Призматическій анализъ свѣта: разсѣяніе.

237. Ньютонъ первый разложилъ солнечный свѣтъ, доказавши, что онъ состоитъ изъ безчисленнаго множества лучей различныхъ степеней преломляемости; когда этотъ свѣтъ пропускается черезъ призму, то его составные лучи отдѣляются одинъ отъ другаго. Этотъ актъ отдѣленія называется *разсѣяніемъ*.

238. Волны ээира производимыя свѣтящимися тѣлами не всѣ одинаковой длины; нѣкоторыя изъ нихъ длиннѣе чѣмъ другія. Въ преломляющихъ веществахъ короткія волны



*болѣе замедляются чѣмъ длинныя; поэтому короткія волны болѣе преломляются чѣмъ длинныя. Это и есть причина разсѣянія.*

239. Свѣтовое изображеніе получающееся тогда, когда бѣлый свѣтъ разложенъ такимъ образомъ призмой, называется *спектромъ*. Если при этомъ употребляется солнечный свѣтъ, то изображеніе называется солнечнымъ спектромъ.

240. Солнечный спектръ состоитъ изъ ряда яркихъ цвѣтовъ, которые, если ихъ соединить снова, даютъ первоначальный бѣлый свѣтъ. Начиная съ наименѣе преломленнаго, мы имѣемъ слѣдующій порядокъ цвѣтовъ въ солнечномъ спектрѣ: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синій, фіолетовый.

241. *Цвѣтъ свѣта опредѣляется только длиною его волны.*—Волны эѳира постепенно уменьшаются въ длинѣ отъ краснаго до фіолетоваго. Длина волны краснаго цвѣта составляетъ около  $\frac{1}{39000}$  дюйма; длина же фіолетовой волны около  $\frac{1}{57500}$  дюйма. Волны производящія другіе цвѣта спектра лежатъ между этими крайними величинами.

242. Такъ какъ скорость свѣта составляетъ 192,000 миль или 12,165,120,000 дюймовъ въ секунду, то если мы умножимъ это число на 39,000, то получимъ число волнъ краснаго цвѣта въ 192,000 милляхъ; произведеніе будетъ 474,439, 680,000,000. *Всѣ эти волны входятъ въ глазъ въ теченіи секунды.* Въ теченіи такого же времени входитъ въ глазъ 699,000,000,000,000 волнъ фіолетоваго цвѣта; Въ такомъ-то невообразимомъ числѣ свѣтovyя волны ударяютъ въ ретину!

243. Дѣйствительно цвѣтъ относительно свѣта есть тоже, что *высота тона* относительно звука. Высота тона зависитъ только отъ числа воздушныхъ волнъ ударяющихъ въ ухо въ секунду. Цвѣтъ свѣта зависитъ отъ числа эѳирныхъ волнъ, которыя ударяютъ въ ретину въ секунду. Такимъ образомъ ощущеніе краснаго производится тѣмъ, что зрительный нервъ получаетъ въ секунду четыреста семдесятъ четыре милліона милліоновъ импульсовъ, между тѣмъ какъ ощу-



щеніе фіолетоваго производится тѣмъ, что тотъ же нервъ получаетъ въ секунду шесть сотъ девяносто девять милліоновъ милліоновъ импульсовъ. По теоріи истеченія выходятъ не менѣе громадныя числа, «да и нѣтъ другаго способа объясненія этихъ явленій, который бы не заставлялъ насъ предполагать такихъ дѣйствій механическихъ силъ, которыя могутъ быть названы безконечными \*).»

### Невидимые лучи: калоресценція и флуоресценція.

244. Спектръ простирается въ обѣ стороны дальше его видимыхъ границъ. За видимымъ краснымъ мы имѣемъ лучи, которые обладаютъ высокою тепловою способностью, хотя они не могутъ возбуждать зрѣнія; за фіолетовымъ мы имѣемъ множество лучей, которые хотя и слабы въ тепловомъ отношеніи и совершенно безсильны въ свѣтовомъ, однако имѣютъ большую важность вслѣдствіе ихъ способности производить химическое дѣйствіе.

245. Въ электрическомъ свѣтѣ энергія несвѣтящихся тепловыхъ лучей испускаемыхъ остроконечіями угольковъ около восьми разъ больше энергіи всѣхъ другихъ лучей взятыхъ вмѣстѣ. Темные тепловые лучи солнца также вѣроятно въ нѣсколько разъ превосходятъ по силѣ свѣтовые солнечные лучи. Возможно просѣять солнечный или электрическій лучъ такимъ образомъ, чтобы перехватить свѣтовые лучи и дать свободный проходъ несвѣтовымъ лучамъ.

246. Этимъ способомъ могутъ быть получены совершенно темные фокусы, въ которыхъ горючія тѣла могутъ быть сожжены, легко плавкіе металлы плавятся, а тугоплавкія тѣла нагрѣваются до температуры краснаго каленія. Несвѣтящіеся тепловые лучи могутъ быть такимъ образомъ превращены въ свѣтящіеся, дающіе всѣ цвѣта спектра.

---

\*) Серъ Джонъ Гершель.



Этотъ переходъ при посредствѣ тугоплавкаго тѣла отъ несвѣтоваго къ свѣтовому состоянію называется *калоресценціей*.

247. Тоже самое можно сдѣлать и съ ультрафіолетовыми лучами; если ихъ заставить падать на извѣстные вещества, напр. на сѣрнокислый хининъ, то они дѣлаютъ это вещество свѣтящимся; *невидимые лучи такимъ образомъ становятся видимыми*. Эта перемѣна носитъ названіе *флуоресценціи*.

248. При калоресценціи атомы тугоплавкаго тѣла приводятся въ vibraціи болѣе быстрыя чѣмъ волны падающія въ нихъ; періоды волнъ ускоряются вслѣдствіе паденія ихъ на атомы. Такимъ образомъ преломляемость лучей *увеличивается*. При флуоресценціи напротивъ паденіе волнъ приводитъ частицы флуоресцирующаго тѣла въ vibraціи съ меньшими періодами чѣмъ у падающихъ на нихъ волнъ; преломляемость лучей *уменьшается*. Поэтому увеличивая преломляемость ультракрасныхъ и уменьшая преломляемость ультрафіолетовыхъ лучей, мы дѣлаемъ оба эти рода лучей способными возбуждать зрѣніе.

249. Оба эти рода лучей, какъ ультракрасные такъ и ультрафіолетовые, неспособные возбуждать зрѣніе называются *невидимыми лучами*, хотя это названіе несовсѣмъ справедливо. Строго говоря, мы не можемъ называть лучи ни видимыми ни невидимыми; видимы собственно не сами лучи, но предметы освѣщенные лучами становятся видимыми. *Пространство*, хотя черезъ него проходятъ лучи отъ всѣхъ солнцевъ и отъ всѣхъ звѣздъ, само невидимо. Невидимъ даже самый эфиръ, который наполняетъ пространство и движенія котораго составляютъ свѣтъ міра \*).

### Ученіе о зрительныхъ періодахъ.

250. Струна натянутая такъ, что будетъ издавать тонъ

---

\*) Proceedie of <sup>h</sup>hgysnoRt I'uain otitut sl vol. V. p. 456.



извѣстной высоты, сама собою начинаетъ звучать, если близъ нея раздастся тонъ такой же высоты. Если вы станете пѣть надъ открытымъ фортепіано, то струны находящіяся въ унисонѣ съ вашимъ голосомъ придутъ въ звуковыя vibraціи. Если же струна и голосъ будутъ не въ унисонѣ, то не будетъ никакого резонанса со стороны струны, какъ бы ни былъ силенъ звукъ голоса. Иногда стекло въ церковномъ окнѣ разбивается извѣстнымъ звукомъ органа вслѣдствіе совпаденія періода его vibraцій съ періодомъ vibraцій органнаго звука.

251. Можно представить себѣ, что такимъ путемъ слабый тонъ вслѣдствіе совпаденія періода его vibraцій съ періодомъ vibraцій звучащаго тѣла можетъ произвести эффектъ, котораго не въ состояніи произвести и сильный тонъ вслѣдствіе несовпаденія періодовъ.

252. Эти факты извѣстные намъ относительно звука даютъ намъ возможность представить себѣ отношеніе ретины къ свѣту. Ретина или лучше мозгъ, въ который входятъ ея нити, настроенъ на извѣстный рядъ vibraцій и онъ нечувствителенъ ко всѣмъ vibraціямъ внѣ этого регистра, какъ бы сильны они ни были.

253. Количество волнообразнаго движенія посылаемаго глазу ночью горящею свѣчкою находящеюся на разстояніи мили достаточно, чтобы сдѣлать свѣчку видимою. Если взять сильные ультракрасные лучи солнца или электрическаго свѣта, то несмотря на то, что эфирныя волны ихъ обладаютъ въ нѣсколько милліоновъ разъ большею механическою энергіею чѣмъ волны производимыя свѣтомъ свѣчи, они могутъ падать на ретину, не производя никакого ощущенія. Здѣсь имѣютъ вліяніе не столько ихъ сила, сколько *періоды* волнъ, черезъ которые одна изъ нихъ слѣдуетъ за другою.

254. Если въ музыкѣ два тона составляютъ октаву одинъ относительно другаго, то высшій тонъ вибрируетъ съ вдвое большею быстротою чѣмъ низшій. Въ § 241 длины волнъ краснаго свѣта и фіолетоваго показаны въ  $\frac{1}{39000}$  и въ  $\frac{1}{575000}$  дюйма, но эти числа относятся къ *сред-*



нему красному и среднему фіолетовому. Волны крайняго фіолетоваго составляютъ около половины длины волнъ крайняго краснаго и они ударяють въ ретину съ вдвое большею быстротою, чѣмъ красныя. Такимъ образомъ въ то время какъ *музыкальная скала* или регистръ уха составляетъ около 11 октавъ, *оптическая скала* или регистръ глаза обнимаетъ только одну октаву.

### Ученіе о цвѣтахъ.

255. Тѣла природы обладаютъ способностью погашать или какъ это называется, *поглощать* свѣтъ входящій въ нихъ. Эта способность дѣйствуетъ съ *выборомъ* и отсюда большею частью происходятъ явленія *цвѣта*.

256. Когда свѣтъ входящій въ тѣло поглощается *вполнѣ*, то оно кажется чернымъ; тѣло, которое поглощаетъ всѣ волны одинаково но не *вполнѣ*, кажется сѣрымъ; между тѣмъ какъ тѣло, которое неодинаково поглощаетъ различныя волны, кажется *цвѣтнымъ*. Цвѣтъ происходитъ отъ погашенія внутри тѣла извѣстныхъ составныхъ частей бѣлаго свѣта, при чемъ остальные составныя части возвращающіяся къ глазу сообщаютъ тѣлу его цвѣтъ.

257. Нужно всегда помнить, что тѣла всѣхъ цвѣтовъ освѣщенныя бѣлымъ свѣтомъ отражаютъ бѣлый свѣтъ *отъ ихъ наружныхъ поверхностей*. Но тѣлу вообще даетъ его цвѣтъ тотъ свѣтъ, который проникъ въ тѣло до извѣстной глубины, который *простъвается* здѣсь избирательнымъ поглощеніемъ и затѣмъ выходитъ изъ тѣла вслѣдствіе внутренняго отраженія.

258. Чистое красное стекло поставленное на пути луча разложеннаго призмой прежде или послѣ акта разложенія останавливаетъ всѣ цвѣта спектра исключая краснаго. Стекло всякаго другаго чистаго цвѣта расположенное такимъ же образомъ останавливаетъ весь спектръ, исключая той части его, которая сообщаетъ стеклу его цвѣтъ. Впрочемъ чрезвычайно трудно, если не невозможно, получить чистую



краску какого бы то ни было рода. Такимъ образомъ жолтое стекло не только пропускаетъ сквозь себя жолтый цвѣтъ спектра, но также и часть прилежащихъ зеленаго и оранжеваго, а голубое стекло пропускаетъ не только голубой, но также и часть прилежащихъ зеленаго и синяго.

259. Поэтому если лучъ бѣлаго свѣта заставить проходить одновременно черезъ жолтое и голубое стекло, то они пропускаютъ только одинъ общій имъ цвѣтъ зеленый; это и объясняетъ, почему голубые и жолтые порошки смѣшанные вмѣстѣ производятъ зеленый цвѣтъ. Бѣлый свѣтъ проникаетъ въ порошокъ до извѣстной глубины и посредствомъ внутренняго отраженія возвращается назадъ, *за исключеніемъ* своего жолтаго и голубаго. Отражается только одинъ зеленый.

260. Но эффектъ будетъ совершенно другой, если вмѣсто того чтобы смѣшивать голубую и жолтую краски, мы соединимъ голубой и жолтый *свѣтъ*. Отъ этого соединенія получится чистый *бѣлый*. Голубой и жолтый составляютъ дополнительные цвѣта.

261. Всякіе два цвѣта, соединеніе которыхъ производитъ бѣлый, называются *дополнительными цвѣтами*. Въ спектрѣ мы имѣемъ слѣдующія пары такихъ цвѣтовъ:

Красный и зеленовато голубой;

Оранжевый и темно голубой;

Жолтый и синевато голубой;

Зеленовато жолтый и фіолетовый.

262. Тѣло помѣщенное въ свѣтъ, который оно неспособно пропускать, кажется чернымъ, какъ бы ни было сильно освѣщеніе. Такимъ образомъ кусокъ краснаго сургуча помѣщенный въ яркій зеленый цвѣтъ спектра кажется совершенно чернымъ. Яркій красный растворъ помѣщенный туда же не можетъ быть отличонъ отъ черныхъ чернилъ; красная матерія, если навести на нее спектръ, имѣетъ особенно яркій цвѣтъ въ томъ мѣстѣ, гдѣ на нее падаетъ красный свѣтъ, но за этимъ мѣстомъ она кажется черною.

263. Мы до сихъ поръ имѣли дѣло съ *анализомъ* бѣлаго свѣта. Соединяя составные цвѣта, такъ чтобы полу-



чился первоначальный свѣтъ, мы подтверждаемъ составъ свѣта *синтезомъ*.

264. Положимъ, разложенный пучекъ составляетъ прямоугольную полоску свѣта. Посредствомъ цилиндрической чечевицы мы можемъ снова соединить цвѣта и отъ ихъ смѣшенія произойдетъ первоначальный бѣлый свѣтъ. Также точно возможно посредствомъ соединенія цвѣтовъ какого угодно спектра произвести совершенное изображеніе источника его свѣта. Продолжительность впечатлѣній на ретинѣ также представляетъ дѣйствительное средство для соединенія цвѣтовъ.

### **Хроматическая аберація. Ахроматизмъ.**

265. Вслѣдствіе различной преломляемости различныхъ лучей спектра невозможно одной сферической чечевицей собрать всѣ лучи въ фокусъ въ одну точку. Напр. голубые лучи, будучи болѣе преломляемы чѣмъ красные, пересѣкутся скорѣе чѣмъ красные.

266. Поэтому, если расходящійся конусъ бѣлаго свѣта сдѣлать сходящимся посредствомъ чечевицы, то сходящійся пучокъ въ точкѣ пересѣченія лучей будетъ окруженъ оболочкой краснаго цвѣта; между тѣмъ какъ за фокусомъ расходящійся конусъ будетъ окруженъ оболочкой голубаго свѣта. Поэтому когда преломленные лучи падаютъ на экранъ помѣщенный между чечевицей и фокусомъ голубыхъ лучей, то получится бѣлый кругъ съ краснымъ бордюромъ; между тѣмъ какъ если экранъ будетъ помѣщенъ за фокусомъ красныхъ лучей, то получится бѣлый кругъ съ голубымъ бордюромъ. При этихъ положеніяхъ экрана невозможно получить безцвѣтное изображеніе.

267. Эта неспособность чечевицы собрать въ одинъ фокусъ различно окрашенные составныя части луча называется *хроматической абераціей* чечевицы.

268. Ньютонъ считалъ невозможнымъ устранить хроматическую аберацію; такъ какъ онъ предполагалъ, что разсѣяніе призмы или чечевицы пропорціонально ея преломленію, и что если вы нарушаете одну, то нарушаете и другую. Однако это была ошибка.



269. Потому что двѣ призмы производящія одинаковое количество преломленія могутъ производить весьма различныя степени разсѣянiя. Уменьшая уголъ болѣе разсѣвающей призмы, мы можемъ сдѣлать ея разсѣянiе почти равнымъ разсѣянiю слабо разсѣвающей призмы; и мы можемъ нейтрализовать цвѣта двухъ призмъ, помѣстивши ихъ противоположно одна къ другой, не нейтрализуя этимъ преломленiя.

270. Если напр. призму изъ воды мы поставимъ обратно призмѣ изъ флинтгласа, то послѣ того, какъ разсѣянiе воды, которое слабо, уничтожено, лучъ все таки преломляется. Если призму изъ воды замѣнить призмою изъ кроунгласа, то получится въ сущности такой же эффектъ. Флинтгласъ можетъ нейтрализовать разсѣянiе кроунгласа, *прежде чѣмъ* нейтрализуетъ преломленiе.

271. Что сказано здѣсь о призмахъ, примѣняется, одинаково и къ чечевицамъ. Выпуклая чечевица изъ кроунгласа поставленная обратно вогнутой чечевицѣ изъ флинтгласа можетъ уничтожить ея разсѣянiе и однако же изображенiя получаются и при комбинаціи чечевицъ, вслѣдствiе *остающагося* преломленiя.

272. Комбинація чечевицъ, вслѣдствiе которой цвѣтъ уничтожается, между тѣмъ какъ извѣстное количество преломленiя сохраняется, называется ахроматической комбинаціей или короче *ахроматической чечевицей*.

273. Человѣчeskій глазъ не ахроматиченъ. Онъ имѣетъ недостатки состоящiе въ хроматической и сферической аберраціяхъ.

### Субъективные цвѣта.

274. Отъ дѣйствiя свѣта оптичeskій нервъ становится менѣе чувствительнымъ. Когда мы съ яркаго дневнаго свѣта войдемъ въ умѣренно освѣщенную комнату, то она кажется намъ темною.

275. Тоже самое бываетъ и относительно отдѣльныхъ



цвѣтовъ; если свѣтъ какого нибудь отдѣльнаго цвѣта падаетъ на глазъ, то оптичeskій нервъ становится менѣе чувствительнымъ къ этому цвѣту. Онъ нѣсколько ослѣпляется для его воспріятія.

276. Если глаза пристально смотрятъ на красную облатку, помѣщенную на бѣлой бумагѣ, то черезъ нѣсколько времени облатка будетъ окружена зеленоватымъ бордюромъ и если облатку сбросить, то мѣсто, на которомъ она лежала, кажется зеленымъ.

277. Это объясняется такимъ образомъ: отъ смотрѣнія на облатку чувствительность глаза къ красному цвѣту ослабѣваетъ; поэтому, когда облатка удалена, то въ бѣломъ свѣтѣ падающемъ на то мѣсто, гдѣ было изображеніе облатки, не будетъ доставать его красной составной части, т. е. она не будетъ дѣйствовать на ретину, и поэтому оно покажется дополнительнаго цвѣта къ красному. Первый же зеленый бордюръ происходитъ вслѣдствіе расширенія краснаго цвѣта облатки нѣсколько дальше ея геометрическаго изображенія на ретинѣ вслѣдствіе сферической аберраціи глаза.

278. Цвѣтныя тѣни также сводятся къ этой причинѣ. Заставьте напр. сильный красный свѣтъ падать на бѣлый экранъ. Тѣло, помѣщенное между свѣтомъ и экраномъ, будетъ отбрасывать тѣнь и если эту тѣнь умѣреннно освѣтитъ вторымъ бѣлымъ свѣтомъ, то она покажется зеленою. Если первоначальный свѣтъ былъ голубой, то тѣнь покажется желтою; если первоначальный свѣтъ былъ зеленый, то она покажется красною. Причина этого та, что глазъ въ первомъ примѣрѣ отчасти ослѣпленъ для воспріятія свѣта отбрасываемаго на экранъ; поэтому бѣлый свѣтъ достигающій до глаза отъ тѣни будетъ отчасти лишенъ этого цвѣта и будетъ казаться дополнительнаго цвѣта.

279. Цвѣта этого рода называются *субъективными цвѣтами*; они зависятъ отъ состоянія глаза и не выражаютъ внѣшнихъ фактовъ цвѣта.



## Спектральный анализъ.

280. Металлы и ихъ соединенія сообщаютъ пламени особенные цвѣта характеристическіе для металловъ. Такимъ образомъ почти несвѣтящее пламя Бунзеновой горѣлки становится блестяще желтымъ отъ металла натрія или отъ какого нибудь летучаго соединенія этого металла, наприм. отъ хлористаго натрія или обыкновенной поваренной соли. Отъ мѣди пламя становится зеленымъ, отъ цинка пурпуровымъ, отъ стронціана краснымъ.

281. Эти цвѣта происходятъ отъ *паровъ* металловъ образующихся въ пламени.

282. Если такіе раскаленные пары изслѣдовать посредствомъ призмы, то оказывается, что вмѣсто того чтобы испускать лучи образующіе *непрерывный* спектръ, въ которомъ одинъ цвѣтъ постепенно переходитъ въ другой, они испускаютъ отдѣльныя группы лучей опредѣленной но различной преломляемости. Спектръ соотвѣтствующій этимъ лучамъ есть рядъ цвѣтныхъ полосъ отдѣленныхъ одна отъ другой темными промежутками. Такія же полосы характеризуютъ и свѣтящіеся газы всѣхъ родовъ.

283. Такимъ образомъ спектръ раскаленного пара натрія состоитъ изъ блестящей полосы на границѣ между оранжевымъ и желтымъ; и паръ этотъ неспособенъ испускать никакого другаго спектральнаго свѣта. Если эту полосу анализировать точнѣе, то она разрѣшается на двѣ отдѣльныя полосы; еще большая точность анализа показываетъ въ ней *группу* полосъ, которыя отдѣлены темными промежутками. Спектръ паровъ мѣди характеризуется рядомъ зеленыхъ полосъ, между тѣмъ какъ раскаленный паръ цинка даетъ блестящія голубыя и красныя полосы.

284. Свѣтъ полосъ производимыхъ металлическими парами бываетъ весьма напряженный, такъ какъ весь свѣтъ сосредоточивается въ нѣсколько узкихъ полосъ и въ значительной степени избѣгаетъ ослабленія происходящаго отъ разсѣянiя.

285. Эти цвѣтныя полосы въ высшей степени характери-



стичны для паровъ; по ихъ положенію и числу можно безошибочно узнать производшее ихъ вещество.

286. Если два или нѣсколько металловъ ввести въ пламя въ одно и тоже время, то призматическій анализъ открываетъ полосы каждаго металла, какъ будто бы другихъ и не было здѣсь. Это также бываетъ и тогда, когда въ пламя введенъ минералъ содержащій нѣсколько металловъ. Изъ металловъ входящихъ въ составъ минерала каждый даетъ свои характеристическія полосы.

287. Поэтому если намъ извѣстны полосы производимыя всѣми извѣстными металлами и мы увидимъ въ пламени совершенно новыя полосы, то это будетъ доказывать, что въ пламени содержится совершенно новый металлъ. Этимъ способомъ Бунзенъ и Кирхгофъ, основатели спектральнаго анализа, открыли рубидій и цезій; таіи съ своей превосходной зеленой полосой былъ открытъ Круксомъ также.

288. *Постоянные газы* нагрѣтые до достаточной температуры, до которой можетъ довести ихъ электрическій разрядъ, также обнаруживаютъ въ своихъ спектрахъ характеристическія полосы. По этимъ полосамъ ихъ можно узнать даже на звѣздныхъ разстояніяхъ.

289. Дѣйствіе свѣта на глазъ отличается необыкновенною тонкостью. Это дѣйствіе имѣетъ мѣсто преимущественно въ *спектральномъ анализѣ*; отсюда и сила этого метода анализа. \*)

### Дальнѣйшее опредѣленіе лучеиспусканія и поглощенія.

290. Термины лучъ, лучеиспусканіе и поглощеніе употреб-

---

\*) Нѣкоторые люди неспособны отличать одинъ цвѣтъ спектра отъ другаго; напр. красный и зеленый часто смѣшиваются. Дальтонъ, знаменитый основатель атомистической теоріи, могъ только по формѣ отличать красныя зрѣлыя вишни отъ зеленыхъ листьевъ. На этотъ предметъ обращается теперь большое вниманіе при выборѣ машини-



лялись гораздо прежде чѣмъ утвердились господствующіе нынѣ взгляды на сущность свѣта. Поэтому необходимо яснѣе понять смыслъ придаваемый волнообразною теоріей этимъ терминамъ.

291. И для пополненія нашихъ понятій намъ необходимо знать, что всѣ тѣла какъ свѣтящіяся такъ и несвѣтящіяся *лучеиспускающи*; если они не лучеиспускаютъ свѣта, то лучеиспускаютъ теплоту.

292. Такимъ образомъ необходимо знать, что свѣтовые лучи суть также и тепловые лучи, что тѣже самыя волны, которыя падая на термометръ, производятъ тепловыя дѣйствія, падая на ретину, производятъ ощущеніе свѣта. Однако лучи наибольшей теплоты, какъ уже было объяснено, лежатъ совершенно за предѣлами видимаго спектра.

293. Лучеиспусканіе какъ свѣта такъ и теплоты состоитъ въ *сообщеніи* движенія отъ вибрирующихъ атомовъ тѣла ээиру окружающему ихъ. Поглощеніе теплоты есть *принятіе* движенія атомами тѣла отъ ээира, который уже былъ возбужденъ источникомъ свѣта или теплоты. Такимъ образомъ въ лучеиспусканіи движеніе сообщается ээиру, а въ поглощеніи движеніе принимается отъ ээира.

294. Когда лучъ свѣта или теплоты проходитъ черезъ тѣло безъ потери, другими словами, когда волны передаются черезъ ээиръ окружающій атомы тѣла безъ замѣтнаго сообщенія движенія самымъ атомамъ, тогда тѣло *прозрачно*. Если же движеніе въ какой нибудь степени сообщается отъ ээира атомамъ, то въ этой степени тѣло *непрозрачно*.

295. Если свѣтъ или лучистая теплота поглощаются, то тѣло *нагрѣвается*; если же не происходитъ поглощенія, то свѣтъ или лучистая теплота, какова бы ни была ихъ напряженность, проходятъ черезъ тѣло, не измѣняя его температуры.

---

стовъ на желѣзной дорогѣ, которымъ нужно отличать одинъ окрашенный сигналъ отъ другаго. Указанный недостатокъ называется *цветною слѣпотою*, а иногда *дальтонизмомъ*.



296. Такимъ образомъ въ темныхъ фокусахъ упомянутыхъ въ § 246 или въ фокусъ самага сильнаго зажигательнаго зеркала сосредоточивающаго лучи солнца *воздухъ* можетъ имѣть температуру  $0^{\circ}$ , потому что поглощеніе теплоты воздухомъ нечувствительно. Плитка чистой каменной соли помѣщенная въ фокусъ едва нагрѣвается замѣтно, такъ какъ поглощеніе мало; между тѣмъ какъ стеклянная пластинка растрескивается, пластинка почерненной платины раскаляется добѣла или даже плавится вслѣдствіе ихъ способности поглощенія.

297. Здѣсь слѣдуетъ замѣтить, что вычисленія температуры кометъ основанныя на ихъ разстояніи отъ солнца могутъ быть совершенно ложны, какъ вѣроятно и были. Комета даже на самомъ близкомъ разстояніи отъ солнца можетъ быть очень холодна. Она можетъ сохранять въ себѣ во время своего перигелія холодъ самыхъ далекихъ пространствъ. Если она прозрачна для солнечныхъ лучей, то на нее не дѣйствуетъ солнечная теплота, все время пока эта теплота удерживаетъ *лучистую форму*.

### Чистый спектръ; фраунгоферовы линіи.

298. Если разложить лучъ бѣлаго свѣта выходящій изъ щели, то спектръ состоитъ изъ ряда цвѣтныхъ изображеній щели лежащихъ одно подлѣ другаго. Если щель будетъ широка, то эти изображенія *покрываютъ* одно другое; но въ *чистомъ* спектрѣ цвѣта не должны покрываться.

299. Чистый спектръ получается тогда, если щель, черезъ которую проходитъ разложенный лучъ, весьма узка и если заставить лучъ проходить послѣдовательно черезъ нѣсколько призмъ, отчего разсѣяніе увеличивается.

300. Если подобнымъ образомъ разложить лучъ солнца, то оказывается, что солнечный спектръ не совершенно непрерывенъ; поперегъ его видны многочисленныя темныя линіи соотвѣтствующія лучамъ, которыхъ не достаетъ въ спектрѣ. Волластонъ первый замѣтилъ нѣкоторыя изъ этихъ линій. Но затѣмъ онѣ были впослѣдствіи тщательно изучены



Фраунгоферомъ, который обозначилъ ихъ буквами и сдѣлалъ таблицу ихъ; по его имени онѣ и названы *фраунгоферовыми линиями*.

### Взаимность между лучеиспусканіемъ и преломленіемъ.

301. Объясненіе отсутствія лучей соотвѣтствующихъ фраунгоферовымъ линиямъ долгое время было загадкой для естествоиспытателей. Геній Кирхгофа разрѣшилъ эту загадку. Ея рѣшеніе принесло съ собою новую теорію состава солнца и показало методъ, который даетъ намъ возможность опредѣлять химическій составъ солнца, звѣздъ и туманностей. Примѣненія принциповъ Кирхгофа сдѣланныя Гуггинсомъ, Миллеромъ, Секки, Янсенемъ и Локкіеромъ были особенно интересны и важны.

302. Объясненіе данное Кирхгофомъ фраунгоферовымъ линиямъ основано на томъ принципѣ, что каждое тѣло спеціально непрозрачно для такихъ лучей, какія оно само можетъ испускать, если будетъ доведено до раскаленнаго состоянія.

303. Такимъ образомъ лучеиспусканіе отъ пламени окиси углерода, которое содержитъ въ себѣ угольную кислоту имѣющую высокую температуру, поразительнымъ образомъ останавливается угольною кислотою. Если лучи отъ пламени натрія пропуститъ черезъ другое пламя натрія, то оно съ особенною энергіею останавливается вторымъ пламенемъ. Лучи отъ раскаленныхъ паровъ таллія задерживаются парами таллія, лучи отъ паровъ литія—парами литія и т. д. отъ другихъ металловъ.

304. Выражаясь языкомъ волнообразной теоріи, волны ээира поглощаются съ особенной энергіей — ихъ движеніе принимается съ особенной легкостью—тѣми атомами, періоды вибрацій которыхъ синхроничны съ періодами волиъ. Это и есть другой способъ выраженія того факта, что тѣло погло-



щаетъ съ особенной энергіей лучи, которые оно само можетъ испускать.

305. Если лучъ бѣлаго свѣта пропустить черезъ сильное жолтое пламя паровъ натрія, то жолтыя составныя части луча задерживаются пламенемъ, между тѣмъ какъ лучи другихъ преломляемостей проходятъ свободно.

306. Поэтому если спектръ электрическаго свѣта отбросить на экранъ, то пламя натрія помѣщенное на пути лучей остановитъ жолтыя составныя части свѣта и спектръ будетъ проборожденъ темною полосой на мѣстѣ жолтаго цвѣта.

307. Подобнымъ же образомъ если помѣстить на пути луча другія пламени и если количество металлическихъ паровъ въ пламени будетъ достаточно, то каждое пламя дастъ свои полосы. И если пламя, черезъ которое проходилъ свѣтъ, содержитъ въ себѣ пары многихъ металловъ, то мы будемъ имѣть на экранѣ характеристическія полосы всѣхъ ихъ.

308. Если нашъ электрическій свѣтъ увеличится до того, что приметъ форму шара равнаго по объему солнцу и если вокругъ этого раскаленнаго шара будетъ атмосфера пламени, то эта атмосфера пламени поглотитъ тѣ изъ лучей шара, которыя она сама можетъ испускать и это поглощеніе лучей обнаружится въ спектрѣ темными линіями.

309. Мы такимъ образомъ пришли къ полному объясненію фраунгоферовыхъ линій и къ новой теоріи о строеніи солнца. Оно состоитъ изъ твердаго или расплавленнаго ядра въ состояніи сильнаго раскаленія; но окружено газообразной фотосферой содержащей въ себѣ пары, которые поглощаютъ тѣ изъ лучей ядра, какіе они сами испускаютъ. Отъ этого и происходятъ фраунгоферовы линіи.

310. Фраунгоферовы линіи суть узкія полосы *мѣстной* темноты; они въ дѣйствительности освѣщены свѣтомъ газообразной оболочки солнца. Но этотъ свѣтъ такъ слабъ въ сравненіи съ свѣтомъ ядра задерживаемымъ оболочкой, что полосы кажутся темными въ сравненіи съ прилегающими къ нимъ ярко блестящими мѣстами.

311. Если бы центральнаго ядра не было, то полосы



фраунгоферовы на совершенно темномъ фонѣ превратились бы въ ряды блестящихъ полосъ. Онѣ были бы сходны съ спектрами получающимися отъ пламени содержащаго въ себѣ много металлическихъ паровъ. Они составляли бы спектръ солнечной атмосферы.

312. Нѣтъ необходимости, чтобы фотосфера состояла изъ чистыхъ паровъ. Безъ сомнѣнія она содержитъ въ себѣ большія массы раскаленной туманообразной матеріи состоящей изъ расплавленныхъ и раскаленныхъ до-бѣла частичекъ. Эти сильно блестящія раскаленные до-бѣла облака составляютъ главный источникъ свѣта получаемого землею отъ солнца и къ нимъ примѣшаны болѣе или менѣе настоящіе пары фотосферы. Но пары производящія фраунгоферовы линіи должны находиться на внѣшней сторонѣ облаковъ, какъ предполагалъ Кирхгофъ.

### Солнечная химія.

313. По темнымъ полосамъ спектра мы можемъ опредѣлить, какія вещества входятъ въ составъ солнечной атмосферы.

314. Одинъ примѣръ объяснить возможность этого. Заставьте свѣтъ отъ солнца и отъ раскаленного пара натрія проходить одинъ подлѣ другаго черезъ одну и ту же щель и пусть ихъ разложитъ одна и та же призма. Солнечный свѣтъ произведетъ свой спектръ, а натрій дастъ свою желтую полосу. Эта желтая полоса совершенно совпадетъ по своему положенію съ характеристическою темною полосою солнечнаго спектра, которую Фраунгоферъ обозначилъ буквою D.

315. Если бы не было солнечнаго ядра и только одна парообразная фотосфера испускала свѣтъ, то темная линія D была бы свѣтлою. Ея характеръ и положеніе доказываютъ, что она есть свѣтъ испускаемый натріемъ. Такимъ образомъ этотъ металлъ содержится въ атмосферѣ солнца. \*)

\*) Въ 283 параграфѣ было сказано, что линія натрія при болѣе тонкомъ анализѣ разлагается на группу линій. Фраунгоферова темная



316. Результатъ бываетъ еще убѣдительнѣе, если взять металлъ имѣющій въ спектрѣ своемъ цѣлые ряды блестящихъ полосъ и если окажется, что каждая изъ полосъ вполне совпадаетъ съ какою нибудь темною полосою солнечнаго спектра. Посредствомъ этого метода Кирхгофъ, которому мы обязаны этимъ блестящимъ обогащеніемъ во всей его полнотѣ, доказалъ присутствіе въ солнечной атмосферѣ желѣза, кальція, магнія, натрія, хрома и другихъ металловъ; а Гуггинсъ распространилъ примѣненіе этого метода къ свѣту планетъ, неподвижныхъ звѣздъ и туманностей \*).

### Планетная химія.

317. Свѣтъ отраженный отъ луны и планетъ есть солнечный свѣтъ; и если бы на этотъ свѣтъ не дѣйствовала атмосфера планеты, то спектръ планеты имѣлъ бы тѣже линіи какъ и солнечный спектръ.

318. Свѣтъ луны не показываетъ никакихъ другихъ линій. Это указываетъ на отсутствіе атмосферы вокругъ луны.

319. Линіи въ спектрѣ Юпитера указываютъ на сильное поглощеніе производимое атмосферою этой планеты. Атмосфера Юпитера содержитъ нѣкоторые изъ газовъ или паровъ существующихъ въ земной атмосферѣ. Слабыя линіи, изъ которыхъ нѣкоторыя тождественны съ линіями Юпитера, встрѣчаются въ спектрѣ Сатурна.

320. Линій характеризующихъ атмосферы Юпитера и Сатурна нѣтъ въ спектрѣ Марса. Голубая часть спектра есть наиболѣе поглощаемая; отъ этого преобладаютъ красные лучи,—что и можетъ быть причиной краснаго цвѣта Марса.

321. Всѣ сильныя линіи солнечнаго спектра находятся

---

полоса D разлагается такимъ же образомъ. Здѣсь нужно замѣтить, что и Тальботъ и серъ Джонъ Гершель ясно предвидѣли возможность употреблять спектральный анализъ для открытія малѣйшихъ слѣдовъ тѣлъ.

\*) Профессоръ Стоксъ предвидѣлъ возможность примѣненія спектральнаго анализа къ солнечной химіи.



въ спектрѣ Венеры, но добавочныхъ линій отъ самой планеты нѣтъ.

### Звѣздная химія.

322. Атмосфера звѣзды Альдебаранъ содержитъ водородъ, натрій, магній, кальцій, желѣзо, висмутъ, теллуръ, сурьму, ртуть. Атмосфера звѣзды Альфа въ Оріонѣ содержитъ въ себѣ натрій, магній, кальцій, желѣзо и висмутъ.

323. Ни одна звѣзда достаточно ясная для того, чтобы дать спектръ, не оказывалась безъ линій. Звѣзды различаются между собою только группировкою и распредѣленіемъ многочисленныхъ тонкихъ линій, которыми исчерчены ихъ спектры.

224. Линіи поглощенія наиболѣе сильны въ спектрахъ желтыхъ и красныхъ звѣздъ. Въ бѣлыхъ звѣздахъ линіи, хотя столь же многочисленны, но весьма блѣдны и слабы.

325. Сравненіе спектровъ звѣздъ различныхъ цвѣтовъ наводитъ на мысль, что цвѣта звѣздъ могутъ происходить отъ дѣйствія ихъ атмосферъ. Тѣ составныя части бѣлаго свѣта звѣзды, на которыхъ приходится наибольшее линій поглощенія, ступовываются и звѣзда кажется окрашенною остальнымъ цвѣтомъ.

Патеръ Секки въ Римѣ изслѣдовалъ свѣтъ нѣсколькихъ сотенъ звѣздъ и раздѣлилъ ихъ на четыре класса.

### Химія туманностей.

326. Нѣкоторыя туманности даютъ спектры, состоящіе изъ свѣтлыхъ полосъ, другія же даютъ непрерывные спектры. Свѣтъ первыхъ исходитъ изъ чрезвычайно нагрѣтой матеріи, существующей въ *газообразномъ состояніи*. Это отчасти можетъ объяснить слабость свѣта этихъ туманностей.

327. Вѣроятно, что двѣ составныя части газообразныхъ туманностей суть водородъ и азотъ.



## Красные выступы и оболочка солнца.

328. Астрономы наблюдали во время полныхъ солнечныхъ затмѣній обширные красные выступы простирающіеся отъ солнечнаго диска на нѣсколько тысячъ миль въ пространство. Слишкомъ сильное освѣщеніе около солнечнаго пространства нашей атмосферы маскируетъ при обыкновенныхъ обстоятельствахъ красные выступы. Они погашаются излишкомъ свѣта.

329. Но когда темное тѣло луны заслонитъ этотъ свѣтъ, то выступы становятся явственно видимыми.

330. Было доказано Де ла Рю и другими, что красная матерія выступовъ окружаетъ значительную часть солнечной поверхности. По наблюденіямъ же Локіера красная матерія образуетъ *полную оболочку* вокругъ солнца.

331. Изслѣдуемая спектроскопомъ матерія выступовъ кажется большею частью раскаленнымъ водородомъ. Къ нему примѣшаны пары натрія и магнія.

332. Янсенъ въ Индіи, а Локіеръ послѣ него, но независимо отъ него въ Англіи, доказали, что свѣтлыя полосы выступовъ могутъ быть видимы и безъ помощи полного затмѣнія. Мы уже намекнули на объясненіе этого явленія въ параграфѣ 284, гдѣ сильный блескъ полосъ раскаленныхъ газовъ былъ объясненъ практическимъ отсутствіемъ разсѣянія.

333. Заставляя свѣтъ, который при обыкновенныхъ обстоятельствахъ маскируетъ полосы водорода, проходить черезъ достаточное число призмъ, мы можемъ разсѣять его и слѣдовательно ослабить до какой угодно степени. Когда онъ достаточно ослабленъ, то не подвергшійся разсѣянію свѣтъ раскаленного водорода преобладаетъ надъ свѣтомъ непрерывнаго спектра. Изслѣдовавши всю периферію солнца, Локіеръ вездѣ нашолъ эту водородную атмосферу, и ея глубина, вообще около 5,000 миль, опредѣлялась длиною ея характеристическихъ свѣтлыхъ линій. Гдѣ водородный океанъ не глубокъ, тамъ свѣтлыя полосы коротки; гдѣ же выступы под-



нимаются высоко, подобно огромнымъ волнамъ выше уровня океана, тамъ свѣтлыя полосы длинны. Иногда выступы достигаютъ въ высоту до 70,000 миль.

### Радуга.

334. Лучъ солнечнаго свѣта, падая наклонно на поверхность капли дождя, преломляется при входѣ въ каплю; онъ частью отражается отъ задней стороны капли и при выходѣ изъ капли снова преломляется.

335. Вслѣдствіе этихъ двухъ преломленій при входѣ и выходѣ лучъ свѣта разлагается на свои цвѣтныя составныя части. Онъ воспринимается глазомъ наблюдателя, который стоитъ лицомъ къ каплѣ а задомъ къ солнцу.

336. Вообще солнечные лучи, выходя изъ капли, бываютъ *расходящимися* и поэтому производятъ только слабое дѣйствіе на глазъ. Но при *одномъ* особенномъ углѣ лучи, дважды преломившись и однажды отразившись, выходятъ изъ капли почти совершенно параллельными. Они такимъ образомъ сохраняютъ свою напряженность подобно лучамъ отразившимся отъ параболическаго зеркала и производятъ соответствующее дѣйствіе на глазъ. Уголъ, при которомъ устанавливается этотъ параллелизмъ, измѣняется, смотря по преломляемости свѣта.

337. Проведите линію отъ солнца къ глазу наблюдателя и продолжите эту линію дальше за наблюдателя. Вообразите другую линію проведенную отъ глаза и составляющую уголъ въ  $42^{\circ} 30'$  съ линіею проведенною къ глазу отъ солнца. Дождевая капля, на которую упадетъ эта вторая линія, пошлетъ къ глазу параллельный лучъ *краснаго цвѣта*. Каждая другая капля находящаяся въ подобномъ положеніи, т. е. каждая капля на угловомъ разстояніи въ  $42^{\circ} 30'$  отъ линіи проведенной къ солнцу сдѣлаетъ тоже самое. Мы такимъ образомъ получаемъ *круговую полосу* краснаго цвѣта составляющую часть основанія конуса, для котораго глазъ наблю-



дателя служить вершиной. Вслѣдствіе угловой величины солнца, ширина этой полосы будетъ полградуса.

338. Отъ глаза наблюдателя вообразите другую линію, проведенную такъ, что она образуетъ уголъ  $40^{\circ} 30'$  съ линією проведенною къ солнцу. Капля, на которую упадетъ эта линія, испуститъ вдоль этой линіи почти совершенно параллельный лучъ *фіолетоваго* цвѣта къ глазу. Всѣ капли, находящіяся на такомъ же угловомъ разстояніи, сдѣлаютъ тоже самое и мы получимъ полосу *фіолетоваго* свѣта, такой же ширины какъ красная. Эти двѣ полосы составляютъ крайніе цвѣта радуги и между ними лежатъ полосы соотвѣтствующія другимъ цвѣтамъ.

339. Радуга въ дѣйствительности есть спектръ, въ которомъ дождевыя капли играютъ роль призмъ. Ширина радуги отъ краснаго до *фіолетоваго* составляетъ около двухъ градусовъ. Величина видимой дуги во всякое время явно зависитъ отъ положенія солнца. Радуга бываетъ наибольшею, когда она образуется при восхожденіи и захожденіи солнца. Тогда наблюдатель, находящійся на равнинѣ, видитъ цѣлый полукругъ, между тѣмъ какъ съ высокой горы видна еще большая дуга.

340. Угловые разстоянія и порядокъ цвѣтовъ указанные здѣсь соотвѣтствуютъ *первичной радугѣ*, но въ дополненіе къ ней мы обыкновенно видимъ *вторичную радугу* болѣе слабую по яркости, въ которой порядокъ цвѣтовъ *обратный* относительно *первичной*. Въ *первичной* красная полоса образуетъ выпуклую поверхность дуги и самую широкую изъ ея полосъ; во *вторичной* же радугѣ *фіолетовая* полоса есть внѣшняя сторона и красная полоса образуетъ вогнутость дуги.

341. Вторичная радуга образуется лучами, которые подверглись *двумъ* отраженіямъ въ каплѣ, также какъ и *двумъ* преломленіямъ на ея поверхности. Это-то двойное внутреннее отраженіе и ослабляетъ цвѣтъ. Въ *первичной радугѣ* падающій лучъ падаетъ на верхнее полушаріе капли и выходитъ изъ нижняго полушарія; во *вторичной радугѣ* падающій лучъ падаетъ на нижнее полушаріе капли и выходитъ изъ верхняго



и затѣмъ пересѣкаетъ падающіе лучи, чтобы достигнуть до глаза наблюдателя. Вторичная радуга имѣетъ  $3\frac{1}{2}$  градуса ширины и на  $7\frac{1}{2}$  градусовъ выше первичной. Изъ пространства между двумя радугами часть свѣта отраженного отъ *переднихъ поверхностей* дождевыхъ капель достигаетъ глаза; но изъ того свѣта, который *входитъ* въ дождевыя капли въ этомъ пространствѣ, ничего не отражается къ глазу. Поэтому эта часть дождеваго пространства кажется самою темною.

### Интерференція свѣта.

342. Въ волнообразномъ движеніи мы должны ясно отличать движеніе *волны* отъ движенія *отдѣльныхъ частицекъ*, которыя въ данный моментъ составляютъ волну. Поэтому что въ то время, какъ волна подвигается впередъ на большія разстоянія, отдѣльныя частички воды участвующія въ ея распространеніи совершаютъ сравнительно небольшой размахъ сюда и туда. Морская птица напр., когда подъ нею проходитъ волна, не уносится впередъ, но движется вверхъ и внизъ \*).

343. Здѣсь, какъ и въ другихъ случаяхъ, разстояніе, на которомъ качаются отдѣльныя частички воды и по которому птица движется вертикально вверхъ и внизъ, называется *амплитудою* качанія.

344. Когда свѣтъ отъ двухъ различныхъ источниковъ проходитъ черезъ одинъ и тотъ же эфиръ, то волны отъ одного источника должны болѣе или менѣе дѣйствовать на волны другаго. Это дѣйствіе легче всего можетъ быть понято на водяныхъ волнахъ.

345. Предположимъ, что два камня брошены одновременно въ спокойную воду. Вокругъ cadaго изъ нихъ образуется рядъ круговыхъ волнъ. Остановимъ наше вниманіе на точ-

---

\*] Строго говоря, частички воды описываютъ замкнутыя кривыя, а не прямыя вертикальныя линіи.



къ А въ водѣ равно отстоящей отъ двухъ центровъ возмущенія. Двѣ первыя вершины обѣихъ системъ волнъ достигнутъ этой точки въ одинъ моментъ и вслѣдствіе ихъ соединеннаго дѣйствія она поднимается до вдвое большей высоты, чѣмъ какой она достигла бы отъ дѣйствія одной какой нибудь волны взятой отдѣльно.

346. Первое углубленіе одной системы волнъ также достигнетъ точки А въ тотъ же самый моментъ, какъ первое углубленіе второй системы и отъ ихъ соединеннаго дѣйствія точка понизится до вдвое большей глубины, чѣмъ какой она достигла бы отъ дѣйствія одного углубленія отдѣльно.

347. Что вѣрно относительно первой вершины и перваго углубленія, то вѣрно и относительно всѣхъ послѣдующихъ. Въ точкѣ, А послѣдовательныя вершины совпадутъ и послѣдовательныя углубленія также совпадутъ между собою и волненіе этой точки будетъ вдвое больше того, какъ оно было бы, еслибъ на нее дѣйствовала только одна система волнъ.

348. *Длина волны* есть разстояніе отъ какой нибудь вершины или отъ какого нибудь углубленія волны до непосредственно предшествующихъ или послѣдующихъ вершины или углубленія. Когда два камня брошены въ тихую воду одновременно, то очевидно, это совпаденіе вершины волны съ вершиной и углубленія съ углубленіемъ будетъ происходить и въ томъ случаѣ, когда разстояніе отъ одного камня до точки А будетъ больше разстоянія другаго камня отъ той же точки *на цѣлую длину волны*. Разница будетъ состоять только въ томъ, что вторая волна ближайшаго камня совпадетъ съ первою волною отдаленнѣйшаго. Одна система волны будетъ здѣсь замедлена на цѣлую длину волны противъ другой.

349. Небольшое размышленіе также покажетъ намъ, что совпаденіе вершины съ вершиною и углубленія съ углубленіемъ совершится въ точкѣ А и въ томъ случаѣ, если замедленіе одной волны сзади другой будетъ составлять какое нибудь кратное число *цѣлой длины волнъ*.

350. Но если мы предположимъ, что точка А будетъ от-



стоять на половину длины волны дальше отъ одного камня чѣмъ отъ другаго, то въ то время какъ волны будутъ проходить черезъ точку А, вершины одной системы волнъ будутъ всегда совпадать съ углубленіями другой. Въ то время какъ волна одной системы стремится поднять точку А, волна другой системы будетъ стремиться углубить ее. Слѣдствіемъ этого будетъ то, что точка не будетъ ни подниматься ни опускаться; тогда какъ она поднималась бы и опускалась, если бы на нее дѣйствовала отдѣльно одна какая нибудь система волнъ. Таже самая нейтрализація движенія бываетъ и въ то время, когда разстояніе одного камня отъ точки А превосходитъ разстояніе другаго на какое нибудь нечетное число длины полуволнъ.

351. Здѣсь такимъ образомъ мы, присоединяя движеніе къ движенію, уничтожаемъ движеніе и производимъ покой. Совершенно такимъ же образомъ прибавляя звукъ къ звуку, мы производимъ тишину, когда одна система волнъ нейтрализуетъ другую. Также точно присоединяя теплоту къ теплотѣ, мы можемъ произвести холодъ и прибавляя свѣтъ къ свѣту, можемъ произвести темноту. Это-то совершенное тожество явленій свѣта и лучистой теплоты съ явленіями волнообразнаго движенія и составляетъ силу волнообразной теоріи.

352. Это дѣйствіе одной системы волнъ на другую, при которомъ качательное движеніе или увеличивается или уменьшается, называется *интерференціей*. Относительно оптическихъ явленій оно называется интерференціей свѣта. Впослѣдствіи мы часто будемъ имѣть случай примѣнять этотъ принципъ.

### Диффракція или инфлексія свѣта.

353. Ньютонъ, которому была знакома идея ээира, такъ какъ онъ вводилъ ее въ нѣкоторыя изъ своихъ соображеній, возражалъ; что если бы свѣтъ распространялся волнами, то не существовало бы тѣней; потому что волны огибали бы



вокругъ непрозрачныя тѣла и уничтожали бы тѣни за ними. Согласно теоріи волнъ это огибаніе волнъ дѣйствительно существуетъ, но различныя части уклоненныхъ волнъ разрушаютъ одна другую своей интерференціей.

354. Это загибаніе волнъ свѣта вокругъ краевъ непрозрачныхъ тѣлъ называется *диффракціей* или *инфлексіей* (по нѣмецки *Beugung*). Мы должны разсмотрѣть теперь нѣкоторыя изъ дѣйствій диффракціи.

355. И для этой цѣли необходимо, чтобы нашъ источникъ свѣта былъ физической точкой или тонкой линіей: потому что когда употребляется широкая свѣтящаяся поверхность, то дѣйствія ея различныхъ точекъ въ явленіяхъ диффракціи нейтрализуютъ другъ друга.

356. *Точка* свѣта можетъ быть получена, если собрать посредствомъ чечевицы съ короткимъ фокусомъ параллельные лучи солнца пропущенные черезъ маленькое отверстіе въ темную комнату. Маленькое изображеніе солнца образовавшееся въ фокусѣ есть здѣсь наша свѣтящаяся точка. Изображеніе солнца образовавшееся на поверхности посеребренного шарика или на выпуклой повѣрхности стеклянной чечевицы или на часовомъ стеклѣ зачерненомъ снизу также годятся для этой цѣли.

357. *Линія* свѣта получится, если пропустить солнечный свѣтъ черезъ щель и затѣмъ заставить эту полоску свѣта пройти черезъ цилиндрическую чечевицу.

358. Въ опытахъ, которые будутъ теперь описываться, щель измѣняющейся ширины была помѣщаема передъ электрической лампой и на эту щель нужно было смотрѣть съ нѣкотораго разстоянія черезъ другую щель также съ измѣняющимся отверстіемъ. Свѣтъ лампы былъ сдѣланъ монохроматическимъ или одноцвѣтнымъ посредствомъ помѣщенія передъ щелью чистаго краснаго стекла.

359. Глазомъ помѣщеннымъ на прямой линіи проведенной черезъ обѣ щели отъ раскаленныхъ угольковъ электрической лампы можно наблюдать необыкновенное явленіе. Во первыхъ щель передъ лампой кажется яркимъ прямоуголь-



никомъ свѣта; но справа и слѣва его есть еще длинный рядъ прямоугольниковъ съ уменьшающейся яркостью и отдѣленныхъ другъ отъ друга промежутками абсолютной темноты.

360. Ширина полосъ измѣняется вмѣстѣ съ шириною щели помѣщенной передъ глазомъ. Если щель расширяется, то изображенія становятся уже и ближе сходятся между собою; если же щель становится уже, то изображенія расширяются и удаляются другъ отъ друга.

361. Можетъ быть доказано, что ширина полосъ обратно пропорціональна ширинѣ щели помѣщенной передъ глазомъ.

362. Оставляя всѣ другія условія неизмѣнными, помѣстимъ на пути свѣта голубое стекло или растворъ аміакальной сѣрнокислой мѣди, которая даетъ чистый голубой цвѣтъ. Такимъ образомъ получится рядъ голубыхъ полосъ совершенно сходный съ первымъ во всѣхъ отношеніяхъ, исключая одного; голубые прямоугольники *уже и ближе* лежатъ другъ къ другу чѣмъ красные.

363. Если мы возьмемъ цвѣта промежуточныхъ преломляемостей между краснымъ и голубымъ, что можно сдѣлать, заставивши различные цвѣта спектра проходить черезъ щель, то получимъ цвѣтныя полосы промежуточныя по ширинѣ и занимающія промежуточныя положенія между полосами краснаго и голубаго. Поэтому если черезъ щель проходитъ *бѣлый свѣтъ*, то различные цвѣта не накладываются одинъ на другой и вмѣсто ряда монохроматическихъ полосъ отдѣленныхъ одна отъ другой промежутками темноты мы имѣемъ рядъ цвѣтныхъ спектровъ лежащихъ другъ подлѣ друга, причемъ самый преломляемый цвѣтъ cadaго спектра бываетъ самымъ близкимъ къ щели.

364. Если первая щель освѣщена пламенемъ свѣчи вмѣсто болѣе напряженнаго электрическаго свѣта, то въ сущности получаютъ тѣже эффекты, хотя менѣе блестящіе.

365. Каковъ смыслъ этого опыта и какъ происходятъ боковыя изображенія щели? Теорія истеченія не можетъ представить никакого объясненія этимъ и другимъ сопровожда-



ющимъ явленіямъ. Посмотримъ, какъ ихъ объясняетъ волнообразная теорія.

366. Для простоты рассмотримъ случай монохроматическаго свѣта. Вообразимъ себѣ волну ээира идущую отъ первой щели къ второй и наконецъ наполняющую вторую щель. Когда волна проходитъ черезъ нее, то она не только продолжаетъ свой прямой путь къ ретинѣ, но расходится вправо и влево, стремясь привести въ движеніе всю массу ээира за щелью. Дѣйствительно, *каждая точка волны, наполняющей щель, сама становится центромъ новыхъ системъ волнъ, которыя распространяются во всѣхъ направленіяхъ по ээиру за щелью*. Мы должны теперь изслѣдовать, какъ эти вторичныя волны дѣйствуютъ одна на другую.

367. Прежде всего посмотримъ на центральный прямоугольникъ ряда. Очевидно, что различныя части каждаго поперечнаго сѣченія волны, которая въ этомъ случаѣ наполняетъ нашу щель, достигаютъ ретины въ одинъ и тотъ же моментъ. Они находятся въ полномъ согласіи или созвучіи между собою, потому что ни одна часть не замедляется относительно другой. Такимъ образомъ лучи идущіе прямо отъ источника черезъ щель до ретины производятъ центральную полосу ряда.

368. Теперь рассмотримъ тѣ волны, которыя расходятся *наклонно* отъ щели. Въ этомъ случаѣ волны отъ двухъ краевъ щели, для того чтобы дойти до ретины, должны пройти *неравныя разстоянія*. Положимъ, что разница въ пути двухъ лучей идущихъ отъ краевъ будетъ составлять цѣлую длину волны краснаго цвѣта; какъ эта разница должна подѣйствовать на окончательное освѣщеніе ретины?

369. Остановите ваше вниманіе на отдѣльномъ лучѣ или линіи свѣта, которая проходитъ какъ разъ черезъ *центр* щели къ ретинѣ. Разница пути между этимъ центральнымъ лучомъ и двумя лучами отъ краевъ въ предполагаемомъ здѣсь случаѣ будетъ *половина длины волны*. Небольшое размышленіе покажетъ намъ, что каждый лучъ по одну сторону отъ



центральной линіи найдетъ по другую сторону ея лучъ, отъ котораго его путь разнится на половину волны, съ которымъ онъ поэтому находится въ полномъ несогласіи или не-созвучіи. Слѣдствіемъ этого будетъ то, что свѣтъ по одну сторону центральной линіи совершенно уничтожитъ свѣтъ по другую сторону ея и результатомъ ихъ взаимнаго погашенія будетъ абсолютная темнота. Такимъ образомъ объясняется первый *темный* промежутокъ нашего ряда полосъ. Онъ произошелъ отъ наклоненія, которое заставило лучи крайнихъ лучей разниться между собою на *цѣлую длину волны*.

370. Если разница между путями крайнихъ лучей будетъ *половина длины волны*, то произойдетъ *неполное* уничтоженіе свѣта. Свѣтовая напряженность соотвѣтствующая этому наклоненію будетъ меньше чѣмъ половина—именно 0,4—напряженности недиффрактированного свѣта.

371. Если пути крайнихъ лучей будутъ разниться между собою на три полуволны, и если весь пучокъ свѣта раздѣлится на три равныя части, то двѣ изъ этихъ частей вполнѣ нейтрализуютъ одна другую и будетъ дѣйствовать только третья. Такимъ образомъ соотвѣтственно наклоненію, которое производитъ между крайними лучами разницу въ три полуволны, мы имѣемъ свѣтлую полосу, но съ значительно меньшею напряженностью, чѣмъ недиффрактированная центральная полоса.

372. Если разница въ пути крайнихъ лучей будетъ четыре полуволны, то мы будемъ имѣть второе погашеніе всего пучка и этому наклоненію соотвѣтствуетъ пространство абсолютной темноты. Такимъ способомъ мы можемъ продолжать дальше и общій результатъ будетъ тотъ, что если наклоненіе будетъ таково, что произведетъ разницу между путями крайнихъ лучей въ *четное* число полуволнъ, тогда мы имѣемъ полное погашеніе; между тѣмъ, когда эта разница будетъ въ *нечетное* число полуволнъ, тогда мы имѣемъ только неполное погашеніе и часть пучка остается какъ свѣтлая полоса.

373. При небольшомъ размышленіи мы поймемъ, что чѣмъ короче волна, тѣмъ меньшее нужно наклоненіе, чтобы



произвести необходимое замедленіе. Максимумъ и минимумъ голубаго цвѣта лежатъ ближе къ центру чѣмъ максимумъ и минимумъ краснаго цвѣта. Максимумъ и минимумъ другихъ цвѣтовъ приходятся между этими крайними предѣлами. Такимъ простымъ образомъ волнообразная теорія вполне объясняетъ необыкновенныя явленія описанныя въ § 359. Когда употребляется щель и телескопъ вмѣсто щели и невооруженнаго глаза, то описанныя явленія представляются въ увеличенномъ видѣ и болѣе блестящими.

### Измѣреніе длины волнъ.

374. Мы теперь въ состояніи разрѣшить важную проблему измѣренія *длины* волны свѣта.

375. Первая изъ нашихъ темныхъ полосъ соотвѣтствуетъ, какъ уже было объяснено, разницѣ въ пути крайнихъ лучей на одну волну; наша вторая темная полоса — разницѣ пути въ двѣ волны; наша третья темная полоса — разницѣ въ три волны и т. д. При щели въ 1,35 миллиметра \*) Швердъ нашолъ, что угловое разстояніе первой темной полосы отъ центра поля составляетъ въ  $1'38''$ . Угловыя разстоянія другихъ темныхъ полосъ вдвое, втрое, вчетверо и т. д. больше этого количества т. е. они идутъ въ *арифметической прогрессіи*.

376. Сдѣлайте чертежъ щели  $EC$  съ пучкомъ проходящимъ черезъ нее при наклоненіи соотвѣтствующемъ первой темной полосѣ. Опустите перпендикуляръ изъ края  $E$  щели на крайній лучъ другаго края въ  $d$ . Разстояніе  $Cd$  между основаніемъ этого перпендикуляра и другимъ краемъ есть длина волны свѣта. Изъ  $E$  какъ центра шириною щели  $EC$  какъ радіусомъ опишемъ полукругъ; такъ какъ его радіусъ есть 1,35 миллиметра, то длина этого полукруга окажется 4,248 миллиметра. Но длина этого полукруга такъ относится къ длинѣ  $Cd$  волны, какъ  $180^\circ$  къ  $1'38''$  или какъ 648,000''

\*) Миллиметръ составляетъ около  $\frac{1}{25}$  дюйма.



къ 98''. Такимъ образомъ мы имѣемъ пропорцію—

$$648,000:98=4,248:x, \text{ т. е. къ длинѣ волны } C \text{ } \delta \text{ } ^{*}).$$

Произведши это вычисленіе, мы найдемъ, что длина волны для этого рода свѣта (краснаго) составляетъ 0,000643 миллиметра или 0,000026 дюйма.

377. Вмѣсто того, чтобы принимать цвѣтныя каймы диффракціи прямо на ретину, мы можемъ принимать ихъ на экранъ. Въ этомъ случаѣ нужно взять чечевицу съ значительною собирающею способностью, чтобы свести пучокъ отъ первой щели въ фокусъ и нужно помѣстить вторую щель или другой диффрактирующий край или края между фокусомъ и экраномъ. Свѣтъ въ этомъ случаѣ исходитъ собственно изъ фокуса.

378. Если остріе ножа помѣстить въ пучокъ свѣта параллельно щели, то увидимъ, что тѣнь острія на экранѣ окружена рядомъ параллельныхъ цвѣтныхъ каймъ. Если цвѣтъ монохроматиченъ, то полосы будутъ просто свѣтлыя и темныя. Спинка ножа производитъ такой же эффектъ, какъ его остріе. Деревянная или костяная разрѣзка производитъ совершенно такой же эффектъ какъ стальной ножъ. Каймы нисколько не зависятъ отъ характера вещества, вокругъ края котораго диффрактируется свѣтъ.

379. Толстая проволока помѣщенная въ свѣтовой пучокъ даетъ цвѣтныя каймы по обѣимъ сторонамъ ея тѣни. Если проволока будетъ *тонка* или если взять человѣческій волосъ, то въ самой геометрической тѣни будутъ параллельныя полосы. Первые называются *внѣшними каймами*, а послѣднія *внутренними каймами*. Въ рукахъ юнга и Френеля всѣ эти явленія получили свое объясненіе какъ дѣйствія интерференціи.

380. *Щель* состоитъ изъ двухъ краевъ стоящихъ другъ противъ друга. Если помѣстить щель въ свѣтовой пучокъ

---

\*)  $C \delta$  столь мало, что практически оно совпадаетъ съ кругомъ описаннымъ вокругъ  $E$ .



между фокусомъ и экраномъ, то пространство между краями будетъ занято цвѣтными полосками.

381. Если мы будемъ смотрѣть на отдаленную точку свѣта черезъ небольшое круглое отверстіе, то точка кажется окруженною рядомъ цвѣтныхъ полосъ. Если употребляется свѣтъ монохроматическій, то эти полосы бываютъ свѣтлыми и темными, но бѣлый свѣтъ даетъ круги представляющіе радужные цвѣта.

382. Эти результаты можно разнообразить до бесконечности, если измѣнять размѣры, форму и число отверстій, черезъ которыя мы смотримъ на точку свѣта. Уличные фонари, если на нихъ смотрѣть черезъ ткань платка представляютъ явленія диффракціи. Великолѣпны также явленія диффракціи открытыя Швердомъ и получающіяся тогда, если смотрѣть черезъ бородку птичьихъ перьевъ. Радужность альпійскихъ облаковъ есть также дѣйствіе диффракціи (\*).

383. Слѣдуя за указаніями теоріи, Пуассонъ пришолъ къ парадоксальному результату, что если взять *непрозрачный кружокъ*, то освѣщеніе центра его тѣни произведенное диффракціей на краяхъ кружка будетъ совершенно такое же, какъ еслибы кружка вовсе не было. Этотъ поразительный выводъ изъ теоріи былъ въ послѣдствіи опытно подтвержденъ Араго.

---

\*) Это же явленіе можно произвести посредствомъ споръ ликоподія. Явленія диффракціи искусственныхъ, такъ называемыхъ «актиническихъ облаковъ» необыкновенно красивы. Одинъ изъ самыхъ интересныхъ когда либо видѣнныхъ много случаевъ диффракціи отъ маленькихъ частичекъ былъ у одного артиста, котораго зрѣніе было разстроено ярко цвѣтными кругами. Однажды онъ пришолъ ко мнѣ и обнаружилъ величайшее опасеніе потерять зрѣніе и какъ на причину своего опасенія указывалъ на то, что круги у него становились больше, а цвѣта ярче. Я приписывалъ цвѣта маленькимъ частичкамъ въ жидкостяхъ глаза и успокоилъ его увѣреніемъ, что увеличеніе объема и яркости указываетъ на то, что диффрактирующія частички сдѣлались *меньше* и что онѣ наконецъ совершенно могутъ исчезнуть. Это предсказаніе оправдалось. Едвали нужно и говорить о необходимости оптическихъ познаній для практическихъ окулистовъ.



### Цвѣта тонкихъ пластинокъ.

384. Если пучокъ монохроматическаго свѣта—напр. чистый красный, который легче всего получается посредствомъ поглощенія—падаетъ на тонкую прозрачную пластинку, то часть свѣта отражается отъ первой поверхности пластинки; часть же входитъ въ пластинку и отчасти отражается отъ второй поверхности.

385. Эта вторая часть, прошедши черезъ пластинку сюда и туда, *замедляется* относительно свѣта прежде отраженнаго. Этотъ случай походить на тотъ, когда наши два камня брошены были въ воду на неравныхъ разстояніяхъ отъ точки А (парагр. 345).

386. Если толщина пластинки такова, что она замедлитъ пучокъ отраженный отъ второй поверхности на цѣлую длину волны, или на какое нибудь кратное число цѣлыхъ волнъ или другими словами на *четное* число полуволнъ, тогда два отраженные пучка, проходя черезъ одинъ и тотъ же эфиръ будутъ между собою въ *полномъ согласіи* или созвучіи; они поэтому будутъ усиливать другъ друга и вслѣдствіе этого пластинка станетъ свѣтлѣй, чѣмъ была бы она отъ одного изъ этихъ лучей отдѣльно.

387. Но если толщина пластинки такова, что замедлитъ лучъ отраженный отъ второй поверхности на половину волны или на какое нибудь *нечетное* число полуволнъ, то два отраженные луча будутъ между собою въ *полномъ несогласіи* или несозвучіи и вслѣдствіе этого послѣдуетъ уничтоженіе свѣта. Вслѣдствіе присоединенія свѣта претерпѣвшаго болѣе чѣмъ одно отраженіе отъ второй поверхности къ свѣту претерпѣвшему только одно отраженіе лучъ отраженный отъ первой поверхности можетъ быть *вполнѣ уничтоженъ*. Гдѣ бываетъ это полное уничтоженіе свѣта, тамъ пластинка кажется темною.

388. Если пластинка будетъ измѣняющейся толщины, то ея различныя части будутъ казаться свѣтлыми или темными,



смотря потому, благопріятствуетъ ли толщина согласію или несогласію отраженныхъ лучей.

389. Вслѣдствіе различной длины волнъ свѣта различные цвѣта спектра требуютъ различной толщины, чтобы произвести согласіе или несогласіе; чѣмъ длиннѣе волна, тѣмъ больше должна быть толщина пластинки. Поэтому тѣ толщины, которыя произведутъ погашеніе одного цвѣта, не произведутъ погашенія другаго цвѣта. Такимъ образомъ если пластинка измѣняющейя толщины освѣщена *бѣлымъ свѣтомъ*, то она играетъ разными цвѣтами.

390. Эти цвѣта называются цвѣтами *тонкихъ пластинокъ*.

391. Цвѣта мыльныхъ пузырей, масла или дегтя расплывшагося на водѣ, закаленной стали, блестящіе цвѣта пленки на расплавленномъ свинцѣ, металло-хромъ Нобили, яркіе цвѣта крыльевъ нѣкоторыхъ насекомыхъ суть цвѣта тонкихъ пластинокъ. Эти цвѣта производятся прозрачными пластинками всякаго рода. Въ кристаллахъ мы часто видимъ радужные цвѣта происходящіе отъ пустыхъ трещинокъ образовавшихся вслѣдствіе внутренняго растрескиванія. При раскалываніи темнаго льда подъ моренами ледниковъ часто случаются внутреннія растрескиванія и цвѣта тонкихъ пластинокъ свѣтятся изъ массы льда съ необыкновеннымъ блескомъ.

392. Ньютонъ помѣщалъ чечевицу съ малой кривизной въ оптическое соприкосновеніе съ плоскою поверхностью стекла. Между чечевицей и поверхностью находился слой воздуха, который увеличивался въ толщинѣ отъ точки соприкосновенія кнаружи. Онъ такимъ образомъ получилъ въ монохроматическомъ свѣтѣ рядъ свѣтлыхъ и темныхъ *колецъ*, соотвѣтственно различной толщинѣ слоя воздуха, которая производила попеременное согласіе и несогласіе волнъ.

393. Онъ нашолъ, что кольца производимыя фіолетовымъ цвѣтомъ меньше чѣмъ производимыя краснымъ, между тѣмъ какъ кольца производимыя другими цвѣтами лежатъ между этими предѣлами. Поэтому когда употребляется бѣлый цвѣтъ, то ньютонovy кольца являются какъ рядъ круговыхъ цвѣт-



ныхъ полосъ. Въ монохроматическомъ свѣтѣ видно большее число колецъ, потому что различно окрашенные кольца послѣ того, какъ слой достигъ извѣстной толщины, накладываются другъ на друга и сливаются между собою, такъ что производятъ бѣлый свѣтъ.

394. Ньютонъ измѣрилъ діаметры его колецъ съ удивительною точностью, если принять во вниманіе средства бывшія въ его распоряженіи; онъ также опредѣлилъ по ея фокусной длинѣ и ея показателю преломленія діаметръ сферы, часть которой составляла чечевица. Онъ нашолъ, что квадраты діаметровъ его колецъ находятся въ *арифметической прогрессіи* и что слѣдовательно *толщины* слоя воздуха соотвѣтствующія діаметрамъ колецъ были также въ арифметической прогрессіи.

395. Онъ опредѣлилъ *абсолютную толщину* слоевъ воздуха, при которой показывались кольца. Употребляя самыя блестящія лучи спектра, т. е. лучи на общей границѣ между желтымъ и оранжевымъ, онъ нашолъ, что толщина соотвѣтствующая первому свѣтлomu кольцу есть  $\frac{1}{178000}$  дюйма.

396. Весь рядъ свѣтлыхъ колецъ образовывался при слѣдующихъ послѣдовательныхъ толщинахъ:

$$\frac{1}{178000}, \frac{3}{178000}, \frac{5}{178000}, \frac{7}{178000}, \text{ и проч.}$$

и рядъ темныхъ колецъ раздѣляющихъ свѣтлыя при толщинахъ

$$\frac{2}{178000}, \frac{4}{178000}, \frac{6}{178000}, \frac{8}{178000}, \text{ и проч.}$$

397. Чтобы объяснить эти кольца, Ньютонъ предполагалъ, что частички свѣта одарены *способностями легкой передачи и легкаго отраженія*. Онъ вѣроятно воображалъ, что эти частички одарены въ то же время поступательнымъ движеніемъ по пространству и вращательнымъ движеніемъ вокругъ своихъ осей. Если мы предположимъ, что такія частички похожи на маленькіе магниты, которые попеременно обращаютъ притягивающіе и отталкивающіе полюсы къ поверхности, къ которой они приближаются, то будемъ имѣть представленіе согласное съ понятіемъ Ньютона.

398. Согласно этому представленію обыкновенное отра-



женіе и преломленіе зависятъ отъ обращенія отталкивающихъ или притягивающихъ полюсовъ частичекъ къ отражающей или преломляющей поверхности.

399. Вообразите теперь вращающіяся частички свѣта вошедшими въ слой воздуха между чечевицей Ньютона и стеклянной пластинкой. Если разстояніе между ними таково, что дастъ частичкѣ свѣта возможность совершить *полный оборотъ*, то она обратитъ *ко второй поверхности* слоя воздуха тотъ же самый полюсъ, какимъ она была обращена къ первой поверхности. Она поэтому *пройдемъ* черезъ среду и не возвратится къ глазу.

400. Тотъ же эффектъ произойдетъ и въ томъ случаѣ, если разстояніе между пластинкой и чечевицей будетъ таково, что дастъ свѣту возможность совершить два, три, четыре и т. д. полные оборота. *Такимъ образомъ темныя кольца Ньютона объяснены.* Они образуются на тѣхъ мѣстахъ, гдѣ свѣтовые частички вмѣсто того чтобы возвращаться къ глазу отъ второй поверхности слоя, проходятъ черезъ поверхность.

401. Но если толщина пластинки такова, что дастъ возможность свѣтовой частичкѣ вошедшей въ первую поверхность совершить только *половину оборота* прежде чѣмъ она достигнетъ второй поверхности, тогда отталкивающій полюсъ будетъ обращенъ къ послѣдней поверхности и частичка возвратится назадъ къ глазу. Тоже самое будетъ, если разстояніе таково, что дастъ свѣтовой частичкѣ возможность совершить три, пять или семь полуоборотовъ. *Такимъ образомъ объясняются свѣтлыя кольца Ньютона;* они являются въ тѣхъ мѣстахъ, гдѣ частички свѣта, достигши второй поверхности слоя, возвращаются назадъ къ глазу.

402. Теорія истеченія находится здѣсь въ полномъ противорѣчіи съ теоріей волнообразныхъ движеній. Ньютонъ предполагалъ, что дѣйствіе производящее попеременныя свѣтлыя и темныя кольца происходитъ на *одной* поверхности, т. е. на второй поверхности слоя. Волнообразная же теорія



утверждаетъ, что кольца производятся интерференціей лучей отраженныхъ отъ *обѣихъ* поверхностей. И это доказано. Употребляя поляризованный свѣтъ (который будетъ описанъ и объясненъ дальше), мы можемъ уничтожить отраженіе отъ первой поверхности слоя и когда это сдѣлано, кольца исчезаютъ совершенно.

403. Однако прелесть и остроуміе объясненія Ньютона очевидны; и повидимому его теорія подтверждалась тѣмъ фактомъ, что кольца слабой напряженности дѣйствительно производились *проходящимъ свѣтомъ* и что свѣтлыя кольца отъ проходящаго свѣта соотвѣтствуютъ толщинѣ производящей темныя кольца въ отраженномъ свѣтѣ.

404. Проходящія кольца объясняются по волнообразной теоріи интерференціей лучей, которые прямо прошли черезъ слой, съ другими лучами, которые подверглись *двумъ отраженіямъ* въ слой. Такимъ образомъ они объясняются вполне.

*Примѣчаніе.* Толщина  $\frac{1}{178000}$  дюйма упомянутая въ параграфѣ 396 какъ соотвѣтствующая первому свѣтлому кольцу есть *четверть* длины волны свѣта употреблявшагося Ньютономъ. Поэтому пройдя сюда и туда черезъ слой, лучъ отраженный отъ второй поверхности отставалъ *на половину* волны противъ луча отраженного отъ первой поверхности. Такимъ образомъ при этой толщинѣ кольцо должно быть на основаніи принциповъ интерференціи *темнымъ* а не *свѣтымъ*. Тоже самое приложимо къ толщинамъ  $\frac{3}{178000}$ ,  $\frac{5}{178000}$  и т. д.; первая соотвѣтствуетъ замедленію въ три полуволны, а послѣдняя въ пять полуволнъ. Относительно *темныхъ* колецъ — первое изъ нихъ образуется при толщинѣ, которая взятая дважды равняется длинѣ цѣлой волны, второе — при толщинѣ, которая взятая дважды равняется двумъ волнамъ; третье — при толщинѣ равняющейся при утроеніи тремъ волнамъ. Поэтому если принимать во вниманіе *только толщину* слоя, то свѣтлыя кольца должны быть темными, а темныя свѣтлыми.

Но здѣсь нужно принять въ соображеніе еще нѣчто кромѣ



волны. Въ первой поверхности слоя волна переходитъ изъ менѣе плотнаго ээира воздуха въ болѣе плотный ээиръ стекла. Эта разница на двухъ преломляющихъ поверхностяхъ равнозначительна *прибавленію полуволны* къ толщинѣ слоя. Такимъ образомъ къ абсолютной толщинѣ измѣренной Ньютономъ нужно прибавить въ каждомъ случаѣ еще половину волны; когда это сдѣлано, то кольца слѣдуютъ другъ за другомъ въ совершенномъ согласіи съ закономъ интерференціи изложеннымъ въ параграфахъ отъ 348 до 350.

### Двойное преломленіе.

405. Въ воздухѣ, водѣ и медленно охлажденномъ стеклѣ свѣтоносный ээиръ имѣетъ одинаковую упругость во всѣхъ направленіяхъ. Въ молекулярной группировкѣ этихъ веществъ нѣтъ ничего такого, что бы нарушало совершенную однородность ээира.

406. Но иное бываетъ, когда вода кристаллизуется въ ледъ; здѣсь частицы побуждаются своими собственными силами распредѣляться извѣстнымъ опредѣленнымъ способомъ. Онѣ напр. въ нѣкоторыхъ направленіяхъ тѣснѣе сближаются между собой чѣмъ въ другихъ. Это расположеніе частицъ сопровождается соотвѣтствующимъ расположеніемъ окружающаго ээира, которое сообщаетъ ему *различныя степени упругости въ разныхъ направленіяхъ*.

407. Въ пластинкѣ льда напр. упругость ээира въ направленіи перпендикулярномъ къ поверхности замерзанія отлична отъ его упругости въ направленіи параллельномъ этой же поверхности.

408. Эта разница обнаруживается особенно поразительнымъ образомъ въ исландскомъ шпатѣ, который есть кристаллическая углекислая известь; и вслѣдствіе существованія этихъ двухъ различныхъ упругостей волна свѣта проходящая черезъ шпатъ *раздѣляется на двѣ*; одна быстрая соотвѣтствующая большей упругости и другая медленная соотвѣтствующая меньшей упругости.



409. Гдѣ скорость свѣта наибольшая, тамъ преломленіе наименьшее; и гдѣ скорость наименьшая, тамъ преломленіе наибольшее. Поэтому въ исландскомъ шпатѣ, такъ какъ мы имѣемъ двѣ волны движущіяся съ различными скоростями, то имѣемъ и *двойное преломленіе*.

410. Это же примѣняется и къ большей части кристаллическихъ тѣлъ. Если группировка частицъ не совершенно одинакова во всѣхъ направленіяхъ, то и эфиръ будетъ неодинаково упругъ во всѣхъ направленіяхъ и непремѣннымъ результатомъ этого будетъ двойное преломленіе.

411. Въ каменной соли, квасцахъ и другихъ кристаллахъ группировка частицъ бываетъ однородна и такіе кристаллы дѣйствуютъ какъ стекло, вода или воздухъ.

412. Въ нѣкоторыхъ двояко преломляющихъ кристаллахъ частицы расположены одинаковымъ образомъ со всѣхъ сторонъ по извѣстному направленію. Напр. во льду молекулярное расположеніе бываетъ одинаково вокругъ перпендикуляровъ къ поверхности замерзанія.

413. Подобнымъ же образомъ въ исландскомъ шпатѣ частицы бываютъ расположены симметрически вокругъ кристаллографической оси, т. е. вокругъ короткой діагонали ромба, который можетъ получиться при разбиваніи или распаиваніи его кристалловъ \*).

414. Когда лучъ свѣта проходитъ черезъ ледъ перпендикулярно къ поверхности замерзанія или черезъ исландскій шпатъ параллельно кристаллографической оси, тогда не бываетъ двойнаго преломленія. И это не един-

---

(\*) Расположеніе частицъ таково, что исландскій шпатъ можетъ быть расколотъ или распаянъ съ большою и равною легкостью по тремъ различнымъ направленіямъ. Эти *плоскости спайности* наклонны одна къ другой. Каменная соль также распаивается легко и одинаково по тремъ направленіямъ, но плоскости спайности находятся подъ прямымъ угломъ одна къ другой. Поэтому въ то время какъ каменная соль распаивается на *кубы*, исландскій шпатъ распаивается на *ромбы*. Многіе кристаллы распаиваются съ различною легкостью въ различныхъ направленіяхъ. Селенитъ и кристаллическій сахаръ (кандійскій сахаръ) представляютъ примѣры этого.



ственные случаи; вообще двойного преломленія не бываетъ по направленію, вокругъ котораго молекулярное расположе- ніе одинаково во всѣ стороны.

415. Направленіе, по которому не бываетъ двойного преломленія, называется *оптической осью* кристалла.

*Примѣчаніе.* Такъ какъ vibraціи ээира *поперечны* къ направленію луча, то упругость обусловливающая скорость распространенія луча находится подъ *прямымъ угломъ* къ направленію луча. Въ исландскомъ шпатѣ самая медленная скорость бываетъ по направленію оси; поэтому упругость подъ *прямымъ угломъ* къ этой оси есть *минимумъ*. Съ другой стороны лучъ, vibraціи котораго совершаются вдоль оси, имѣетъ наибольшую скорость, поэтому упругость ээира вдоль оси есть *максимумъ*. Въ совершенно однородныхъ тѣлахъ поверхность упругости была бы сферическая; она измѣрялась бы равной длины радіусомъ во всѣхъ направле- ніяхъ. Въ исландскомъ шпатѣ поверхность упругости есть эллипсоидъ, котораго длинная ось совпадаетъ съ осью кри- сталла.

### Явленія представляемыя исландскимъ шпа- томъ.

416. Два луча, на которые падающій лучъ раздѣляется исландскимъ шпатомъ, имѣютъ неодинаковыя свойства. Одинъ изъ нихъ слѣдуетъ обыкновенному закону преломленія; его показатель преломленія совершенно постояненъ и не зависитъ отъ направленія его пути по кристаллу. Углы паденія и преломленія находятся въ одной плоскости какъ при обы- кновенномъ преломленіи. Лучъ имѣющій такія свойства на- зывается *обыкновеннымъ лучомъ*. Въ этомъ случаѣ отно- шеніе синуса угла паденія къ синусу угла преломленія или отношеніе скорости свѣта въ воздухѣ къ скорости его въ кристаллѣ составляетъ постоянную величину 1,654 къ 1. Число 1,654 есть *обыкновенный показатель* исландскаго шпата.



417. Но другой лучъ дѣйствуетъ иначе. Его показатель преломленія непостояненъ и уголъ преломленія не всегда бываетъ въ одной плоскости съ угломъ паденія. Лучъ имѣющій такія свойства называется *необыкновеннымъ лучомъ*. Если призма слѣлана изъ шпата съ ея преломляющимъ угломъ параллельно его оптической оси, то въ томъ случаѣ, когда падающій лучъ проходитъ черезъ призму *подъ прямымъ угломъ къ оптической оси*, раздѣленіе двухъ частей луча бываетъ *максимумъ*. Здѣсь играетъ роль полное различіе въ упругости между осевымъ направленіемъ и направленіемъ перпендикулярнымъ къ нему и необыкновенный лучъ претерпѣваетъ минимумъ своего замедленія и такимъ образомъ минимумъ своего преломленія. Его показатель преломленія есть тогда 1,483.

418. Показатель преломленія необыкновеннаго луча измѣняется, смотря по направленію его пути въ кристаллѣ, отъ 1,481 до 1,654. *Минимумъ величины* отношенія двухъ синусовъ или двухъ скоростей, 1,483, называется *необыкновеннымъ показателемъ*.

419. Если на маленькое отверстіе, черезъ которое проходитъ свѣтъ, смотрѣть черезъ ромбъ исландскаго шпата, то бываютъ видны два отверстія. Если ромбъ положить на черную точку находящуюся на бѣломъ листѣ бумаги, то бываютъ видны двѣ точки; и если поворачивать шпата, то одно изъ образованій отверстія или точки будетъ вращаться вокругъ другаго.

420. Вращающееся изображеніе есть то, которое образуется необыкновеннымъ лучомъ.

421. Одно изъ образованій точки бываетъ *ближе* къ наблюдателю, чѣмъ другое. Обыкновенный лучъ дѣйствуетъ такъ, какъ еслибы онъ шолъ изъ болѣе преломляющей среды, и чѣмъ больше преломленіе, тѣмъ ближе должно казаться изображеніе. О томъ, что вода кажется всегда менѣе глубокою, чѣмъ она есть на дѣлѣ, уже было упомянуто въ параграфахъ 131 и 132. Съ сѣроуглеродомъ кажущееся уменьшеніе глубины бываетъ еще сильнѣе, потому что преломле-



ніе больше. Въ исландскомъ шпатѣ обыкновенный лучъ имѣетъ почти такое же отношеніе къ необыкновенному, какъ показатель сѣроуглерода къ показателю воды; поэтому *обыкновенное изображеніе* должно казаться ближе, чѣмъ необыкновенное.

422. Брюстеръ показалъ, что многіе кристаллы имѣютъ *два* оптическія оси, или два направленія, по которымъ лучъ проходитъ черезъ кристаллъ безъ раздвоенія. Примѣрами этихъ тѣлъ служатъ: кристаллическій сахаръ, слюда, тяжелый шпатъ, сѣрнокислая известь и топазъ.

423. Такимъ образомъ кристаллы раздѣляются на—

I. *Одно—преломляющіе кристаллы*, каковы наприм. каменная соль, квасцы и плавиковый шпатъ; и

II. *Двояко—преломляющіе кристаллы*, которые бываютъ двоякаго рода, т. е.:

а) *Одноосные кристаллы* съ одною оптическою осью, каковы исландскій шпатъ, горный хрусталь и турмалинъ; и

б) *Двуосные кристаллы* или такіе, которые имѣютъ *два* оптическіе оси, каковы аррагонитъ, полевой шпатъ и перечисленные въ 422.

424. Если на пластинку исландскаго шпата, вырѣзанную перпендикулярно къ оси, лучъ свѣта падаетъ наклонно, то обыкновенный лучъ какъ болѣе преломленный бываетъ ближе къ оси, чѣмъ необыкновенный. Необыкновенный лучъ какъ будто *отталкивается* осью. Но Брю показалъ, что есть много кристалловъ, въ которыхъ бываетъ *противное*, въ которыхъ т. е. необыкновенный лучъ бываетъ ближе къ оси, чѣмъ обыкновенный, какъ будто *притягивается* ею. Кристаллы перваго класса называются *отталкивающими* или *отрицательными*; таковы напр. исландскій шпатъ, рубинъ, сапфиръ, изумрудъ, берилъ и турмалинъ. Кристаллы втораго класса называются *притягивающими* или *положительными*; таковы напр. горный хрусталь, ледъ и цирконъ.



## Поляризація свѣта.

425. Двойное преломленіе исландскаго шпата было открыто Эразмомъ Бартолиномъ и въ первый разъ было описано имъ въ сочиненіи напечатанномъ въ Копенгагенѣ въ 1669. Знаменитый Гюйгенсъ старался объяснить это явленіе на основаніи принциповъ волнообразной теоріи и успѣлъ въ этомъ.

426. Производя эксперименты по этому предмету, Гюйгенсъ нашолъ, что обыкновенный свѣтовой пучокъ, проходя черезъ исландскій шпатель, въ какомъ угодно направленіи, исключая одного (направленія оптической оси), всегда раздѣляется на два пучка *равной напряженности* или силы; но если *одну* какую нибудь изъ этихъ половинъ пучка пропустить черезъ другой кусокъ шпата, то она обыкновенно еще раздѣляется на два луча *неравной напряженности*; и что есть два положенія шпата, при которыхъ одинъ изъ лучей совершенно исчезаетъ.

427. Поворачивая шпатель вокругъ этого положенія абсолютнаго исчезновенія, мы увидимъ снова исчезнувшій лучъ; его товарищъ въ то же время становится блѣднѣе; оба они затѣмъ проходятъ черезъ фазу равной интенсивности и если продолжать вращеніе, то лучъ прежде проходившій исчезаетъ.

428. Размышляя объ этомъ экспериментѣ, Ньютонъ пришолъ къ заключенію, что пучокъ вслѣдствіе своего прохода черезъ исландскій шпатель, пріобрѣлъ *стороны* и что его задержаніе или прохожденіе зависитъ оттого, какимъ образомъ эти стороны обращаются къ частицамъ втораго кристалла. Онъ сравнивалъ эту *дву-сторонность* свѣтоваго пучка съ *дву-конечностью* магнита, называемою его полярностью; и свѣтовой пучокъ, представляющій эту дву-сторонность, названъ былъ въ послѣдствіи *поляризованнымъ*.

429. Въ 1808 году Малюсъ, смотря черезъ двупреломляющую призму на одно изъ оконъ Люксембургскаго дворца, отъ котораго отражался солнечный свѣтъ, нашолъ, что при извѣстномъ положеніи шпата обыкновенное изображеніе окна



почти совершенно исчезало; между тѣмъ какъ при положеніи перпендикулярномъ къ прежнему исчезало необыкновенное изображеніе. Онъ увидѣлъ аналогію между этимъ дѣйствіемъ и дѣйствіемъ открытымъ Гюйгенсомъ въ исландскомъ шпатѣ и пришолъ къ тому заключенію, что это явленіе происходитъ отъ какого нибудь новаго свойства, получаемого свѣтомъ послѣ его отраженія отъ стекла.

430. Какое же это свойство? Оно можетъ быть проще всего изучено и понято посредствомъ кристалла, называемаго турмалиномъ. Это кристаллъ — двупреломляющій; онъ раздѣляетъ падающій на него пучокъ свѣта на два, но его молекулярная группировка, а вслѣдствіе ея и расположеніе ээира таковы, что одинъ изъ этихъ лучей быстро погашается, между тѣмъ какъ другой проходитъ сравнительно свободно.

431. Нужно всегда помнить, что движенія отдѣльныхъ частичекъ ээира поперечны къ направленію, по которому распространяется свѣтъ (ст. 219). *Въ пучкѣ обыкновеннаго свѣта vibraціи совершаются во всѣхъ направленіяхъ вокругъ линіи распространенія.*

432. Измѣненіе, претерпѣваемое свѣтомъ при проходѣ черезъ турмалиновую пластинку достаточной толщины и вырѣзанную параллельно оси кристалла, состоитъ въ слѣдующемъ: всѣ vibraціи, исключая тѣхъ, которыя совершаются *параллельно оси*, останавливаются внутри кристалла. Поэтому въ пучкѣ, выходящемъ изъ пластинки турмалина, всѣ его vibraціи приведены въ одну плоскость. При этихъ условіяхъ это есть пучокъ *плоскости поляризованнаго свѣта*.

433. Вообразите себѣ цилиндрической пучокъ свѣта, въ которомъ всѣ его ээирныя частички вибрируютъ въ одномъ направленіи, положимъ *горизонтально*; если бы смотрѣть на него сверху внизъ вертикально, то было бы видно, что частички ээира, если онѣ достаточно велики, совершаютъ свои колебанія въ ту и другую сторону отъ линіи направленія луча и перпендикулярно къ ней. Но если бы смотрѣть на тотъ же лучъ сбоку горизонтально, то было бы видно, что частички приближаются и удаляются, но ихъ пути были бы



невидимы, такъ какъ каждая частичка закрываетъ свой собственный путь. Въ первомъ случаѣ мы видѣли бы *линии* передвиженія частицъ, а въ послѣднемъ только *концы* этихъ линий. Въ этомъ по смыслу волнообразной теоріи и состоитъ *дву-сторонность* открытая Гюйгенсомъ и объяснявшаяся Ньютономъ.

### Поляризація свѣта черезъ отраженіе.

434. Качество дву-сторонности также сообщается свѣту отраженіемъ. Это есть великое открытіе Малюса. Лучъ поляризуется отчасти *при всѣхъ наклонныхъ паденіяхъ*, такъ какъ часть его вибрацій приводится въ общую плоскость. Но при одномъ извѣстномъ углѣ паденія лучъ *поляризуется совершенно* и *всѣ* его вибраціи приводятся въ одну плоскость. Уголъ паденія соотвѣтствующій этой совершенной поляризаціи называется *угломъ поляризаціи*.

435. Уголъ поляризаціи связанъ съ показателемъ преломленія среды изыщнымъ закономъ открытымъ серомъ Давидомъ Брюстеромъ \*). Когда свѣтовой лучъ падаетъ на прозрачное вещество, то онъ отчасти отражается, а отчасти преломляется. При одномъ извѣстномъ углѣ паденія, отраженная и преломленная части луча стоятъ *подъ прямымъ угломъ между собою*. Уголъ паденія въ этомъ случаѣ есть уголъ поляризаціи. Это и есть геометрическое выраженіе закона Брюстера.

436. Уголъ поляризаціи увеличивается съ увеличеніемъ показателя преломленія среды. Для воды онъ есть  $53^{\circ}$ , для стекла  $58^{\circ}$ , а для алмаза  $68^{\circ}$ .

437. Такимъ образомъ когда лучъ обыкновеннаго свѣта, котораго вибраціи совершаются во всѣхъ направленіяхъ, падаетъ на стеклянную пластинку подъ угломъ поляризаціи, то послѣ отраженія всѣ его вибраціи приводятся къ общей плоскости. Направленіе вибрацій поляризованнаго луча *параллельно поляризующей поверхности*.

---

\*) Показатель преломленія среды есть тангенсъ угла поляризаціи.



438. Предположимъ, что лучъ такимъ образомъ поляризованный отраженіемъ отъ поверхности одной стеклянной пластинки падаетъ на другую пластинку *подъ угломъ поляризації*. При одномъ положеніи этой пластинки лучъ претерпѣваетъ максимумъ своего отраженія. При извѣстномъ же другомъ положеніи ея лучъ *вполнѣ проходитъ* и отраженія не происходитъ. Въ этомъ экспериментѣ уголъ паденія остается неизмѣннымъ и ничто не измѣняется, исключая той *стороны* луча, какою онъ падаетъ на вторую отражающую поверхность.

439. Отраженіе поляризованнаго луча бываетъ максимумъ тогда, когда линіи, вдоль которыхъ вибрируютъ частички эѳира, *параллельны* отражающей поверхности. А проходитъ онъ вполнѣ тогда, когда линіи вибрацій падаютъ на отражающую поверхность *подъ угломъ поляризації*. Отраженіе въ этомъ случаѣ равно нулю. Пользуясь этимъ фактомъ, можно уничтожить отраженіе отъ первой поверхности тонкой пластинки и этимъ сдѣлать невозможнымъ образованіе колецъ Ньютона, какъ было сказано въ 402.

440. Лучъ, который встрѣчаетъ первую поверхность стеклянной пластинки съ параллельными сторонами *подъ угломъ поляризації*, встрѣчаетъ и вторую поверхность ея также *подъ угломъ поляризації* и здѣсь частью отражается совершенно поляризованнымъ. Поэтому при увеличеніи числа пластинокъ повторенныя отраженія отъ ихъ поверхностей сообщаютъ поляризованному лучу большую напряженность, чѣмъ какую онъ получилъ бы при отраженіи отъ одной поверхности.

### Поляризація свѣта черезъ преломленіе.

441. Мы до сихъ поръ обращали вниманіе на *отраженную* часть луча; *но преломленная* часть, которая входитъ въ стекло, также отчасти поляризуется. Количества поляризованнаго свѣта въ отраженномъ и преломленномъ лучахъ *всегда равны между собою*.

442. Плоскость вибраціи въ преломленномъ лучѣ нахо-



дится *подъ прямымъ угломъ* къ плоскости въ отраженномъ лучѣ.

443. Если нѣсколько стеклянныхъ пластинокъ помѣщены параллельно одна другой и если лучъ падаетъ на нихъ *подъ угломъ поляризаціи*, то при каждомъ переходѣ изъ пластинки въ пластинку часть свѣта отражается поляризованною и въ тоже время равная часть поляризованнаго свѣта входитъ въ стекло. При надлежащемъ количествѣ пластинокъ поляризація чрезъ посяѣдовательныя отраженія можетъ стать почти *совершенною*. Если послѣ этого прибавлять еще больше пластинокъ, то отраженіе *совершенно прекращается* на ихъ поверхностяхъ и лучъ потомъ проходитъ *вполнѣ*.

### Поляризація свѣта чрезъ двойное преломленіе.

444. Въ послѣднемъ разсмотрѣнномъ нами случаѣ свѣтъ поляризуется обыкновеннымъ преломленіемъ. Мы уже касались поляризаціи свѣта двойнымъ преломленіемъ въ параграфахъ 432 и 433. Мы должны теперь изслѣдовать кристаллъ турмалина упомянутый тамъ и принять его въ соображеніе при изслѣдованіи другихъ кристалловъ.

445. Если лучъ свѣта прошедшій черезъ одну турмалиновую пластинку падаетъ на другую пластинку, то онъ проходитъ черезъ обѣ, если оси обѣихъ пластинокъ *параллельны*. Но если они перпендикулярны одна къ другой, тогда свѣтъ прошедшій черезъ одну пластинку погашается другою и темнота является на томъ мѣстѣ, гдѣ пластинки наложены одна на другую.

446. Если двѣ оси будутъ наклонны одна къ другой, то часть свѣта проходитъ черезъ обѣ пластинки. Потому что подобно разложенію силъ въ обыкновенной механикѣ наклонная вибрація можетъ быть разложена на двѣ, одну параллельную оси турмалина, и другую перпендикулярную его оси. Последняя *погашается*, а первая *проходитъ*.

447. Поэтому если оси двухъ пластинокъ турмалина лежатъ перпендикулярно одна къ другой, то третья пластинка



турмалина помѣщенная между ними *наклонно* или пластинка какого нибудь другого кристалла дѣйствующаго подобно турмалину пропуститъ часть луча вышедшаго изъ первого кристалла. Такъ какъ плоскость вибраціи этого луча наклонна къ оси втораго кристалла, то часть свѣта также пройдетъ черезъ послѣдній. Поэтому введеніемъ третьяго кристалла при наклонномъ положеніи его оси мы отчасти уничтожаемъ темноту пространства, гдѣ двѣ прямоугольныя пластинки наложены одна на другую.

### Исслѣдованіе свѣта прошедшаго черезъ исландскій шпатъ.

448. Мы теперь изслѣдуемъ посредствомъ турмалина обѣ части, на которыя раздѣляется лучъ при своемъ прохожденіи черезъ исландскій шпатъ.

449. Остановивши наше вниманіе на одномъ изъ двухъ лучей, мы тотчасъ же находимъ, что при извѣстномъ положеніи пластинки турмалина свѣтъ проходитъ свободно, между тѣмъ какъ при положеніи перпендикулярномъ къ этому онъ совершенно задерживается. Это доказываетъ, что лучъ выходящій изъ шпата *поляризованъ*.

450. По положенію турмалина мы можемъ тотчасъ же узнать направленіе вибрацій въ поляризованномъ свѣтѣ. Если прохожденіе совершается тогда, когда ось пластинки вертикальна, то вибраціи вертикальны; если же прохожденіе совершается тогда, когда турмалинъ горизонталенъ, то вибраціи горизонтальны. Тотъ же пріемъ изслѣдованія учитъ насъ, что и второй лучъ выходящій изъ шпата также поляризованъ.

451. Вибраціи частичекъ ээира въ двухъ лучахъ совершаются въ плоскостяхъ, которыя находятся *подъ прямымъ угломъ одна къ другой*. Если вибраціи въ одномъ лучѣ вертикальны, то въ другомъ лучѣ они горизонтальны. Пластинка турмалина при вертикальномъ положеніи ея оси пропускаетъ первый и останавливаетъ послѣдній; между тѣмъ



какъ таже пластинка помѣщонная горизонтально останавливаетъ первый и пропускаетъ послѣдній.

452. Турмалиновая пластинка помѣщонная при вертикальномъ положеніи ея оси передъ электрической лампой даетъ свое изображеніе отбрасываемое чечевицей на экранъ. Кусокъ исландскаго шпата съ одною изъ его плоскостей вибраціи горизонтальною и другою вертикальною помѣщенный передъ чечевицей раздѣляетъ лучъ на два и даетъ *два изображенія* турмалина. Одно изъ этихъ изображеній *свѣтлое*, а другое *темное*. Причина этого состоитъ въ томъ, что въ свѣтѣ выходящемъ изъ турмалина вибраціи вертикальны и они только могутъ проходить черезъ шпаты вмѣстѣ съ *его* вертикально вибрирующимъ лучомъ. Въ горизонтально же вибрирующемъ лучѣ турмалинъ долженъ казаться темнымъ.

453. Онъ также бываетъ темнымъ, если свѣтъ выходящій изъ него и окружающій его встрѣчаетъ подъ угломъ поляризаціи стеклянную пластинку, плоскость отраженія которой *вертикальна*; между тѣмъ какъ онъ бываетъ свѣтымъ, когда свѣтъ отражается *горизонтально*. Эти явленія суть слѣдствія закона поляризаціи черезъ отраженіе.

454. Не одни только кристаллическія тѣла обладаютъ этою способностью двойнаго преломленія и поляризаціи; но ее имѣютъ также всѣ тѣла съ такой атомической группировкой, при которой эфиръ внутри ихъ обладаетъ различными упругостями въ разныхъ направленіяхъ.

455. Такимъ образомъ органическія ткани обыкновенно даютъ двойное преломленіе. Дву-преломляющія свойства могутъ быть также сообщены обыкновенному стеклу посредствомъ растягиванія или сжиманія. Растягиваніе и сжиманіе происходящія отъ неравномѣрнаго нагрѣванія также производятъ двойное преломленіе. Быстро охлажденное стекло дѣйствуетъ какъ кристаллъ. Пластинка обыкновеннаго оконнаго стекла не обнаруживающая при обыкновенныхъ обстоятельствахъ и слѣдовъ двойнаго преломленія, если ее нагрѣть въ одной точкѣ, становится двупреломляющею вслѣдствіе расширенія и



сжиманія распространяющихся вокругъ нагрѣтой точки. Помѣщеніе какого нибудь изъ этихъ тѣлъ между *положенными накрестъ* пластинками турмалина уничтожаетъ отчасти темноту происходящую при наложеніи пластинокъ одна на другую.

456. Двѣ пластинки турмалина, между которыми могутъ быть помѣщаемы и изслѣдуемы поляризованнымъ свѣтомъ разныя тѣла, составляютъ простѣйшую форму *полярископа*. Пластика, въ которую первую входитъ свѣтъ, называется поляризаторомъ, а вторая пластика называется анализаторомъ.

457. Но турмалины не имѣютъ достаточной величины, обыкновенно бываютъ окрашены и никогда не могутъ дать напряженного луча поляризованнаго свѣта. Если бы одну изъ частей, на которыя призма исландскаго шпата раздѣляетъ лучъ свѣта, можно было уничтожить, то оставшійся лучъ былъ бы поляризованъ и вслѣдствіе прозрачности шпата онъ былъ бы гораздо напряженнѣе чѣмъ лучъ получаемый отъ турмалина.

458. Это и сдѣлалъ съ большимъ искусствомъ Николь. Онъ разрѣзалъ длинный параллелопипедъ на двѣ части весьма наклоннымъ разрѣзомъ, отполировалъ обѣ поверхности и склеилъ ихъ канадскимъ бальзамомъ. Преломляемость бальзама лежитъ между преломляемостями обыкновеннаго и необыкновеннаго лучей исландскаго шпата, будучи меньше чѣмъ первая и больше чѣмъ вторая. Если такимъ образомъ лучъ свѣта проходитъ вдоль параллелопипеда, то обыкновенный лучъ для того чтобы войти въ бальзамъ долженъ переходить изъ *болѣе плотной среды въ менѣе плотную*. Вслѣдствіе наклонности его паденія онъ *претерпѣваетъ полное отраженіе* и такимъ образомъ устраняется. Напротивъ необыкновенный лучъ, проходя изъ шпата въ бальзамъ, переходитъ изъ менѣе плотной въ болѣе плотную среду и онъ поэтому *проходитъ*. Такимъ способомъ мы получаемъ только одинъ лучъ поляризованнаго свѣта (См. парагр. 123, 141 и 142).

459. Параллелопипедъ приготовленный описаннымъ способомъ называется призмою Николя.



460. Призма Николя имѣетъ громадное употребленіе въ опытахъ съ поляризацией. Съ нею устраиваются лучшіе полярископы. Устраиваются еще также и отражательные полярископы состоящіе изъ двухъ стеклянныхъ пластинокъ, изъ которыхъ одна поляризуетъ свѣтъ отраженіемъ, а другая изслѣдуетъ поляризованный такимъ образомъ свѣтъ. Лучъ отраженный отъ поляризатора въ этомъ случаѣ отражается или погашается анализаторомъ, смотря по тому параллельны ли плоскости отраженія двухъ зеркалъ или перпендикулярны между собою.

### Цвѣта двупреломляющихъ кристалловъ въ поляризованномъ свѣтѣ.

461. Большую часть этихъ цвѣтовъ можно получить и изслѣдовать, если положить между поляризаторомъ и анализаторомъ полярископа тонкія пластинки гипса (кристаллическая сѣрно-кислая известь, обыкновенно называемая селенитомъ).

462. Кристаллъ этотъ распаивается или раскалывается съ большою легкостью въ одномъ направленіи и съ меньшею легкостью въ двухъ другихъ направленіяхъ; послѣднія двѣ спайности также не равны. Другими словами, гипсъ имѣетъ три плоскости спайности, между которыми нѣтъ двухъ равныхъ между собою по легкости, но одна особенно отличается своимъ совершенствомъ.

463. Слѣдуя по направленію этихъ трехъ спайностей, легко получить изъ кристалла ромбовидныя пластинки желаемой толщины.

464. Кристаллъ, какъ и слѣдовало ожидать по характеру его спайностей, есть двупреломляющій. Лучъ обыкновеннаго свѣта падающій подъ прямымъ угломъ на пластинку гипса, которой поверхность есть поверхность самой совершенной спайности, приводитъ свои вибраціи къ двумъ плоскостямъ перпендикулярнымъ между собою; т. е. лучъ, котораго эфиръ до вхожденія въ гипсъ вибрируетъ во всѣхъ



поперечныхъ направленіяхъ, послѣ вхожденія въ гипсъ и послѣ выхода изъ него вибрируетъ только въ двухъ перпендикулярныхъ направленіяхъ.

465. Упругость ээира различна въ этихъ двухъ перпендикулярныхъ направленіяхъ; слѣдовательно одинъ лучъ проходитъ быстрѣе черезъ гипсъ чѣмъ другой.

466. Въ преломляющихъ тѣлахъ вообще замедленіе свѣта состоитъ *въ уменьшеніи на половину волны свѣта*. Періоды вибрацій остаются неизмѣнными во время прехода черезъ двупреломляющее тѣло. Этотъ случай совершенно подобенъ тому, который бываетъ съ музыкальнымъ звукомъ переходящимъ изъ воздуха въ воду. Скорость уменьшается до одной четверти вслѣдствіе перехода, потому что длина волны уменьшается до одной четверти. Но *высота* звука зависящая отъ числа волнъ, которыя достигаютъ уха въ секунду, остается неизмѣнною.

467. Вслѣдствіе различія упругости между двумя перпендикулярными направленіями вибрацій въ гипсѣ волны ээира въ одномъ направленіи *укорачиваются больше чѣмъ въ другомъ*.

468. Въ опытахъ съ гипсовою пластинкою, которые будутъ теперь описываемы и объясняемы, мы будемъ употреблять какъ поляризаторъ кусокъ исландскаго шпата, одинъ изъ лучей котораго задерживается діафрагмой. Призма же Николя будетъ нашимъ анализаторомъ.

469. Когда плоскости вибраціи шпата и Николя совпадаютъ, то свѣтъ проходитъ черезъ ихъ обоихъ и можетъ быть принятъ на экранъ. Когда же плоскости вибраціи стоятъ подъ прямымъ угломъ между собою, то свѣтъ выходящій изъ шпата задерживается Николемъ и экранъ бываетъ темнымъ.

470. Если помѣститъ пластинку селенита между поляризаторомъ и анализаторомъ, такъ чтобы какая нибудь изъ ея плоскостей вибраціи совпадала съ плоскостью поляризатора или анализатора, то она не производитъ измѣненія на экранѣ. Если экранъ былъ свѣтлымъ, онъ остается свѣтлымъ; если онъ былъ темнымъ, то и остается темнымъ послѣ вве-



денія гипса, который дѣйствуетъ въ этомъ случаѣ какъ пластинка обыкновеннаго стекла.

471. Предположимъ, что экранъ темень. Когда мы вставимъ *толстую* пластинку гипса при направленіи ея вибраціи *наклонномъ* къ направленію поляризатора или анализатора, тогда на экранѣ получается *бѣлый* свѣтъ. Если же пластинка *тонкая*, то свѣтъ падающій на экранъ бываетъ *окрашеннымъ*. Если пластинка имѣетъ одинаковую толщину, то и цвѣтъ бываетъ однороднымъ. Если же толщина бываетъ различна или если при откалываніи тонкія чешуйки пристанутъ къ поверхности пластинки, то нѣкоторыя части пластинки будутъ окрашены отлично отъ остальныхъ.

472. Когда употребляются толстыя пластинки, то различные цвѣта, какъ это было въ явленіяхъ цвѣтовъ тонкихъ пластинокъ, накладываются одинъ на другой и соединяются въ бѣлый цвѣтъ.

473. Количество свѣта достигающее глаза бываетъ максимумъ, когда плоскости вибраціи гипса образуютъ уголъ въ  $45^\circ$  съ плоскостями поляризатора и анализатора.

474. Если пластинка селенита будетъ тонкимъ клиномъ и если свѣтъ будетъ монохроматиченъ, напр. красный, то на экранѣ получатся попеременно свѣтлыя (красныя) и темныя полосы.

475. Если вмѣсто краснаго свѣта будетъ употребленъ *голубой*, то окажется, что голубыя полосы получаютъ на меньшихъ толщинахъ чѣмъ толщины дающія красныя полосы: другіе цвѣта получаютъ на промежуточныхъ толщинахъ. По этому когда употребляется *бѣлый* свѣтъ, то вмѣсто ясныхъ полосъ отдѣленныхъ одна отъ другой темными полосами мы имѣемъ рядъ радужно окрашенныхъ полосъ.

476. Если вмѣсто клина постоянно увеличивающагося въ толщинѣ отъ одного конца къ другому мы возьмемъ кружокъ постоянно увеличивающійся въ толщинѣ отъ центра къ окружности, то вмѣсто ряда параллельныхъ полосъ мы получимъ при подобныхъ обстоятельствахъ въ *бѣломъ* свѣтѣ рядъ концентрическихъ радужно окрашенныхъ круговъ.



477. Здѣсь мы имѣемъ прежде всего лучъ поляризованнаго свѣта падающій на селенитъ. Направленіе vibraцій этого луча раздѣляется на два другія направленія перпендикулярныя между собою; именно на два направленія, по которымъ вибрируетъ эфиръ внутри кристалла. Одна изъ этихъ системъ волнъ замедляется относительно другой.

478. Но до тѣхъ поръ пока лучи вибрируютъ *перпендикулярно между собою*, они не могутъ интерферировать, такъ чтобы увеличить или уменьшить свою напряженность. Чтобы произошла такая интерференція, лучи должны вибрировать *въ одной и той же плоскости*.

479. Функція анализатора и состоитъ въ томъ, чтобы привести двѣ перпендикулярныя системы волнъ въ одну плоскость. Тогда тотчасъ же чувствуется дѣйствіе замедленія и волны или содѣйствуютъ или противодѣйствуютъ одна другой, смотря по тому, находятся ли ихъ vibraціи *въ одной и той же фазѣ* или *въ противоположныхъ фазахъ*.

480. Если плоскости vibraціи поляризатора и анализатора *параллельны*, то при толщинѣ гипсового кристалла производящей замедленіе на *полволны* анализаторъ погаситъ свѣтъ.

481. Если же поляризаторъ и анализаторъ *стоятъ на крестѣ*, то замедленіе на полволны или на какое нибудь нечетное число полуволнъ внутри кристалла не произведетъ погашенія, когда эти vibraціи соединяются анализаторомъ. Замедленіе на цѣлую волну или на какое нибудь число полныхъ волнъ производитъ въ этомъ случаѣ погашеніе. Это есть понятное слѣдствіе соединенія vibraцій.

482. Выражаясь вообще, явленія обнаруживающіяся тогда, когда анализаторъ и поляризаторъ бываютъ параллельны или перпендикулярны между собою, — *дополнительны*. Если поле было темно при ихъ перпендикулярномъ положеніи, то оно становится свѣтлымъ при ихъ параллельномъ положеніи. Если поле было зелено, когда они стояли перпендикулярно, то оно сдѣлается краснымъ, когда они станутъ параллельно; если было жолто при перпендикулярномъ положеніи, то



будетъ голубымъ при параллельномъ положеніи. Такимъ образомъ поворачиваніе на  $90^\circ$  всегда производитъ дополнительный свѣтъ.

483. Если вмѣсто призмы Николя мы употребимъ двупреломляющую призму исландскаго шпата, то цвѣта селенита произведенные двумя противоположно поляризованными лучами будутъ дополнительными. Наложеніе цвѣтовъ одинъ на другой всегда даетъ *бѣлый*. Всякое другое двупреломляющее вещество, кристаллическое или органическое, сжатое или растянутое механически, при изслѣдованіи его въ поляризованномъ свѣтѣ представляетъ такія же явленія какъ и гипсъ.

484. Обыкновенный лучъ свѣта эквивалентенъ во всѣхъ своихъ дѣйствіяхъ двумъ лучамъ вибрирующимъ въ двухъ перпендикулярныхъ плоскостяхъ. Такъ какъ такіе лучи не могутъ интерферироваться, то мы и не можемъ получить цвѣтовъ селенита въ обыкновенномъ свѣтѣ.

### Кольца окружающія оси кристалловъ въ поляризованномъ свѣтѣ.

485. Пучокъ лучей идущихъ вдоль оси исландскаго шпата не подвергается раздѣленію; но если онъ наклоненъ къ оси хотя немного, то раздѣляется на два, которые вибрируютъ въ перпендикулярныхъ плоскостяхъ и изъ которыхъ одинъ болѣе замедленъ, чѣмъ другой.

486. Если падающій лучъ поляризованъ, то выходя изъ шпата наклонно къ оси, онъ будетъ находиться въ состояніи подобномъ состоянію свѣта выходящаго изъ пластинокъ гипса и описаннаго выше. Если двѣ перпендикулярныя вибраціи проходящія черезъ одинъ и тотъ же эфиръ сводятся анализаторомъ въ одну плоскость, то совершается интерференція; два луча или содѣйствуютъ или противодѣйствуютъ другъ другу.

487. Содѣйствуютъ ли они или противодѣйствуютъ, это зависитъ отъ количества относительнаго замедленія, а это въ свою очередь зависитъ отъ толщины шпата проходимаго



обоими лучами. Если они содѣйствуютъ при извѣстной толщинѣ, то они также будутъ содѣйствовать при толщинѣ вдвое больше этой, втрое большей и т. д. Эти толщины, при которыхъ лучи содѣйствуютъ другъ другу, раздѣлены другими толщинами, при которыхъ они противодѣйствуютъ другъ другу.

488. Коническій пучокъ, котораго центральный лучъ проходитъ *вдоль* оси, производитъ симметрическія дѣйствія вокругъ оси; и если кристаллъ освѣщенный такимъ лучомъ изслѣдовать въ монохроматическомъ поляризованномъ свѣтѣ, то мы увидимъ рядъ свѣтлыхъ и темныхъ круговъ окружающихъ ось.

489. Когда свѣтъ красенъ, то круги бываютъ больше, чѣмъ тогда, когда свѣтъ голубой; чѣмъ меньше длина волны, тѣмъ меньше круги. Поэтому такъ какъ различные цвѣта не накладываются другъ на друга, то когда употребляется *бѣлый* свѣтъ, тогда вмѣсто полосъ перемежающейся ясности и темноты мы имѣемъ рядъ *радужно-окрашенныхъ круговъ*.

Когда поляризаторъ и анализаторъ стоятъ перпендикулярно, то система полосъ пересѣкается *чорнымъ крестомъ*, котораго плечи параллельны плоскостямъ вибраціи поляризатора и анализатора. Тѣ лучи, плоскости вибрацій которыхъ въ кристаллѣ совпадаютъ съ плоскостями поляризатора или анализатора, *не могутъ пройти ни черезъ ту ни черезъ другую* и ихъ полная задержка образуетъ два плеча креста. Тѣ лучи, плоскости вибрацій которыхъ образуютъ уголъ въ  $45^\circ$  съ плоскостями поляризатора и анализатора, производятъ наибольшій эффектъ, когда они содѣйствуютъ другъ другу. При этомъ наклоненіи свѣтлое кольцо имѣетъ максимумъ своего блеска, а направо и налѣво отъ него оно становится слабѣе, пока наконецъ не перейдетъ въ темноту креста.

490. Поворачиваніе на  $90^\circ$  производитъ здѣсь, какъ и въ другихъ случаяхъ, дополнительныя явленія: чорный крестъ становится бѣлымъ и круги измѣняютъ свои цвѣта въ дополнительные.

491. Въ кристаллахъ обладающихъ двумя оптическими



осями рядъ радужно окрашенныхъ полосъ окружаетъ обѣ оси, и каждая полоса образуетъ кривую, которую ея открыватель, Яковъ Бернулли, назвалъ *лемнискатой*.

### Эллиптическая и круговая поляризація.

492. Два луча свѣта вибрирующіе *перпендикулярно между собою*, какъ бы одна система вибрацій ни была замедлена относительно другой, не могутъ какъ уже было сказано, интерферироваться такъ, чтобы произвести увеличеніе или уменьшеніе свѣта.

493. Но хотя *напряженность* остается неизмѣнною, однако лучи дѣйствуютъ другъ на друга. Если одинъ изъ нихъ отличается отъ другаго какимъ нибудь точнымъ числомъ полуволнъ, то два луча соединяются въ одну *прямолинейную* вибрацію. Во всѣхъ другихъ случаяхъ составная вибрація есть *эллиптическая*; въ одномъ особенномъ случаѣ эллипсисъ, по которому движутся отдѣльныя частички эѳира, обращается *въ кругъ*. Это случается тогда, когда одна система волнъ замедляется противъ другой въ точности на четверть вибраціи; мы имѣемъ тогда *круговую поляризацію*.

494. Это соединеніе эѳирныхъ вибрацій есть въ механическомъ отношеніи тоже самое, что соединеніе вибрацій обыкновеннаго маятника или соединеніе вибрацій двухъ перпендикулярныхъ камертоновъ по методѣ Лиссажу \*).

495. Эллиптическая поляризація есть *правило*, а не *исключеніе*. Она особенно обнаруживается въ отраженіи отъ металловъ и отъ прозрачныхъ тѣлъ, которыя имѣютъ высокій показатель преломленія. Жаменъ открылъ ее въ свѣтѣ отраженномъ отъ всѣхъ тѣлъ.

\*) См. Lectures on Sound, 1 st. ed p. 307. Это сочиненіе Тиндала есть на русскомъ языкѣ и опытъ, на который дѣлается иссылка, описанъ на стр. 356 и слѣд.



## Вращательная поляризація.

495. Поляризованный лучъ монохроматическаго свѣта, какъ уже было сказано, не претерпѣваетъ никакого измѣненія во время прохожденія своего черезъ исландскій шпатель въ направленіи оптической оси.

497. Но если онъ проходитъ черезъ *горный хрусталь* (кварцъ) въ направленіи оптической оси, то этотъ кристаллъ поворачиваетъ плоскость поляризаціи. Предположимъ, что поляризаторъ и анализаторъ полярископа стоятъ перпендикулярно, такъ что произведутъ совершенную темноту, когда между ними не будетъ кристалла. Но если между ними помѣстить кристаллъ, то свѣтъ будетъ проходить и чтобы потушить его, нужно повернуть анализаторъ въ новое положеніе. Уголъ, на который повертывается анализаторъ, и есть *мѣра вращенія плоскости вибраціи*.

498. Нѣкоторые образцы горнаго хрустала поворачиваютъ плоскость вибраціи вправо, а другіе влево. Первые называются *правыми*, а вторые *лѣвыми* кристаллами. Серъ Джонъ Гершель связалъ это оптическое различіе съ видимымъ различіемъ въ кристаллической формѣ.

499. Въ знаменитомъ опытѣ Фаредея съ стеклянной полосой плоскость вибраціи поворачивалась отъ дѣйствія магнита и электрическаго тока; и направленіе вращенія имѣло постоянное отношеніе къ полярности магнита и къ направленію тока.

500. Предметъ вращательной поляризаціи былъ изслѣдованъ съ большою тщательностью и полнотою Біо и онъ установилъ нѣкоторые законы относительно ея, изъ которыхъ два мы приведемъ здѣсь.

1. Количество вращенія пропорціонально толщинѣ пластинки горнаго хрустала.

2. Вращеніе плоскости вибраціи различно для различныхъ лучей спектра и увеличивается вмѣстѣ съ преломляемостью свѣта.

Такимъ образомъ съ пластинкой горнаго хрустала въ



одинъ миллиметръ толщины онъ получилъ слѣдующія вращенія для среднихъ лучей соотвѣтствующихъ цвѣтовъ спектра.

|                   |                  |                 |
|-------------------|------------------|-----------------|
| Красный . . . 19° | Зеленый. . . 28° | Синій . . . 36° |
| Оранжевый . 21°   | Голубой. . . 32° | Фиолетовый 41°. |
| Жолтый . . . 23°  |                  |                 |

При пластинкѣ въ два миллиметра толщины вращеніе для краснаго 38°, а для фиолетоваго 82°.

501. Поэтому, такъ какъ лучи разныхъ цвѣтовъ выходятъ изъ горнаго хрустала, вибрируя въ различныхъ плоскостяхъ, то когда на анализаторъ падаетъ бѣлый свѣтъ, тогда *проходитъ* только тотъ цвѣтъ, плоскости вибрацій котораго совпадаютъ съ плоскостью анализатора. Повертывая анализаторъ, мы даемъ возможность проходить послѣдовательно и другимъ цвѣтамъ.

502. Явленія вращательной поляризаціи производятся *интерференціей* двухъ круговъ поляризованныхъ пучковъ свѣта, которые распространяются вдоль оси съ неравными скоростями, одинъ поворачиваясь слѣва на право, а другой въ противоположномъ направленіи \*).

### Заключеніе.

Въ этихъ лекціяхъ я старался представить вамъ взгляды на сущность свѣта раздѣляемые въ настоящее время всѣми знаменитыми научными мыслителями. Я старался сколько возможно яснѣе представить вамъ смѣлую теорію, по которой пространство наполнено упругимъ веществомъ, способнымъ передавать движенія свѣта и теплоты. И посмотрите, какъ невозможно избѣжать этой или подобной теоріи, какъ невозможно не приписывать свѣту въ пространствѣ *матеріальнаго основанія*. Солнечный свѣтъ и теплота требуютъ около 8 минутъ на прохожденіе отъ солнца до земли. Въ теченіи этого времени свѣтъ и теплота отдѣлены какъ отъ солнца, такъ и отъ земли. Вообразите себѣ, что

\*) Ллойдъ, Wave Theory, p. 199 et caet.



часть промежуточного между ними пространства—положимъ кубическая миля—занята въ извѣстный моментъ свѣтомъ и теплотой. Спросимъ себя, что такое эти свѣтъ и теплота. Чтобы дойти до рѣшенія этого вопроса, мы должны прежде всего узнать, *что они могутъ дѣлать?* Мы можемъ знать вещи только по ихъ *дѣйствіямъ*. Итакъ каковы тѣ дѣйствія, которыя можетъ произвести кубическая миля свѣта и теплоты? На землѣ мы можемъ подвергать ихъ экспериментамъ и находимъ, что они способны производить *движеніе*. Мы можемъ заставить ихъ поднимать тяжести, можемъ съ помощью ихъ вертѣть колеса, двигать ими локомотивы и бросать огнестрѣльные снаряды. Послѣ этого къ какому же другому заключенію мы можемъ придти какъ не къ тому, что свѣтъ и теплота производящія такимъ образомъ движеніе *сами суть движеніе* \*).

Такимъ образомъ наша кубическая миля пространства въ теченіи извѣстнаго измѣримаго времени бываетъ передатчицею движенія. Но можетъ ли человѣческій умъ представить себѣ движеніе, не представляя въ то же время чего нибудь движущагося? Конечно нѣтъ. Самое понятіе движенія необходимо заключаетъ въ себѣ понятіе движущагося тѣла. Что же бываетъ этимъ движущимся тѣломъ въ нашей кубической милѣ солнца? Волнообразная теорія отвѣчаетъ, что это есть вещество съ опредѣленными механическими свойствами, тѣло, которое можетъ быть имѣть форму обыкновенной матеріи, а можетъ быть и не имѣть ея и которому, каково бы оно ни было, мы даемъ названіе *ээира*. Не будемъ допускать ни малѣйшей неопредѣленности; потому что самая дурная услуга, какую мы можемъ оказать наукѣ и самое вѣрнѣйшее средство дать долгую живучесть ошибкамъ состоятъ въ томъ, когда научныя теоріи облачаютъ неопредѣленностью. Движеніе *ээира*, сообщаясь матеріальнымъ веществамъ, приводитъ ихъ въ движеніе. Такимъ образомъ

---

\*) Серъ Вильямъ Томсонъ пытался вычислить «механическую силу кубической мили солнечнаго свѣта».



эфиръ самъ есть *матеріальное вещество*, потому что мы не знаемъ, чтобы въ природѣ что нибудь другое кромѣ матеріальнаго вещества могло приводить въ движеніе другія вещества матеріальныя же. Для эфира возможны два рода движенія. Или онъ переносится черезъ пространство какъ *пуля* или онъ бываетъ *передавателемъ волнообразнаго движенія*. Теорія перенесенія, хотя она была высказана Ньютономъ и поддерживалась такими людьми, какъ Лапласъ, Біо, Брюстеръ и Малюсъ, погибла безнадежно. Такимъ образомъ намъ остается принять волнообразное движеніе того или другаго рода. Но какимъ образомъ волнообразная теорія объясняетъ явленія? Въ большей части этихъ лекцій мы видѣли отвѣты на этотъ вопросъ. Случаи изложенные передъ вами представляютъ собою только *образчики*. Тысячи фактовъ можно привести для разъясненія каждаго изъ нихъ и ни одинъ изъ этихъ фактовъ не останется необъясненнымъ по волнообразной теоріи. Она объясняетъ всѣ явленія отраженія, всѣ явленія преломленія, одиночнаго и двойнаго; всѣ явленія разсѣянія; всѣ явленія диффракціи; цвѣта толстыхъ и тонкихъ пластинокъ, также какъ цвѣта всѣхъ естественныхъ тѣлъ. Она объясняетъ всѣ явленія поляризаціи; всѣ удивительныя и блестящія цвѣтныя явленія, представляемыя кристаллами въ поляризованномъ свѣтѣ. Тысячи отдѣльных фактовъ, какъ я сказалъ, могутъ быть подведены подъ каждую изъ категорій указанныхъ явленій и волнообразная теорія объясняетъ ихъ всѣ. Она пролагаетъ освѣщенную дорогу даже тамъ, гдѣ безъ нея человѣческій умъ запутался бы среди самой непроходимой дебри явленій. Вотъ почему самыя передовые люди вѣка принимаютъ эфиръ не какъ неопредѣленную мечту, но какъ дѣйствительную реальность—вещество одаренное *инерціей* и способное согласно съ установленными въ наукѣ законами движенія сообщать свои сотрясенія другимъ веществамъ. Если есть въ новой наукѣ самое прочно установившееся понятіе, то это понятіе о томъ, что теплота есть видъ движенія. Теперь спрашивается, какимъ образомъ огромное количество механической энергіи,

\*



передаваемой въ формѣ теплоты достигаетъ отъ солнца до земли? Передавателемъ ея должна быть *матерія*, и такая матерія по волнообразной теоріи есть свѣтоносный эфиръ.

Томасъ Юнгъ никогда не видѣлъ своими глазами волнъ звука; но онъ имѣлъ воображеніе, которое представило ихъ и умъ, который изслѣдовалъ ихъ. И отъ изслѣдованія невидимыхъ волнъ воздуха онъ возвысился до изслѣдованія невидимыхъ волнъ эфира; его вѣра въ послѣднія, если только она была слабѣе, то весьма немногимъ слабѣе его вѣры въ первыя. Одно его выраженіе показываетъ совершенную опредѣленность его представлений. Чтобы объяснить абerraцію свѣта, онъ считалъ необходимымъ признавать, что эфиръ окружающій землю не участвуетъ въ движеніи нашей планеты по пространству. Онъ говорилъ: «Эфиръ проходитъ черезъ твердую массу земли, какъ вѣтеръ проходитъ черезъ рощу деревьевъ». Профессоръ Стоксъ показалъ, что нѣтъ надобности въ этомъ смѣломъ предположеніи и доказалъ, что если принять въ эфирѣ свойства аналогичныя съ свойствами твердыхъ упругихъ тѣлъ, то можно объяснить абerraцію, не прибѣгая къ тому предположенію, что земля такимъ образомъ проницаема. Стоксъ также твердо вѣритъ въ эфиръ, какъ вѣрилъ Юнгъ.

Я могу прибавить, что одинъ изъ самыхъ искусныхъ экспериментаторовъ во Франціи и членъ института, Физо, нѣсколько лѣтъ назадъ взялся опредѣлить, дѣйствительно ли движущееся тѣло влечотъ съ собою эфиръ въ своемъ движеніи. Онъ пришолъ къ тому заключенію, что *часть эфира* пристаетъ къ частицамъ тѣла и переносится вмѣстѣ съ ними. Вѣрно ли или невѣрно это заключеніе, но одинъ уже тотъ фактъ, что подобные опыты были предприняты такимъ человекомъ, показываетъ, какую опредѣленность имѣетъ это представленіе эфира у самыхъ знаменитыхъ ученыхъ дѣятелей.

Но стараясь представить передъ вами со всевозможною ясностью основаніе волнообразной теоріи, не желаю ли я закрыть ваши глаза на всякое возраженіе противъ



вѣрности ея? Вовсе нѣтъ. Вы можете сказать и сказать совершенно справедливо, что сто лѣтъ назадъ другая теорія раздѣлялась самыми знаменитыми людьми и что подобно тому какъ тогдашняя теорія пала и нынѣшняя волнообразная теорія можетъ пасть. Это совершенно логично. Точно также кто нибудь во время Ньютона и даже въ наше время могъ бы разсуждать такимъ образомъ: великій Птолемей и множество великихъ людей послѣ него вѣрили, что земля есть центръ солнечной системы. Но теорія Птолемея оказалась несостоятельною и теорія тяготѣнія въ свою очередь также можетъ оказаться несостоятельною. Этотъ аргументъ столь же логиченъ какъ и первый. Сила теоріи тяготѣнія заключается въ томъ, что она можетъ объяснить всѣ явленія солнечной системы; и какъ прочна эта теорія, это понимаютъ тѣ, которые слышали въ этой же залѣ ясное изложеніе профессоромъ Грантомъ всѣхъ явленій, которыя она объясняетъ. На такомъ же совершенно основаніи утверждается и волнообразная теорія свѣта; только явленія объясняемые ею гораздо болѣе разнообразны и сложны чѣмъ явленія тяготѣнія. Вы считаете, и совершенно справедливо, открытіе Нептуна триумфомъ теоріи. Руководимые ею Адамсъ и Леверрье вычислили положеніе планетной массы способной произвести возмущенія Урана. Леверрье сообщилъ результатъ своихъ вычисленій Галлю въ Берлинѣ; и въ ту же ночь Галле направилъ телескопъ берлинской обсерваторіи на часть неба указанную Леверрье и нашолъ тамъ планету въ 36,000 миль въ діаметрѣ.

Случилось также, что и волнообразная теорія имѣла своего Нептуна. Френель опредѣлилъ математическое выраженіе для поверхности волнъ въ кристаллахъ имѣющихъ двѣ оптическія оси; но онъ кажется не представлялъ никакого другаго преломленія въ такихъ кристаллахъ, кромѣ двойнаго преломленія. Въ то время какъ предметъ находился въ такомъ положеніи, покойный серъ Вильямъ Гамильтонъ изъ Дублина, глубокій математикъ, взялся за него и доказалъ, что теорія приводитъ къ тому заключенію, что для четырехъ



особенныхъ точекъ поверхности волны лучъ раздѣляется не на *два* части, но на *безконечное число частей*, образуя въ этихъ точкахъ непрерывную коническую оболочку вмѣсто двухъ изображеній. Никакой человѣческій глазъ не видалъ этой оболочки до того времени, когда серъ Вильямъ Гамильтонъ вывелъ заключеніе объ ея существованіи. Если теорія тяготѣнія вѣрна, сказалъ Леверрье Галлю, то планета должна быть тамъ: если теорія волнообразныхъ движеній вѣрна, сказалъ серъ Вильямъ Гамильтонъ Ллойдю, то свѣтовая оболочка должна быть. Ллойдъ взялъ кристаллъ аррагонита и слѣдя съ скрупулезною точностью за указаніями теоріи открылъ оболочку, которая была только представленіемъ въ умѣ математика. Какова бы ни была сила, которую придало теоріи тяготѣнія открытіе Нептуна, но она равна силѣ, которую сообщило волнообразной теоріи открытіе *конического преломленія*.

---

*Примѣчаніе.* Я настоятельно рекомендую для изученія статью о свѣтѣ, помѣщенную въ «Familiar Lectures on Scientific Subjects» сэра Джона Гершеля. Д. Т.

---



**ОБЪ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХЪ ЯВЛЕНІЯХЪ**

**И**

**ТЕОРІЯХЪ.**



# ОБЪ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХЪ ЯВЛЕНІЯХЪ И ТЕО- РІЯХЪ.

---

## Вольтово электричество: вольтова батарея.

1. Если два куска одного металла (напр. чистаго цинка или чистой платины) погрузить въ воду, которая была подкислена прибавленіемъ небольшого количества сѣрной кислоты, то подкисленная вода не дѣйствуетъ ни на одинъ металлъ.

На обыкновенный продажный цинкъ, нечистый вслѣдствіе примѣси къ нему другихъ металловъ, кислота можетъ дѣйствовать. Однако и его можно сдѣлать недоступнымъ для дѣйствія кислоты, если покрыть его поверхность ртутью. Цинкъ растворяется ртутью, отдѣляется отъ своихъ нечистотъ и тогда уже вводится въ кислую жидкость. Этотъ процессъ называется *амальгамаціей*.

2. Если два куска различныхъ металловъ (напр. чистый цинкъ и платину) погрузить въ подкисленную воду, то не получается никакого замѣтнаго дѣйствія *во все время пока металлы не касаются другъ друга*; но въ тотъ моментъ, когда они коснутся и во все время, пока они нахо-



дятся въ соприкосновеніи, окисленная вода дѣйствуетъ на цинкъ и растворяетъ его и въ то же время съ поверхности платины поднимаются пузырьки газа.

3. Если собрать этотъ газъ, то окажется, что онъ имѣетъ удѣльный вѣсъ водорода; подобно водороду онъ также горитъ на воздухѣ. Дѣйствительно вода разлагается соприкасающимися металлами; ея кислородъ соединяется съ цинкомъ и образуетъ окись цинка, тогда какъ водородъ уходитъ съ платины.

4. Если два металла будутъ только частью погружены въ подкисленную воду, то все равно, совершается ли соприкосновеніе *внутри* жидкости или *внѣ* ея. Эффектъ въ обоихъ случаяхъ есть разложеніе воды, раствореніе цинка и выдѣленіе водороднаго газа.

5. Когда два не вполне погруженные металла соединены внѣ жидкости длинной проволокой (положимъ мѣдной), то эффектъ бываетъ такой же, какъ еслибы они соприкасались прямо. Въ обоихъ случаяхъ образуется *цѣпь*, какъ выражаются, состоящая изъ двухъ металловъ и жидкости. Въ послѣднемъ случаѣ говорятъ, что мѣдная проволока дополняетъ цѣпь.

Для этихъ опытовъ употребляется кусокъ платины и кусокъ амальгмированного цинка. Жидкость помещается въ стеклянный сосудъ съ параллельными стѣнками, черезъ который пропускается пучокъ свѣта и посредствомъ чечевицы увеличенное изображеніе сосуда и двухъ кусковъ въ немъ отбрасывается на экранъ. Такимъ образомъ бываютъ ясно видны химическое дѣйствіе слѣдующее за соприкосновеніемъ металловъ или за дополненіемъ цѣпи проволокой и прекращеніе его, когда соприкосновеніе прервано.

6. О проволоку говорится, что она есть проводникъ *электрическаго тока*, который течетъ по цѣпи. Онъ называется также вольтовымъ токомъ, потому что описываемыя нами дѣйствія были открыты знаменитымъ итальянскимъ естествоиспытателемъ, Вольтою. Эти термины однако не даютъ намъ еще никакого понятія. Наше единственное дѣло въ настоящую лекцію состоитъ въ томъ, чтобы изслѣдовать проволоку,



которая дополняетъ или замыкаетъ цѣпь и опредѣлить, чѣмъ она отличается отъ обыкновенной проволоки.

7. И чтобы намъ сдѣлать это съ успѣхомъ, мы должны употребить приборъ состоящій изъ соединенія цинковыхъ и платиновыхъ пластинокъ и кислотъ и называющійся вольтовой батареей. Мы впослѣдствіи рассмотримъ эту батарею и опредѣлимъ, что совершается въ ней. Въ настоящее же время, какъ уже сказано, мы ограничимся только изслѣдованіемъ проволоки, которая замыкаетъ цѣпь внѣ батареи.

### Электромагнетизмъ: элементарныя явленія.

8. Если мы прервемъ цѣпь и опустимъ проволоку въ желѣзныя опилки, то она не обнаружитъ на нихъ притягательнаго дѣйствія. Когда же мы замкнемъ токъ и снова опустимъ проволоку въ опилки, то они скучиваются вокругъ нея и пристають къ ней. Если проволоку вынуть изъ опилокъ, то они образуютъ оболочку вокругъ нея. Но если цѣпь прервать, то въ тотъ же моментъ опилки отпадаютъ.

9. Если проволоку отдѣлить отъ пластинокъ платины и цинка и протянуть ее подъ магнитной стрѣлкой и параллельно ей, тогда не обнаруживается никакого дѣйствія; но если проволоку протянутую подъ магнитомъ ввести въ вольтовую цѣпь, то магнитъ отклоняется отъ магнитнаго меридіана. Это есть открытіе Эрштеда.

10. На глазъ проволока, если она достаточно толста, не измѣняется отъ соединенія съ цинкомъ и платиной. Но если вмѣсто толстой мѣдной проволоки взять тонкую платиновую, то она замѣтно нагрѣвается и можетъ даже нагрѣться до яркаго каленія. Такимъ образомъ проволока должна быть проводникомъ какой то силы или какого то состоянія, которое можетъ произвести магнетическія и тепловыя явленія.

11. Если ничѣмъ непокрытую проволоку составляющую часть вольтовой цѣпи навить на желѣзный пруть, то сила, про-



водникомъ которой служить проволока, большею частью сообщается желѣзу, которое также становится частью цѣпи.

12. Но если проволоку обвить бумагою или еще лучше шолкомъ, то этимъ предупреждается сообщеніе силы отъ проволоки желѣзному пруту. Проволоку можно навить на прутъ, но сила всетаки переходитъ послѣдовательно по всѣмъ оборотамъ проволоки. Здѣсь желѣзо вовсе не входитъ въ цѣпь.

13. Но хотя оно и не входитъ въ цѣпь, однако сильно возбуждается обвивающею его проволокою. Каждый оборотъ проволоки вызываетъ извѣстное количество *магнетизма* въ желѣзномъ прутѣ; и сдѣлавши достаточное количество оборотовъ, можно такимъ образомъ получить магнитъ громадной силы. Это примѣненіе изъ открытія Араго сдѣлалъ Стуржонъ.

14. Такой магнитъ называется электро-магнитомъ для отличія его отъ обыкновенныхъ постоянныхъ стальныхъ магнитовъ. Когда цѣпь прервана, то сила электро-магнита прекращается. Онъ тогда изъ высшей степени возбужденнаго состоянія приходитъ въ состояніе обыкновеннаго желѣза.

15. Для электромагнитныхъ цѣлей покрытая проволока обыкновенно наматывается на полую катушку и иногда на одинъ слой оборотовъ наматывается нѣсколько другихъ. Въ этомъ видѣ она называется *электро-магнитной улиткой* (или спиралью). Желѣзный прутъ, который долженъ намагничиваться, помѣщается внутри улитки, образуя ея стержень. Электро-магнитъ дѣлается прямой или же ему даютъ форму подковы, а иногда и другія формы.

16. Гладкій кусокъ желѣза приставляемый къ концамъ или полюсамъ подковообразнаго магнита называется *арматурой*, а иногда *подъ-магнитомъ*.

17. Нѣтъ надобности, чтобы обороты спирали находились близко къ намагничиваемому стержню. Катушка напр. съ діаметромъ въ одинъ ярдъ, на которую навита покрытая проволока, намагничиваетъ желѣзный прутъ помѣщенный внутри ея въ центрѣ. Въ этомъ случаѣ намагничиваемое тѣло отстоитъ отъ намагничивающей проволоки почти на 18



дюймовъ. Какимъ же образомъ сила передается отъ послѣдней къ первому? Есть ли это дѣйствіе на разстояніи или же оно требуетъ среды для своего распространенія? Я не знаю. Вопросъ этотъ въ настоящее время глубоко интересуетъ естествоиспытателей.

18. Если покрытую проволоку составляющую часть вольтовой цѣпи обвить вокругъ желѣзнаго прута ближе къ одному изъ его концовъ, то возбужденіе распространяется вдоль прута къ отдаленному концу. По мѣрѣ того какъ увеличивается число оборотовъ проволоки, усиливается и притягательная способность отдаленнаго конца. Снимая обороты прочь, мы замѣчаемъ постепенное паденіе магнетизма. Этотъ процессъ болѣе или менѣе походитъ на проведеніе теплоты. Увеличеніе числа оборотовъ соотвѣтствуетъ возрастанію температуры, и сниманіе оборотовъ соотвѣтствуетъ охлажденію конца прута.

### Электро-магнитныя машины.

19. Если конецъ желѣзнаго цилиндра ввести только на небольшое разстояніе въ электромагнитную улитку, то по замыканіи тока на него начинаетъ дѣйствовать сила всасыванія стремящаяся втянуть его въ улитку. Педжъ воспользовался этой силой для устройства электромагнитныхъ машинъ.

Для этихъ опытовъ употреблены были на лекціи полые желѣзные цилиндры свободно входящіе въ улитку. Только конецъ цилиндровъ вводится въ улитку; но по замыканіи тока цилиндры быстро и сильно втягивались въ нее.

20. Другіе же примѣнили къ дѣлу механически притяженіе оказываемое электромагнитами на желѣзные куски. Знаменитый электромеханикъ Фроманъ произвелъ такимъ образомъ вращательное движеніе. Рядъ электромагнитовъ былъ расположенъ такимъ образомъ, что ихъ полюсы находились другъ противъ друга вдоль окружности круга; и рядъ поперечныхъ кусковъ желѣзныхъ былъ соединенъ такимъ обра-



зомъ, что каждый изъ нихъ могъ послѣдовательно приближаться къ полюсамъ и вращать механизмъ. Когда цѣпь замыкалась, эти куски притягивались, сообщая движенье механизму. Куски, достигши полюсовъ, которые притягивали ихъ, вдругъ переставали быть притягиваемыми; магнетизмъ временно прекращался, чтобы дать возможность каждому куску подвинуться впередъ съ сообщенною ему скоростью къ слѣдующей парѣ притягивающихъ полюсовъ. По достиженіи ихъ магнетизмъ снова временно прекращался. Такимъ образомъ куски *никогда не отталкивались назадъ*; и этимъ способомъ поддерживалось непрерывное вращательное движенье.

21. Это вращательное движенье можно употребить для разныхъ цѣлей, напр. для накачиванія воды, для пилки дерева или для вбиванія свай.

Для объясненія этого на лекціи была показана одна изъ электромагнитныхъ машинъ Фромана съ ея примѣненіями для водокачанія и для вбиванія свай.

### **Физическія дѣйствія намагничиванія.**

22. Звукъ есть одно изъ физическихъ дѣйствій сопровождающихъ быстрое намагничиваніе и быстрое размагничиваніе. Ухо помощное близъ намагничиваемаго желѣза слышитъ звукъ въ тотъ моментъ, когда цѣпь вокругъ него замыкается. Такой же звукъ слышенъ и тогда, когда цѣпь прерывается. Это открытіе Педжа. Употребляя прерыватель соприкосновенія, можно получить быстрый рядъ намагничиваній и размагничиваній желѣза; звуки происходяшіе при этомъ могутъ быть слышны для нѣсколькихъ сотъ людей.

Кочерга изъ хорошаго мягкаго желѣза помѣщенная внутри электромагнитной улитки и поддерживаемая на обоихъ концахъ деревянными подставками производитъ весьма хорошій эффектъ. Звуки могутъ быть даже музыкальными.

23. Когда желѣзный пруть намагничивается, то объемъ его не измѣняется, но измѣняется только его форма. Онъ удлиняется по направленію магнетизаціи. Это открытіе Джоуля.



24. Джоуль употреблялъ систему рычаговъ чтобы увеличить это дѣйствіе и микроскопъ, чтобы наблюдать удлиненіе такимъ образомъ увеличенное. Мой методъ былъ таковъ: желѣзный пруть намагничивался электромагнитной улиткой окружавшей его. Его удлиненіе сначала увеличивалось въ 50 разъ посредствомъ рычага; и это движеніе заставляло поворачиваться ось вращающагося зеркала. Отъ зеркала отражается длинный лучъ свѣта образующій собою невѣсомую стрѣлку. Отраженный лучъ можно заставить дать свѣтлый кругъ на экранѣ и этотъ кругъ, когда пруть намагничивается, перемѣщается на экранѣ вслѣдствіе удлиненія прута. Это перемѣщеніе доходитъ до одного фута или болѣе.

Какая причина этого удлиненія? Разборъ этого вопроса требуетъ нѣкоторыхъ предварительныхъ знаній.

25. Если листъ бумаги или квадратную стеклянную пластинку помѣстить надъ магнитомъ и рассыпать по бумагѣ или стеклу желѣзныя опилки, то они располагаются по линіямъ, которыя Фарей назвалъ линіями силы. Вдоль этихъ линій опилки располагаются своими длиннѣйшими размѣрами и пристають другъ къ другу конецъ съ концомъ. Маленькая желѣзная полоска или маленькая магнитная игла свободно повѣшенная также располагаются вдоль этихъ линій силы.

Образованіе и видоизмѣненія магнитныхъ кривыхъ или линій силы были показаны на лекціи посредствомъ маленькихъ магнитовъ помѣщавшихся между стеклянными пластинками и сильно освѣщенныхъ. Увеличенное изображеніе кривыхъ получалось на экранѣ отстоявшемъ почти на 40 футовъ. При постукиваніи стекляныхъ пластинокъ ясно было видно измѣненіе кривыхъ.

26. Мы можемъ себѣ представлять, что желѣзный пруть состоитъ изъ частичекъ соединенныхъ между собою силою сцѣпленія, но до нѣкоторой степени отдѣльныхъ одна отъ другой. Когда желѣзо переламывается, то мы видимъ кристаллическія грани на поверхности излома. Дѣйствительно желѣзный пруть состоитъ изъ маленькихъ кристалловъ неправильной формы. Когда пруть намагнитизированъ, то они



стремятся стать своими длиннѣйшими размѣрами параллельно направленію намагничиванія, т. е. по направленію самого прута. Они и успѣваютъ въ этомъ до нѣкоторой степени и такимъ образомъ производятъ небольшое и временное удлиненіе прута. Это объясненіе Де ла Рива. Оно по моему мнѣнію столь же вѣрно сколько и остроумно.

27. Магнитную окись желѣза въ порошокъ можно разболтать въ водѣ, которая находится въ цилиндрическомъ сосудѣ, закрытомъ съ обоихъ концовъ плоскими стеклянными пластинками. Намотаемъ на этотъ сосудъ покрытую проволоку. Введя проволоку въ цѣпь и смотря на свѣчку черезъ мутную жидкость, мы увидимъ, что свѣчка станетъ яснѣе въ тотъ моментъ, когда будетъ замкнута цѣпь. Если цѣпь прервать, то прежняя неясность появляется снова. Это происходитъ отъ расположенія частичекъ разболтанной въ водѣ окиси похожего на расположеніе желѣзныхъ опилокъ. Они располагаются длиннѣйшими размѣрами параллельно лучу свѣта и такимъ образомъ менѣе заграждаютъ ему проходъ. Они также пристають другъ къ другу конецъ съ концомъ, и образуютъ линіи подобныя линіямъ опилокъ. Этотъ изящный опытъ принадлежитъ Грове.

Проектируя увеличенное изображеніе конца цилиндрическаго сосуда на экранъ и пропуская черезъ него пучокъ свѣта отъ электрической лампы въ то время, когда токъ замкнутъ, мы получаемъ на экранѣ свѣтлый дискъ отъ 2 до 3 футовъ въ діаметрѣ.

### Характеръ магнитной силы.

Для того чтобы продолжать дальше, мы должны составить себѣ ясныя и опредѣленные понятія о характерѣ магнитной силы.

28. Магнитная сила магнита или магнитной стрѣлки, хотя она въ дѣйствительности распредѣлена по всей ихъ массѣ, кажется однако сосредоточенною въ двухъ точкахъ



близъ краевъ. Эти точки называются *полюсами* магнита или стрѣлки.

29. Магнитная сила земли также безъ сомнѣнія распределена по всей массѣ земли, но сосредоточеніе ея подобное упомянутому выше также сообщаетъ землѣ магнитные полюсы.

30. Дѣйствіе земли на магнитную стрѣлку таково: сѣверный земной полюсъ отталкиваетъ одинъ конецъ стрѣлки и притягиваетъ другой; южный магнитный полюсъ также притягиваетъ одинъ конецъ стрѣлки и отталкиваетъ другой. Но конецъ притягиваемый сѣвернымъ земнымъ полюсомъ отталкивается южнымъ, между тѣмъ какъ конецъ притягиваемый южнымъ отталкивается сѣвернымъ.

31. Такимъ образомъ относительно каждаго земнаго магнитнаго полюса стрѣлка представляетъ два конца съ различными свойствами. Можно предположить, что на двухъ концахъ сосредоточены два противоположные рода электричества. Въ этой *дѣйствительности* магнитной силы и состоитъ то, что называется *магнитной полярностью*.

32. Каждый изъ двухъ отдѣльныхъ родовъ магнетизма можно считать какбы самоотталкивающимъ. Сѣверный отталкиваетъ сѣверный и южный отталкиваетъ южный. Но различные роды магнетизма взаимно притягиваются; южный притягиваетъ сѣверный и сѣверный притягиваетъ южный.

33. Когда магнитъ или магнитная стрѣлка повѣшена такъ, что линія соединяющая ея полюсы стоитъ *наклонно* къ магнитному меридіану, то дѣйствіе земли на нее заставляетъ ее стать по магнитному меридіану.

34. Когда стрѣлка стоитъ по меридіану, то двѣ силы дѣйствующія на нее противоположны и равны. Тогда прекращается стремленіе произвести поворачиваніе; стрѣлка находится въ положеніи своего равновѣсія.

35. Если силы равны и противоположны, то они должны нейтрализовать одна другую; такимъ образомъ невозможно *поступательное движеніе* стрѣлки. По этому если магнитную стрѣлку пустить плавать на водѣ или на ртути, то она не движется ни къ одному изъ земныхъ магнитныхъ полюсовъ.



36. Одинъ полюсъ магнита отталкиваетъ одинъ конецъ магнитной стрѣлки и притягиваетъ другой *конецъ*. На другомъ полюсѣ магнита притяженіе и отталкиваніе обратны. По серединѣ магнита находится *магнитный экваторъ*, гдѣ не притягивается и не отталкивается ни одинъ конецъ стрѣлки.

### **Магнетизмъ улитки: сила электромагнитовъ.**

37. Электромагнитная улитка или спираль, даже если въ ней нѣтъ внутри желѣзнаго прута, дѣйствуетъ совершенно такъ, какъ магнитъ. Она притягиваетъ желѣзо. Кроме того оба ея конца составляютъ противоположные полюсы и между ними находится магнитный экваторъ. Однако если внутри улитки находится пруть, то магнетизмъ соединенной системы гораздо сильнѣе чѣмъ магнетизмъ одной улитки.

38. Сила магнита измѣряется его способностью отклонять магнитную стрѣлку отъ ея меридіана; магнитная сила одной улитки и улитки вмѣстѣ съ пруткомъ измѣряются такимъ же образомъ.

39. Чтобы получить магнитную силу одного прута, мы сначала опредѣляемъ силу одной улитки, затѣмъ силу улитки въ соединеніи съ пруткомъ; вычитая первую величину изъ послѣдней, мы получаемъ магнитную силу прута.

40. Если прутья толсты и сдѣланы изъ хорошаго желѣза, то магнитная сила прута пропорціональна силѣ улитки. Улитка съ вдвое большей силой произведетъ и электромагнитъ вдвое сильнѣйшій; улитка съ втрое большей силой произведетъ втрое сильнѣйшій электромагнитъ и такъ далѣе. Такимъ образомъ измѣняя силу улитки, мы можемъ въ такой же степени измѣнять и силу желѣзнаго прута внутри ея.

### **Электромагнитныя притяженія: законъ квадратовъ.**

41. Здѣсь намъ представляется важный пунктъ. Когда



мы заставимъ вдвое сильнѣйшій электромагнитъ дѣйствовать на кусокъ хорошаго желѣза находящійся близко къ нему, но не соприкасающійся съ нимъ, то притяженіе желѣза бываетъ больше не вдвое, но вчетверо. Если электромагнитъ будетъ втрое сильнѣйшій, то притяженіе будетъ не втрое больше, но въ девять разъ. Если электромагнитъ будетъ вчетверо сильнѣе, то притяженіе желѣза увеличится въ 16 разъ. Значитъ притяженіе пропорціонально не просто силѣ, но силѣ помноженной на самую себя или *квадрату силы* электромагнита.

Мы должны хорошенько уяснить себѣ причину этого дѣйствія и должны на время противопоставить магнитное дѣйствіе закаленной стали дѣйствію мягкаго желѣза.

42. Мягкое желѣзо намагничивается легко, но оно теряетъ свой магнетизмъ, когда бываетъ удалена намагничивающая сила. Сталь намагничивается трудно, но она удерживаетъ магнетизмъ и послѣ того, какъ удаленъ намагничивающій магнитъ.

43. Это сопротивленіе стали принимать магнитное состояніе и эта способность удерживать магнитное состояніе, разъ оно навязано ей, называется *коэрцитивной силой*. Этотъ терминъ не удаченъ, но общеупотребителенъ.

44. Предположимъ, что кусокъ намагничиваемой стали обладаетъ коэрцитивною силой столь высокой, что онъ противится дальнѣйшему намагничиванію; его притяженіе электромагнитомъ будетъ прямо пропорціонально не квадрату силы, но просто силѣ электромагнита.

45. Почему же желѣзо слѣдуетъ закону квадрата силы? Потому, что магнитное состояніе желѣза непостоянно, но повышается съ увеличеніемъ силы магнита. Когда магнетизмъ электромагнита усиливается вдвое, магнетизмъ желѣза также усиливается вдвое; когда магнетизмъ электромагнита усиливается втрое, магнетизмъ желѣза также усиливается втрое. Совокупное притяженіе получится черезъ помноженіе магнетизма желѣза на магнетизмъ электромагнита, а это произведеніе и есть приведенный выше законъ квадратовъ.

46. Чтобы представить себѣ это яснѣе, вообразимъ себѣ,



что магнетизмъ электромагнита происходитъ отъ частичекъ магнетизма, которыя вводятся въ электромагнитъ въ постепенно увеличивающемся числѣ. Остановимся сначала на электромагнитѣ имѣющемъ одну магнитную частичку; и пусть онъ дѣйствуетъ на кусокъ закаленной стали также имѣющей одну магнитную частичку; совокупное притяженіе будетъ равно 1. Представимъ себѣ двѣ частички въ электромагнитѣ: сталь въ силу своей коэрцитивной способности остается неизмѣнною, но ея частичка притягивается теперь двумя частичками вмѣсто одной и совокупное притяженіе будетъ 2. Если въ электромагнитѣ будутъ три частички магнетизма, то всѣ онѣ, дѣйствуя на одну частичку стали, произведутъ тройное притяженіе и такъ далѣе.

47. Возьмемъ электромагнитъ имѣющей какъ прежде одну частичку магнетизма и кусокъ мягкаго желѣза также имѣющей одну частичку производимую въ немъ электромагнитомъ; притяженіе какъ прежде будетъ равно 1. Если ввести въ электромагнитъ двѣ частички, то онѣ немедленно произведутъ въ желѣзѣ двѣ частички. Но двѣ частички, притягиваемыя вдвое большею силою чѣмъ прежде, произведутъ притяженіе вчетверо большее прежняго.

Нужно замѣтить, что каждая частичка притягивается такъ, какбудто не было другихъ частичекъ.

48. Подобнымъ образомъ если въ электромагнитѣ будутъ три частички, то онѣ произведутъ въ желѣзѣ также три частички. Каждая изъ этихъ трехъ магнитныхъ частичекъ желѣза притягивается тремя частичками электромагнита, т. е. каждая частичка желѣза притягивается силою втрое большею первоначальной силы. Но подобнымъ образомъ притягиваются три частички; поэтому притяженіе бываетъ въ 9 разъ больше того, какое было сначала.

49. Сравнимъ это дѣйствіе съ дѣйствіемъ силы тяжести. Двѣ массы матеріи притягиваютъ другъ друга съ силою, которую мы примемъ за единицу. Если одна изъ массъ будетъ удвоена, то и притяженіе будетъ вдвое больше; если обѣ массы будутъ удвоены, то притяженіе будетъ вчетверо



больше. Если одна масса будетъ утроена, то притяженіе будетъ втрое больше; если же утроить обѣ массы, то притяженіе увеличится въ 9 разъ. Когда такимъ образомъ обѣ массы удвоить или утроить, то мы получимъ законъ квадратовъ. Это то удвоеніе и утроеніе съ обѣихъ сторонъ того, что производитъ магнитное притяженіе, и заставляетъ его слѣдовать тому же закону.

### Выводъ изъ закона квадратовъ: Теоретическія понятія.

50. Зачѣмъ я велъ васъ черезъ эти соображенія? Просто для того, чтобы уяснить вамъ, что если въ дѣйствіи магнита на матерію обнаруживается изложенный выше «законъ квадратовъ», то мы можемъ безошибочно вывести изъ этого то заключеніе, что состояніе этой матеріи не есть *постоянное состояніе*, но что оно повышается и падаетъ съ состояніемъ магнита. О матеріи испытывающей такое дѣйствіе говорятъ, что она намагничивается вліяніемъ или индукціей. Она притягивается или отталкивается (потому что мы скоро увидимъ и отталкиваніе матеріи магнитомъ) въ силу особеннаго состоянія, въ которое она приводится временно вліяніемъ магнита.

51. Что же такое то, что производитъ магнитное притяженіе? Человѣческій умъ уже давно старался разрѣшить этотъ вопросъ. Θαλες (600 до Р. Х.) думалъ, что магнитъ имѣетъ душу. Корнеліусъ Гельма въ 1535 предполагалъ, что отъ магнита къ притягиваемому тѣлу протягиваются невидимыя линіи, — воззрѣніе, которое напоминаетъ намъ линіи силы Фаредея. Другіе думали, что желѣзо есть естественная пища магнита. Декартъ ввелъ магнитныя явленія въ свою знаменитую теорію вихрей и въ наше время Клеркъ Максвеллъ шолъ въ томъ же направленіи. Эпинусъ предполагалъ существованіе магнитной жидкости. Куломбъ предполагалъ существованіе двухъ самоотталкивающихъ жидкостей, но взаимно притягивающихся. Амперъ представлялъ магнитъ



собраниемъ маленькихъ электрическихъ токовъ, которые циркулируютъ вокругъ атомовъ намагничиваемаго тѣла. Эти воззрѣнія чрезвычайно полезны иногда какъ средства соединенія и классификаціи, даже когда мы не считаемъ ихъ вѣрными. Вильямъ Томсонъ производитъ магнитныя явленія отъ «воображаемой магнитной матеріи», давая такимъ образомъ уму воззрѣніе, принятіе котораго прямо предоставляется на его произволъ. Поэтому объясненіе настоящаго происхожденія магнетизма принадлежитъ будущему.

### Діамагнетизмъ: магнито-кристаллическое дѣйствіе.

52. Бругмансъ въ 1778 первый наблюдалъ отталкиваніе висмута магнитомъ. Въ 1827 г. Бальифъ описалъ отталкиваніе сурьмы. Сежей, Зебекъ и Беккерель также наблюдали нѣкоторыя дѣйствія этого рода.

53 Въ 1845 Фаредей обобщилъ эти наблюденія, показавши, что магнитное состояніе свойственно всей матеріи. Онъ доказалъ, что тѣла раздѣляются на два большіе класса, изъ которыхъ одни притягиваются полюсами магнита, а другіе отталкиваются.

54. Силъ производящей это отталкиваніе Фаредей далъ названіе *діамагнетизма*. Какова сущность этой силы? Всегда ли она присуща тѣламъ и постоянна или возбуждается въ нихъ черезъ вліяніе?

55. Отталкиваніе діамагнитныхъ тѣлъ слѣдуетъ въ точности закону квадратовъ изложенному выше; вдвое большая сила производитъ вчетверо большее отталкиваніе; втрое большая производитъ въ 9 разъ большее отталкиваніе и т. д.

56. Изъ этого мы можемъ заключить съ несомнѣнностью, что состояніе діамагнитныхъ тѣлъ, въ силу котораго они отталкиваются магнитомъ есть состояніе возбуждаемое вліяніемъ магнита, усиливающееся или ослабѣвающее смотря по тому, усиливается или ослабѣваетъ сила магнита.

57. Сила діамагнетизма гораздо слабѣе чѣмъ сила обык-



новеннаго магнетизма. Изъ всѣхъ діаманитныхъ веществъ висмутъ есть самое наисильнѣе отталкиваемое; но его отталкиваніе несравненно слабѣе притягиванія желѣза. По Веберу магнетизмъ тонкаго желѣзнаго прута превосходитъ діаманетизмъ равной массы висмута почти въ два съ половиною милліона разъ.

58. Діаманитныя тѣла при магнитномъ возбужденіи представляютъ полярность обратную полярности магнитныхъ тѣлъ. Въ всѣхъ случаяхъ, дѣйствуемъ ли мы улитками или магнитами или улитками въ соединеніи съ магнитами, дѣйствія магнитныхъ и діаманитныхъ тѣлъ противоположны.

59. Желѣзная статуя стоящая въ прямомъ видѣ на поверхности земли обращается въ магнитъ отъ земнаго магнетизма; мраморная статуя или прямо стоящій человѣкъ обращаются тою же самою силою въ діаманитъ; потому что мраморъ діаманитенъ, также какъ всѣ ткани и твердыя тѣла и жидкости въ человѣческомъ организмѣ. Полюсы человека таковы, какъ полюсы желѣзной статуи стоящей головою внизъ.

60. Органическія тѣла и многіе кристаллы магнитизируются съ различными степенями напряженности въ различныхъ направленіяхъ. Они имѣютъ *оси* магнитной индукціи.

61. Такимъ образомъ въ исландскомъ шпатѣ *отталкиваніе* вдоль оси бываетъ максимумъ. Въ углекисломъ желѣзѣ, кристаллы котораго имѣютъ такую же форму и структуру какъ у исландскаго шпата, *притяженіе* вдоль оси бываетъ максимумъ.

62. Положеніе принимаемое кристалломъ, когда онъ повѣшенъ между полосами магнита, зависитъ отъ его магнитной оси.

**Электричество отъ тренія: притяженіе и отталкиваніе: проводимость и изоляція.**

63. Отъ тренія о шерстяную матерію янтарь получаетъ способность притягивать легкія тѣла. Это вещество назы-



вается по гречески—электронъ; поэтому и названа была электричествомъ способность притяженія обнаруживаемая янтаремъ. Это притяженіе оставалось одиночнымъ фактомъ въ теченіи болѣе 2000 лѣтъ.

64. Въ 1600 году Джильбертъ изъ Глочестера, медикъ королевы Елизаветы, показалъ, что способность притяженія обнаруживаютъ и многія другія вещества. Сухое стекло напр., если его натереть шолкомъ, и сухой сургучъ, если его натереть фланелью, обнаруживаютъ эту притягательную способность. Когда они находятся въ такомъ состояніи, то объ нихъ говорятъ, что они *наэлектризованы*.

65. Наэлектризованное тѣло притягиваетъ всѣ ненаэлектризованныя вещества и притягивается ими; но можетъ происходить такъ-же и *отталкиваніе*. Такъ напр. натертое стекло *отталкиваетъ* натертое стекло и натертый сургучъ отталкиваетъ натертый сургучъ; между тѣмъ какъ натертое стекло притягиваетъ натертый сургучъ и натертый сургучъ притягиваетъ натертое стекло.

66. Отсюда и вытекаетъ понятіе о *двухъ родахъ* электричества: одно собственное стеклянымъ тѣламъ и потому называющееся стеклянымъ, а другое собственное смолистымъ тѣламъ и потому называемое смолянымъ электричествомъ.

67. Эти термины не точны; потому что употребляя надлежащіе натиратели, мы можемъ получить отъ стекла сургучное электричество и отъ сургуча стекляное электричество. Мы поэтому употребляемъ теперь терминъ *положительное* электричество для обозначенія того электричества, которое развивается на стеклѣ отъ тренія шолкомъ и *отрицательное* электричество для обозначенія того, которое развивается на стеклѣ отъ тренія фланелью.

68. Тѣла одаренныя одинаковымъ электричествомъ отталкиваютъ другъ друга, между тѣмъ какъ тѣла одаренныя противоположными электричествами притягиваютъ другъ друга. Это основной законъ электрическаго дѣйствія.

69. Натиратель и натираемое тѣло всегда наэлектризо-



ываются противоположными электричествами. Они всегда притягиваютъ другъ друга. Работа употребленная на преодоленіе этого притяженія является въ видѣ теплоты въ электрической искрѣ.

70. Чтобы узнать родъ электричества, которымъ наэлектризовано тѣло, мы должны посредствомъ опыта найти электричество, которымъ тѣло *отталкивается*. Мы можемъ быть увѣрены, что это и есть электричество тѣла. *Притяженіе* не можетъ быть такимъ вѣрнымъ признакомъ, потому что и ненаэлектризованные тѣла притягиваются.

71. Нѣкоторыя вещества обладаютъ въ высшей степени способностью передавать электрическую силу или электрическое состояніе; другія же обладаютъ въ высшей степени способностью задерживать его. Первые тѣла называются *проводниками*, а послѣднія *изоляторами*.

72. Изоляторы прежде назывались *электриками*, потому что ихъ можно наэлектризовать треніемъ, *держа ихъ въ рукѣ*. Проводники же назывались *неэлектриками*, потому что ихъ нельзя было наэлектризовать такимъ образомъ. Это раздѣленіе не точно, потому что если проводникъ изолировать, то онъ можетъ быть хорошо наэлектризованъ. Чтобы сохранить его наэлектризованнымъ, нужно между имъ и землею помѣстить изоляторъ.

**Теоріи электричества: электрическія жидкости.**

73. Что такое электричество? почему оно такъ упорно держится на нѣкоторыхъ веществахъ и такъ свободно проходитъ черезъ другія или по другимъ? Человѣческій умъ дѣлалъ нѣсколько попытокъ, чтобы вообразить себѣ внутреннюю причину электрическаго дѣйствія и еще продолжаетъ дѣлать ихъ и теперь. Прежде думали, что магнетизмъ и электричество, также какъ теплота и свѣтъ, составляютъ дѣло «невѣсомой матеріи» соединенной съ обыкновенною матеріей. Относительно свѣта и теплоты это воззрѣніе подверглось глубокому измѣненію и мы представляемъ себѣ съ достаточною ясностью механическую причину обоихъ. Но подобная ясность еще не достигнута относительно электри-



чества, хотя существуетъ сильная вѣроятность, что наши понятія объ немъ современемъ подвергнутся такому же глубокому измѣненію.

74. А до тѣхъ поръ мы можемъ пользоваться временнымъ воззрѣніемъ представляемымъ *теоріею электрическихъ жидкостей*. Она даетъ намъ возможность классифицировать наши факты, хотя ее нельзя считать доказанной.

75. Согласно съ этой теоріей электрическія притяженія и отталкиванія происходятъ отъ двухъ невидимыхъ жидкостей самоотталкивающихся но взаимно притягивающихся. Предполагается, что жидкости смѣшаны между собою и образуютъ сложную нейтральную жидкость въ не наэлектризованныхъ тѣлахъ.

76. Актъ электризаціи посредствомъ тренія состоитъ въ насильственномъ отдѣленіи двухъ жидкостей, изъ которыхъ одна разливается по трущему тѣлу, а другая по натираемому. Но они также могутъ быть отдѣлены и другимъ способомъ, къ изложенію котораго мы теперь и приступимъ.

### Электрическая индукція: Конденсаторъ: Электрофоръ.

77. Если наэлектризованное тѣло приблизить къ изолированному ненаэлектризованному проводнику, но не прикасаясь къ нему, то наэлектризованное тѣло разложитъ сложную жидкость проводника, притянетъ одну изъ ея составныхъ частей и оттолкнетъ другую. Если удалить наэлектризованное тѣло, то разложенныя жидкости снова соединяются и нейтрализуютъ одна другую.

78. Это насильственное раздѣленіе двухъ жидкостей нейтральнаго проводника однимъ только приближеніемъ наэлектризованнаго тѣла называется *электрической индукціей*. О тѣлахъ въ этомъ состояніи говорятъ, что они наэлектризованы черезъ *вліяніе*. Нейтральныя тѣла притягиваются потому, что они сначала возбуждаются индукціей.

79. Если на изолированный проводникъ дѣйствуетъ



наэлектризованное тѣло, то его отталкиваемое электричество бываетъ свободно, но его притягиваемое электричество держится связаннымъ индукціей наэлектризованнаго тѣла. Если проводникъ на мгновенье соединить съ землею, то его свободное электричество уходитъ; и тогда по удаленіи наэлектризованнаго индуцирующаго тѣла связанное электричество освобождается и разливается по поверхности проводника.

80. Такимъ образомъ однимъ только приближеніемъ наэлектризованнаго тѣла и безъ всякаго соприкосновенія между имъ и нейтральнымъ проводникомъ мы можемъ зарядить послѣдній *противоположнымъ электричествомъ*.

81. Два листа листоваго олова (проводники) отдѣлены одинъ отъ другаго стеклянымъ листомъ (изоляторъ); если сообщить электричество одному листу, то оно будетъ дѣйствовать черезъ стекло и разложить нейтральное электричество противоположнаго листа, притягивая одну изъ составныхъ частей его и отталкивая другую.

82. Если второй листъ соединить съ землею, то отталкиваемое электричество уйдетъ прочь и мы будемъ имѣть два взаимно притягивающіеся слоя электричества отдѣленные одинъ отъ другаго стекломъ.

83. Если одинъ листъ олова соединить съ другимъ посредствомъ проводника, то два противоположныя электричества уйдутъ вмѣстѣ; тогда оловянный листъ разряжается, какъ говорятъ. Этотъ разрядъ обыкновенно принимаетъ форму искры.

84. Если наэлектризовать лепешку смолы или листъ вулканизированнаго каучука, то въ положенной на нее пластинкѣ металла нейтральная жидкость разложится; ея положительная жидкость будетъ притягиваться, а отрицательная отталкиваться. Если коснуться металлической пластинки, то ея свободное (отталкиваемое) электричество уходитъ въ землю; и потомъ если пластинку поднять за изолированную рукоятку, то она окажется заряженною положительнымъ электричествомъ. На этомъ принципѣ и построенъ *электрофоръ*.



## Электрическая машина; Лейденская банка.

85. Электрическая машина состоитъ изъ двухъ частей: изолятора, который возбуждается треніемъ и главнаго проводника или кондуктора.

86. Первая электрическая машина состояла изъ сѣрнаго шара, который натирался рукою. Онъ былъ изобрѣтенъ Отто фонъ Герке, бургмейстеромъ Магдебурга, въ 1671 году. Впослѣдствіи былъ введенъ стеклянный шаръ, а затѣмъ стеклянный цилиндръ и наконецъ круглая стеклянная пластина, которая натиралась сухимъ шолкомъ.

87. Главный кондукторъ заряжается такимъ образомъ: когда стеклянный кругъ вращается рукояткой, то онъ трется о шолковыя подушки и наэлектризовывается положительно. Наэлектризованное стекло дѣйствуетъ затѣмъ индуктивно на кондукторъ, притягивая его отрицательное электричество и отталкивая положительное. Кондукторъ снабженъ остро-конечіями, по которымъ отрицательное электричество вытекаетъ къ возбужденному стеклу. Такимъ образомъ кондукторъ заряжается не прямымъ сообщеніемъ ему положительнаго электричества, но отнятіемъ у него его отрицательнаго электричества, послѣ чего на немъ остается одно положительное.

88. Устройство упомянутое въ 81 параграфѣ есть настоящая лейденская банка. Еслибы стеклянный листъ указанный тамъ свернуть въ форму банки, то одинъ оловянный листъ покрывалъ бы внутреннюю поверхность, а другой внѣшнюю. Когда банка соединена съ электрической машиной, то ея зарядонная внутренняя обкладка дѣйствуетъ индуктивно черезъ стекло на внѣшнюю обкладку, притягивая противоположное и отталкивая подобное электричество.

89. Въ опытѣ, который повелъ къ открытію лейденской банки, *рука экспериментатора* служила внѣшней обкладкой.

90. Удаленіе отталкиваемого электричества внѣшней обкладки въ землю оставляетъ связанное электричество под-



верженнымъ только притяженію электричества внутри банки и даетъ банкѣ возможность принимать сильный зарядъ.

### Электрическій токъ.

91. Когда внѣшняя и внутренняя обкладка банки соединены проводникомъ, тогда *электрическій токъ* идетъ отъ одной къ другой.

92. Токъ выходитъ въ одно и тоже мгновеніе изъ внѣшней и внутренней обкладки; *средней* точки проводника токъ достигаетъ всего позже. Это и показываетъ, что существуютъ *два* тока, которые исходятъ въ одинъ моментъ изъ внѣшней и внутренней обкладки.

93. Принято называть направленіе, въ которомъ идетъ *положительное* электричество, *направленіемъ тока*.

### Электрическій разрядъ: громъ и молнія.

94. Если электрическій токъ встрѣчаетъ на своемъ пути сопротивленіе, то развивается теплота: эта теплота иногда бываетъ такъ сильна, что обращаетъ металлы въ пары.

95. Когда тѣло сильно наэлектризовано, то оно разряжаетъ свое электричество къ не наэлектризованному тѣлу черезъ промежутокъ воздуха и въ формѣ электрической искры. Два тѣла противоположно наэлектризованныя разряжаются такимъ же образомъ.

96. Если два противоположно наэлектризованныя облака разряжаются другъ къ другу, то линія молніи обозначаетъ ходъ электрическаго тока и звукъ грома есть звукъ электрической искры.

97. Наэлектризованное облако, если оно идетъ близко къ землѣ, можетъ разрядить свое электричество къ землѣ такимъ же образомъ.

98. Если тѣло, черезъ которое проходитъ атмосферное электричество, есть хорошій проводникъ и имѣетъ значитель-



ный объемъ, то не дѣлается никакого вреда; но *сопротивленіе* представляемое деревьями, домами и животными прохождению электричества обыкновенно причиняетъ ихъ разрушеніе.

99. Нервная система требуетъ извѣстнаго промежутка времени, чтобы сознательно ощутить боль. Но время электрическаго разряда есть только небольшая часть этого промежутка; поэтому чувствующій аппаратъ, нервная система, разрушается прежде чѣмъ можетъ возникнуть сознательное ощущеніе. Если это вѣрно—а есть сильныя основанія считать это вѣрнымъ, то смерть отъ молніи должна быть безболѣзненною.

100. Если наэлектризованное облако проходитъ надъ остриемъ громоотводнаго проводника, то противоположное электричество земли разряжается отъ острія кондуктора къ облаку. Облако такимъ образомъ нейтрализуется и вообще не производитъ грома

101. Продолжительность электрической искры составляетъ только крайне малую долю секунды. По этой причинѣ когда движущіяся тѣла внезапно освѣщены искрой отъ лейденской банки, то они кажутся *неподвижными* въ теченіи короткаго промежутка времени и сохраняющими то положеніе, какое они занимали, когда на нихъ упалъ свѣтъ искры. Движущееся пушечное ядро освѣщенное блескомъ молніи кажется стоящимъ неподвижно въ теченіи около  $\frac{1}{8}$  секунды, такъ какъ это почти и есть то время, въ теченіи котораго впечатлѣніе произведенное на ретину сохраняется на ней.

102. Ничѣмъ не замедляемая электрическая искра можетъ проскользнуть по пороху, не зажегши его: чтобы произвести горѣніе его, необходимо замедлить разряженіе, пропустивши его черезъ мокрую веревку.

**Электрическая плотность: дѣйствіе остроко-  
нечій.**

103. Если количество электричества сообщенное тому



же проводнику будетъ вдвое больше, то говорится, что и сгущеніе электричества вдвое больше; если сообщенное электричество будетъ втрое больше, то и сгущеніе будетъ втрое больше и т. д.

104. На *шарѣ* сгущеніе электричества одинаково на всѣхъ точкахъ его поверхности; на *пластинкѣ* сгущеніе бываетъ наибольшее на краяхъ, а на продолговатомъ проводникѣ сгущеніе бываетъ наибольшее на концахъ.

105. Если проводникъ оканчивается тонкимъ остриемъ, то электрическое сгущеніе на остриіи бываетъ такъ велико, что электричество разряжается въ воздухъ.

106. Воздухъ такимъ образомъ наэлектризованный дѣлается самоотталкивающимъ и онъ также отталкивается остриемъ; отъ этого происходитъ такъ называемый «электрическій вѣтеръ».

107. Если заставить электрическій вѣтеръ исходить изъ противоположныхъ концовъ легкаго тѣла, то реакція двухъ вѣтровъ будетъ держать тѣло на воздухѣ въ прочномъ равновѣсіи.

### Отношеніе вольт ова электричества къ электричеству отъ тренія.

108. Выдающіеся концы двухъ кусковъ цинка и платины отчасти погруженныхъ въ подкисленную воду находятся въ противоположныхъ электрическихъ состояніяхъ. Свободный платиновый конецъ обнаруживаетъ положительное электричество, между тѣмъ какъ свободный цинковый конецъ обнаруживаетъ отрицательное электричество.

109. Если обѣ пластинки соединить проволокой, то положительное электричество идетъ по проволокѣ къ отрицательному, а отрицательное къ положительному. Но, какъ уже сказано въ 93, принято называть направленіе, въ которомъ идетъ положительное электричество, *направленіемъ тока*.

110. Сила, которая движетъ этотъ токъ впередъ (электродвигательная сила), несравненно меньше чѣмъ та, кото-



рая движетъ токъ электричества отъ тренія. Вслѣдствіе этого послѣдній способенъ преодолевать сопротивленія, которыя вполнѣ непреодолимы для перваго.

111. Соединяя вмѣстѣ нѣсколько сосудовъ съ металлами въ кислой жидкости, мы можемъ сообщать вольту токъ характеръ тока отъ тренія. Однако требуется батарея болѣе чѣмъ изъ тысячи сосудовъ для того, чтобы токъ отъ вольтовой батареи перескочилъ черезъ промежутокъ въ воздухѣ въ  $\frac{1}{1000}$  дюйма длины. Электрическая же машина умѣренной силы и снабженная надлежащимъ кондукторомъ способна передвинуть свой токъ на разстояніе въ тысячу разъ большее этого.

112. Электрическая искра проходитъ черезъ воздухъ при содѣйствіи частичекъ проводника, съ котораго она перескакиваетъ и которыя уносятся разрядомъ.

113. Но сравниваемый въ другихъ отношеніяхъ токъ электричества отъ тренія несравненно слабѣе вольтова тока. Напр. безъ особенныхъ специальныхъ приспособленій для увеличенія дѣйствія токъ отъ большой электрической машины не можетъ отклонить магнитной стрѣлки.

114. Фаредей погружалъ двѣ проволоки, одну платиновую, а другую цинковую, каждая въ  $\frac{1}{13}$  дюйма въ діаметръ, въ сосудъ съ подкисленной водой. Глубина погруженія была только  $\frac{5}{8}$  дюйма и время погруженія было только  $\frac{3}{21}$  секунды. Однако онъ нашолъ, что электричество произведенное этимъ маленькимъ аппаратомъ и въ такое короткое время производило гораздо большій эффектъ на магнитную стрѣлку чѣмъ 28 оборотовъ большой электрической машины королевскаго института.

115. Кубическій дюймъ воздуха, если сжать его съ достаточною силой, можетъ разорвать весьма крѣпкій сосудъ, между тѣмъ какъ кубическій ярдъ воздуха, если онъ не сжать, обнаруживаетъ только слабое давленіе на поверхность окружающую его. Электричество машины находится въ состояніи аналогичномъ съ состояніемъ сжатого воздуха. Его густота или какъ иногда выражаются его напряженность или давленіе велико. Электричество же вольтовой батареи



сходно съ несжатымъ воздухомъ. Оно несравненно превосходитъ по количеству электричество отъ машины; но оно гораздо слабѣе его по напряженности.

116. Отклоненіе магнитной стрѣлки и другія дѣйствія вольтова тока зависятъ только отъ количества; этимъ и объясняется превосходство вольтова тока въ произведеніи такого отклоненія.

117. Фарей нашолъ, что количество электричества получающееся отъ разложенія одного грана воды въ вольтовомъ сосудѣ (см. параграфъ 5) равно количеству освобождающемуся при 800,000 разрядовъ большой лейденской батареи королевскаго института. Это количество, если бы его сосредоточить въ одинъ разрядъ, равнялось бы большому удару молніи. Онъ также нашолъ, что электричество освобождающееся при химическомъ дѣйствіи одного грана воды на четыре грана цинка равняется по количеству электричеству сильнаго удара грома.

118. Веберъ и Кольраушъ нашли, что количество электричества соединеннаго съ однимъ миллиграмомъ водорода, если бы его распространить по облаку на 1000 метровъ надъ землею произвело бы на равное количество противоположнаго электричества на земной поверхности притяженіе въ 2,268,000 килограммовъ.

### Историческія свѣдѣнія о проводимости и лейденской банкѣ.

119. Въ 1729 Стефенъ Грей, пансіонеръ Чартеръ Гоуза, открылъ электрическую проводимость. Соединивши конецъ проволоки въ 700 футовъ длиною съ стеклянной трубкой и поддерживая проволоку на шолковыхъ петляхъ, онъ нашолъ, что если натирать трубку, то отдаленный конецъ этой проволоки становится наэлектризованнымъ и притягиваетъ легкія тѣла. Онъ нашолъ, что проволочныя петли не годятся для поддерживанія проволоки, такъ какъ электричество уходитъ черезъ нихъ; отсюда возникло раздѣленіе тѣлъ



на проводники и изоляторы. Наблюдения Грея были записаны секретаремъ королевскаго общества за день до его смерти.

120. Въ октябрѣ 1745 Фонъ Клейстъ, епископъ Каммина въ Помераніи, зарядилъ электричествомъ банку содержащую въ себѣ иногда ртуть, а иногда алкоголь. Черезъ пробку въ горлѣ банки продѣтъ былъ желѣзный гвоздь, который приведенъ былъ въ соприкосновеніе съ кондукторомъ электрической машины. Прикоснувшись къ гвоздю, Фонъ Клейстъ почувствовалъ сильный ударъ.

121. Въ генварѣ 1746 Кунеусъ изъ Лейдена также получилъ ударъ и его опытъ былъ повторенъ Аламандомъ и Мушенброкомъ. Проволока шла отъ кондуктора машины въ банку наполненную водой. Мушенброкъ держалъ банку правою рукою, вертилъ машину и затѣмъ лѣвою рукою получалъ искру отъ кондуктора. Ударъ былъ такъ ужасенъ, что Мушенброкъ по его словамъ не согласился бы получить другой такой ударъ даже за корону Франціи. Мушенброкъ замѣтилъ, что только лицо державшее банку въ рукѣ чувствовало ударъ. Клейстъ не замѣтилъ этого условія.

122. Въ Германіи банка называется иногда клейстовскою банкою, но чаще лейденскою банкою, такъ какъ Клейстъ ошибался относительно указаннаго условія. Теорія банки и другихъ подобныхъ аппаратовъ была дана Франклиномъ въ сентябрѣ 1747. (См. парагр. 81, 88, 89, 90).

123. Въ 1747 Ватсонъ, епископъ Ландаффа, пропустилъ разрядъ отъ лейденской банки черезъ проволоку въ 2800 футовъ и на такое же разстояніе черезъ землю. Впослѣдствіи въ томъ же самомъ году онъ пропустилъ разрядъ черезъ проволоку въ 10,600 футовъ поддерживаемую изоляторами изъ сухаго дерева. Опытъ былъ произведенъ на Шутерсъ Гиллѣ.

124. Въ 1748 подобные же опыты были произведены Франклиномъ черезъ Шуйлкиллъ и Де Люкомъ черезъ Женевское озеро.



## Историческія свѣдѣнія объ электрическомъ телеграфѣ.

125. Первое предложеніе электрическаго телеграфа было сдѣлано анонимнымъ сотрудникомъ журнала Scot's Magazine на 1753. Затѣмъ слѣдовали различныя попытки примѣнить для этой цѣли электричество отъ тренія. Они увѣнчались чрезвычайно остроумнымъ приспособленіемъ, которое публиковалъ въ 1823 серъ Франсисъ Рональдсъ.

126. Вольтовъ столбъ былъ описанъ Вольтою въ письмѣ къ серу Джозефу Банксу написанномъ изъ Комо въ 1800.

127. Непосредственно послѣ этого Никольсонъ и Карлисъ открыли разложеніе воды вольтовымъ токомъ.

128. Въ 1800 Земмерингъ предложилъ систему телеграфа основанную на открытіи Никольсона и Карлися. Подобная система была предложена около того же времени профессоромъ Коксомъ въ Пеннсилваніи.

129. 1820 Эрштедъ открылъ отклоненіе магнитной стрѣлки электрическимъ токомъ \*).

130. Идея употребить отклоненіе стрѣлки для телеграфическихъ цѣлей встрѣчается у знаменатаго французскаго математика Ла Пласа; проблема эта была отчасти разработана Амперомъ и подвинута дальше Ритчи, профессоромъ физики въ королевскомъ институтѣ.

131. Къ 1832 баронъ Шиллингъ устроилъ модели телеграфнаго аппарата, которые были представлены императорамъ Александру и Николаю.

---

\*) Въ своей чрезвычайно полезной маленькой книжкѣ о Телеграфѣ напечатанной въ числѣ Wealès «Rudimentary Series» Робертъ Сабинъ приводитъ слѣдующее замѣчательное мѣсто изъ сочиненія о магнетизмѣ профессора Изарна напечатаннаго въ Парижѣ въ 1804. «По наблюденіямъ Романьези, физика въ Триентѣ, намагниченная стрѣлка, если ее подвергнуть дѣйствию гальваническаго тока, испытываетъ отклоненіе; а по наблюденіямъ Мажона, учонаго химика въ Женевѣ, ненамагниченныя стрѣлки пріобрѣтаютъ этимъ способомъ родъ магнитной полярности». Сочиненіе содержащее это мѣсто было доставлено Сабину Латимеромъ Клеркомъ.



132. Въ 1833 Гауссъ и Веберъ устроили электрическій телеграфъ между физическимъ кабинетомъ и астрономической и магнитной обсерваторіями въ Геттингенѣ и простирающійся на 10,000 футовъ. Гауссъ и Веберъ употребляли электричество Фаредея вмѣсто электричества Вольты.

133. Гауссъ просилъ Штейнгейля заняться разработкой этого предмета. Онъ произвелъ въ телеграфѣ важныя улучшения и сдѣлалъ важныя указанія. Въ 1837 онъ устроилъ систему проволокъ около 40,000 футовъ длиною, соединивши ею различные пункты въ Мюнхенѣ и его окрестностяхъ. Самое значительное открытіе Штейнгейля и самое важное въ практическомъ отношеніи изъ всѣхъ сдѣланныхъ доселѣ относительно телеграфа состоитъ въ томъ, что можно обойтись безъ «обратной проволоки» между двумя станціями и употребить вмѣсто ея землю.

134. Въ 1834 Витстонъ съ помощью вращающагося зеркала произвелъ свои знаменитые опыты надъ скоростью электричества. Въ слѣдующемъ году онъ показывалъ на своихъ лекціяхъ одинъ изъ телеграфовъ барона Шиллинга.

135. Въ 1836 Вильямъ Фотергилль Кукъ увидѣлъ на лекціяхъ профессора Мунка въ Гейдельбергѣ подобный инструментъ въ дѣйствиіи. Пораженный его очевидною практическою важностью, онъ придумалъ систему телеграфа и въ сообществѣ съ Витстономъ съ іюля 1837 ввелъ телеграфную систему въ Англіи.

136. Съ 1832 до 1836 Морзъ думалъ примѣнить для телеграфныхъ цѣлей химическое разложеніе производимое электрическимъ токомъ, но онъ оставилъ эту мысль и вмѣсто нея придумалъ свою электромагнитную систему въ 1836. Этотъ методъ состоитъ въ томъ, что дѣйствіемъ притяженія электромагнита дѣлаются точки и линіи на бумагѣ, которая посредствомъ надлежащаго механизма движется по окружности колеса.

137. Въ 1850 первый подводный кабель былъ положенъ Бреттомъ между Дувромъ и Кале. Онъ просуществовалъ только



одинъ день. Въ 1851 былъ положенъ другой кабель, который оказался вполне годнымъ.

138. Августа 5-го 1858 было окончено погруженіе перваго атлантическаго кабеля и были пересланы депеши между Англіей и Америкой. Кабель пересталъ дѣйствовать 4 сентября, т. е. спустя около мѣсяца послѣ его погруженія.

139. Въ 1865 второй атлантическій кабель былъ положенъ и потерялся. Въ 1866 году кабель былъ положенъ успѣшно и въ тоже время былъ найденъ кабель 1865. Депеши пересылаются теперь между Англіей и Америкой со скоростью 14 словъ въ минуту.

### Явленія наблюдаемыя въ телеграфныхъ кабеляхъ.

140. Деви показалъ (Elements of Chemical Philosophy, 1812, p. 154), что лейденская батарея можетъ быть заряжена вольтовымъ электричествомъ \*).

---

\*) Деви описываетъ слѣдующимъ образомъ знаменитую батарею, съ которою онъ произвелъ этотъ опытъ. Духъ, которому эта батарея обязана своимъ существованіемъ, и до сихъ поръ одушевляетъ членовъ королевскаго института. Самая сильная батарея изъ всѣхъ существующихъ, въ которой число паръ соединено съ обширною поверхностью, есть та, которая была устроена по подпискѣ нѣсколькими ревностными тружениками и покровителями науки въ лабораторіи королевскаго института (въ 1808). Она состоитъ изъ двухъ сотъ инструментовъ соединенныхъ вмѣстѣ въ правильномъ порядкѣ и состоящихъ каждый изъ 10 паръ пластинокъ помѣщенныхъ въ фарфоровыхъ сосудахъ; каждая пластинка имѣетъ 32 квадратныхъ дюйма, такъ что все число паръ составляетъ 2000, а вся поверхность пластинокъ 128,000 квадратныхъ дюймовъ. Эта батарея, если ея сосуды наполнены 60 частями воды смѣшанной съ одной частью азотной кислоты и одною частью сѣрной кислоты производитъ рядъ блестящихъ и поразительныхъ дѣйствій. Когда куски угля около дюйма длины и  $\frac{1}{8}$  дюйма въ діаметрѣ сближены между собою на разстояніе одной трети или одной четверти дюйма, то появляется яркая искра и болѣе половины углей раскаляется добѣла; а когда угольки раздвинуты, то между концами ихъ происходитъ постоянное разряженіе черезъ нагрѣтый воздухъ на пространствѣ равномъ по крайней мѣрѣ четы-



«Если сообщеніе между концами наэлектризованными положительно и отрицательно происходитъ въ воздухѣ разрѣженномъ въ пріемникѣ воздушнаго насоса, то разстояніе, на которомъ происходитъ разрядъ, увеличивается по мѣрѣ увеличенія разрѣженія и когда атмосфера въ пріемникѣ поддерживаетъ только  $\frac{1}{4}$  дюйма ртути въ барометрическомъ колѣнѣ, то искры проходятъ пространство почти въ половину дюйма; раздвигая концы, можно получать разрядъ на разстояніи 6 или 7 дюймовъ, который производитъ сіяніе прекраснаго пурпуроваго свѣта, уголь сильно раскаляется и кусочекъ платины прикрѣпленный къ нему плавится, разбрасывая блестящія искры и падая большими шариками на тарелку насоса. Этимъ приборомъ всѣ явленія химическаго разложенія производятся съ усиленной быстротой. Если концы угольковъ сблизить въ непроводящихъ жидкостяхъ, каковы: масла, эфиръ и хлористыя соединенія, то получаютъ блестящія искры и быстро выдѣляются газы. И напряженность электричества такова, что искры получаютъ даже въ хорошихъ несовершенныхъ проводникахъ, каковы азотная и сѣрная кислоты.

«Когда два проводника отъ концовъ этого аппарата соединены съ лейденской батареей, одинъ съ внутренней, а другой съ внѣшней обкладкой, то батарея немедленно заряжается и при надлежащемъ соединеніи можетъ получиться или ударъ или искра, и малѣйшее время прикосновенія достаточно для того, чтобы возобновить зарядъ до его полной силы.»

---

ремъ дюймамъ, производя блестящую восходящую дугу свѣта, широкую и конической формы въ срединѣ. Когда какое нибудь вещество вводится въ эту дугу, то оно мгновенно раскаляется; платина плавится въ ней также легко, какъ воскъ въ пламени обыкновенной свѣчи; кварцъ, сапфиръ, магнезія, известъ тоже плавятся; кусочки алмаза, палочки угля и графита быстро исчезаютъ, кажется какъ будто испаряются въ ней, даже когда соединеніе производится въ пріемникѣ, изъ котораго выкачанъ воздухъ; но не было никакихъ признаковъ, чтобы они предварительно подверглись плавленію.



141. Вернеръ Сименсъ первый употребилъ (въ 1847) гутаперчу какъ средство для изолированія подземныхъ телеграфныхъ проволокъ. 18 января 1850 въ запискѣ представленной физическому обществу въ Берлинѣ онъ показалъ, что подземная проволока покрытая гутаперчей и окруженная влажностью земли дѣйствовала какъ колоссальная лейденская банка. Онъ также нашолъ, что обыкновенныя телеграфныя проволоки заряжаются, хотя и въ гораздо меньшей степени чѣмъ подземныя проволоки.

142. Въ 1838 Фаредей предсказалъ замедленіе электрическаго разряда его собственнымъ индуктивнымъ дѣйствіемъ (*Experimental Researches 1833. Faraday as a Discoverer, new edit. p. 89*).

143. Въ 1854 Фаредей производилъ эксперименты надъ кабелями въ мастерскихъ компаніи электрическаго телеграфа. Проволока въ 100 миль покрытая гутаперчей была погружена въ воду и другая проволока такой же длины въ сухой резервуаръ. Первую мы будемъ называть водяною проволокою, а послѣднюю воздушною проволокою.

144. Если соединить одинъ полюсъ батареи съ землею, а другой полюсъ съ однимъ изъ изолированныхъ концовъ водяной проволоки, то прервавши соединеніе и прикоснувшись къ проволоцѣ, мы получимъ сильный ударъ; разрядъ отъ проволоки могъ даже воспламенить Стратамовскую зажигательную трубку. Когда проволока, пробывши нѣкоторое время въ соединеніи съ батареей, была отдѣлена отъ нея и соединена съ гальванометромъ, то она сильно дѣйствовала на этотъ инструментъ.

145. Токъ электричества въ проволоку обнаруживался гальванометромъ, когда существовало прикосновеніе, токъ же изъ проволоки обнаруживался тогда, когда проволока между батареей и гальванометромъ была соединена съ землею. Ни одного изъ этихъ дѣйствій не наблюдалось на 100 мильной воздушной проволоцѣ.

146. Фаредей, подобно Вернеру Сименсу, вѣрно объяснялъ это дѣйствіе сравненіемъ кабеля съ огромной лейден-



ской банкой; проволока составляла внутреннюю, а вода внѣшнюю обкладку, а слой гутаперчи служилъ изоляторомъ между ними. Дѣйствительно поверхность проволоки въ этихъ экспериментахъ составляла 8300 квадратныхъ футовъ, между тѣмъ какъ поверхность внѣшней обкладки воды составляла 33,000 квадратныхъ футовъ. Наблюдаемыя явленія и происходили отъ заряда и разряда этого аппарата.

147. Въ подземной телеграфической линіи въ 1500 миль длины были помѣщены три гальванометра: одинъ, *a* въ началѣ проволоки; другой, *b* въ серединѣ; и третій, *c* на концѣ; послѣдній былъ также соединенъ съ землею.

148. Если соединить батарею съ проволокою гальванометра, *a*, то дѣйствіе на этотъ инструментъ оказывается немедленно; послѣ замѣтнаго времени дѣйствіе обнаруживается на *b*, и послѣ болѣе продолжительнаго времени обнаруживается на *c*. Дѣйствительно требуется двѣ секунды для прохожденія электрическому току до послѣдняго инструмента.

149. Если въ то время, когда стрѣлки во всѣхъ инструментахъ отклонены, прервать вдругъ сообщеніе съ батареей въ *a*, то стрѣлка этого инструмента немедленно падаетъ на нуль, въ *b* падаетъ потомъ и въ *c* послѣ болѣе продолжительнаго промежутка.

150. Если коснуться на мгновеніе полюсомъ батареи гальванометра *a*, то стрѣлка этого инструмента отклоняется и можетъ возвратиться къ своему нейтральному положенію прежде чѣмъ электрическая сила достигнетъ до *b*, въ *b* въ свою очередь стрѣлка можетъ отклониться и возвратиться къ нейтральному положенію прежде чѣмъ сила достигнетъ *c*.

151. Въ этомъ случаѣ въ проволоку впускается волна силы, которая постепенно проходитъ по ней, являясь въ различныхъ частяхъ проволоки въ послѣдовательные промежутки времени.

152. Есть даже возможность, соразмѣряя надлежащимъ образомъ прикосновенія батареи, произвести нѣсколько послѣдовательныхъ волнъ одновременно существующихъ въ проволокахъ.

153. Если сдѣлавши соприкосновеніе въ *a* и прервавши



его, соединить этотъ гальванометръ съ землею, то часть электричества пущеннаго по проволокамъ возвращается и отклоняетъ стрѣлку въ *a* въ обратномъ направленіи; здѣсь токи идутъ въ противоположныхъ направленіяхъ изъ обоихъ концовъ проволоки.

154. Эти дѣйствія индукціи дали возможность Вернеру, Сименсу и Фаредею объяснить значительную разницу между скоростями электрическаго тока по опредѣленію различныхъ экспериментаторовъ.

155. Для прохожденія по проводнику электричество требуетъ времени, которое прямо пропорціонально *длине* проводника.

156. Но въ подводномъ кабелѣ дѣйствуетъ еще другая причина замедленія, именно зарядженіе кабеля; замедленіе въ этомъ случаѣ пропорціонально *квадрату длины* кабеля.

### Искусственные кабели.

157. Для произведенія вышеуказанныхъ опытовъ и для опредѣленія размѣровъ, которые нужно было дать атлантическому кабелю, Кромвелль Варлей придумалъ свои искусственные кабели.

158. Въ одномъ изъ такихъ кабелей для того, чтобы получить сопротивленіе равное сопротивленію настоящаго кабеля въ 14,000 миль длиною, были введены въ путь тока слабо проводящія жидкости вмѣсто металлическихъ проволокъ. Индуктивное дѣйствіе получалось посредствомъ конденсаторовъ изъ тонкихъ оловянныхъ листовъ. Въ другомъ искусственномъ кабелѣ употреблялись спирали изъ проволоки для полученія необходимаго сопротивленія.

159. Устройство описанное въ параграфѣ 81 есть конденсаторъ. Но конденсаторы устроенные Варлеемъ имѣли несравненно большую площадь и конденсирующіе листы были отдѣлены одинъ отъ другаго не стеклянными пластинками, но тонкими листами бумаги и параффина. Какъ обшир-



ность площади такъ и близость индуцирующихъ поверхностей содѣйствовали усиленію дѣйствія.

160. Когда конденсаторы были заряжены баттареей, то при разрядѣ ихъ получались такія же явленія какъ съ лейденской банкой. Они давали ударъ, искру и другія дѣйствія электричества отъ тренія.

161. Рядъ изъ 50 конденсаторовъ соединенныхъ «каскадомъ», т. е. наружная обкладка одного съ внутренней обкладкой слѣдующаго, заряженный баттареей въ 1000 паръ, давалъ сильнѣйшія искры и сожигалъ проволоки.

162. Если проволока сгибалась и помѣщалась въ стеклянный сосудъ съ водою, то отъ разряда стекло разбивалось въ дребезги.

163. Въ искусственномъ 14,000 мильномъ кабелѣ былъ употребленъ рядъ изъ 11 трубокъ содержащихъ сопротивляющуюся жидкость. Въ нихъ были погружены проволоки. Одинъ конецъ заряжающей баттары былъ соединенъ съ землею, а другой по произволу былъ соединяемъ съ искусственнымъ кабелемъ. 10 гальванометровъ были помѣщены между сопротивляющимися трубками вдоль искусственнаго кабеля.

164. Когда не вводились въ дѣло конденсаторы, то при соединеніи съ баттареей стрѣлки всѣхъ гальванометровъ отклонились одновременно.

165. Когда же былъ введенъ конденсаторъ между каждою парю сопротивляющихся сосудовъ — всѣхъ 10 конденсаторовъ, — тогда токъ долженъ былъ зарядить каждый конденсаторъ до извѣстной степени, прежде чѣмъ онъ могъ замѣтно подѣйствовать на гальванометръ за конденсаторомъ. Поэтому когда были введены конденсаторы, то дѣйствіе на гальванометры было послѣдовательное, а не одновременное.

166. Варлей раздѣлилъ свой 14,000 мильный канатъ на части представляющія станціи въ Лондонѣ, въ Гибралтарѣ, Мальтѣ, Суэцѣ, Аденѣ, Бомбаѣ, Калькуттѣ, Рангонѣ, Сингапорѣ, Явѣ и Австраліи. Если предположить, что это настоящій кабель и гальванометры помѣщены на этихъ станціяхъ, то отклоненія стрѣлокъ полученные при соединеніи



съ баттареей были бы послѣдовательны. Имъ соотвѣтствуютъ отклоненія гальванометровъ соединенныхъ съ искусственнымъ кабелемъ.

167. Измѣняя сопротивленіе и величину индуцирующей поверхности конденсатора, можно получить подобіе какого угодно кабеля.

168. Съ стрѣлкою каждаго изъ 10 гальванометровъ соединено отражающее зеркало, отъ котораго отбрасывается на экранъ блестящая точка свѣта. Когда кабель не въ дѣйствиіи, тогда 10 точекъ образуютъ рядъ вдоль одной вертикальной линіи; когда же онъ соединенъ съ баттареей, тогда послѣдовательныя отклоненія гальванометровъ обозначаются послѣдовательными движеніями точекъ.

### Очеркъ теоріи Ома и повѣрки Кольрауша.

169. Я уже говорилъ (парагр. 110) о силѣ, которая движетъ электрическій токъ (электро-двигательная сила). Величина этой силы можетъ быть опредѣлена по дѣйствию тока на свободно движущуюся магнитную стрѣлку, причемъ силѣ противопоставляются различныя препятствія.

170. Если проволоку, по которой идетъ токъ, перерѣзать, то токъ останавливается. Электричество перестаетъ быть *динамическимъ*. Но на двухъ концахъ разрѣзанной проволоки мы имѣемъ *статическое* электричество.

171. Посредствомъ надлежащихъ инструментовъ можно опредѣлить величину этого статическаго заряженія; оно увеличивается съ числомъ элементовъ баттары.

172. Кромѣ того, оно пропорціонально силѣ тока дѣйствовавшаго тогда, когда проволоки были соединены.

173. Этимъ путемъ статическое заряженіе становится мѣрою динамическаго дѣйствія: электричество въ покоѣ находится въ связи съ электричествомъ въ движеніи.

174. Для опытовъ надъ электростатическими свойствами вольтова тока необходимо, чтобы баттарей была хорошо изолирована.



175. Если средняя точка проволоки соединяющей два полюса вольтовой батареи будетъ соединена съ землею, то напряженіе этой точки будетъ равно нулю. Токъ постепенно усиливается въ напряженіи направо и налѣво къ обоимъ полюсамъ батарей. Но съ одной стороны точки мы имѣемъ исключительно положительное электричество, между тѣмъ какъ съ другой стороны мы имѣемъ исключительно отрицательное электричество.

176. Мѣста лежащія по обѣимъ сторонамъ нулевой точки на равныхъ разстояніяхъ имѣютъ одинаковую напряженность.

177. Если не средняя, а какая нибудь другая точка будетъ соединена съ землею, то она становится нулевою точкою, по правую или лѣвую сторону которой мы имѣемъ, какъ прежде, два противоположныя электричества.

178. Если отрицательный конецъ батареи соединенъ съ землею, то вся проволока обнаруживаетъ положительное электричество; если же положительный конецъ соединенъ съ землею, то вся проволока обнаруживаетъ отрицательное электричество.

179. Проволока представляетъ извѣстное сопротивленіе току. Батарея сама также находится въ цѣпи и токъ долженъ преодолѣть ея сопротивленія. Но сопротивленіе батарей можетъ быть выражено извѣстною длиною внѣшней проволоки. Когда это сдѣлано, то сумма длинъ обѣихъ проволокъ называется общею длиною цѣпи.

180. Когда дана длина цѣпи и электродвигательная сила, то мы можемъ простымъ вычисленіемъ опредѣлить электрическое напряженіе каждой точки въ цѣпи.

181. Цѣпь, по которой идетъ токъ, можетъ быть представлена горизонтальною линіей (называется абсциссой); а электрическое напряженіе въ каждой точкѣ тока можетъ быть представлено вертикальною линіей (называется ординатой). Если провести ординаты представляющія электрическое напряженіе въ большомъ числѣ точекъ цѣпи, то линія соединяющая концы всѣхъ перпендикуляровъ будетъ выражать



распредѣленіе электрическаго напряженія въ цѣпи. *Крутизна* этой линіи выражаетъ то, что Омъ назвалъ *электрическимъ паденіемъ*.

182. Выражаясь болѣе точно, электрическое паденіе есть уменьшеніе длины ординаты на единицу длины абсциссы.

183. Вся сумма заряженія проволоки выражается площадью треугольника образуемаго ординатой, абсциссой и линіей паденія.

184. Законы вольтовой цѣпи установленные Омомъ были повѣрены съ разныхъ сторонъ. Электрическое состояніе цѣпи было изслѣдовано Кольраушемъ и онъ нашолъ, что оно строго согласуется съ теоріей Ома.

185. Омъ предполагалъ, что переходъ электрической жидкости отъ одной части соединительной проволоки къ другой происходитъ единственно отъ разницы въ электрической напряженности между двумя частями; онъ далѣе предполагалъ, что количество передаваемого электричества пропорціонально этой разницѣ въ напряженности; и изъ этихъ основныхъ предположеній онъ вывелъ законы вольтовой цѣпи.

186. Эти законы могутъ быть кратко формулированы такъ:

*а.* Сила тока прямо пропорціональна электродвижущей силѣ.

*б.* Сила тока обратно пропорціональна сопротивленію.

*с.* Если проволока соединяющая два полюса батареи вся изъ одинаковаго матеріала и вездѣ имѣетъ одинаковую толщину, то «электрическое паденіе» одинаково по всей проволоцѣ.

*д.* Если проволока изъ одинаковаго матеріала, но различной толщины, то паденіе круче на тонкой проволоцѣ чѣмъ на толстой. Паденіе обратно пропорціонально поперечному сѣченію проволоки.

*е.* Если полюсы соединены двумя проволоками одинаковой толщины, но съ разною способностью сопротивленія, то электрическое паденіе круче на болѣе сопротивляющейся прово-



локъ. Паденіе прямо пропорціонально специфическому сопротивленію проволоки.

187. Повѣряя эти законы, Кольраушъ употреблялъ конденсаторъ для усиленія слабыхъ зарядовъ получавшихся отъ его вольтовой пары и считалъ этотъ приборъ существенно необходимымъ. Но С. В. Томсонъ очень остроумнымъ приспособленіемъ устранилъ необходимость конденсатора и этимъ упростилъ производство опыта.

## ЭЛЕКТРО-ХИМІЯ.

### Химическое дѣйствіе въ вольтовой парѣ: начало тока.

188. Естествоиспытатели предполагаютъ, что матерія состоитъ изъ элементарныхъ частей называемыхъ атомами, которые практически невидимы.

189. Элементарные атомы могутъ соединяться между собою и составлять сложные атомы называемые молекулами.

190. Такимъ образомъ вода составлена изъ соединенія атомовъ кислорода и водорода. Обыкновенная поваренная соль есть соединеніе атомовъ хлора и натрія; кали есть соединеніе атомовъ калия и кислорода; сѣрная кислота, которую мы употребляли для подкисленія нашей воды, есть также соединеніе атомовъ сѣры съ атомами кислорода.

191. Если, какъ это было въ нашемъ первомъ опытѣ, два куска цинка и платины погрузить въ подкисленную воду, то цинкъ, какъ мы знаемъ, обнаруживаетъ сильное притяженіе на кислородъ воды. Если куски соединены, то это притяженіе приводится въ дѣйствіе; кислородъ соединяется съ цинкомъ и начинается вольтовъ токъ.

192. Образовавшаяся здѣсь окись цинка соединяется съ сѣрной кислотой и образуетъ сѣрнокислый цинкъ.

193. Вслѣдствіе этого удаленія окиси съ поверхности цинка онъ постоянно остается чистымъ и такимъ образомъ



имѣетъ возможность притягивать другіе атомы кислорода изъ окружающей жидкости. Въ продолженіи этого процесса цинкъ постепенно растворяется и до тѣхъ поръ пока это продолжается, идетъ электрическій токъ. И дѣйствительно постоянное раствореніе цинка и поддерживаетъ постоянный токъ.

194. Водородъ воды, какъ мы видѣли, уходитъ въ свободномъ газообразномъ состояніи съ поверхности платины, которая однако не растворяется какъ цинкъ.

195. Мы еще до сихъ поръ не можемъ себѣ представить достаточно ясно того способа, посредствомъ котораго электрическій токъ поддерживается раствореніемъ цинка, но вы однако должны узнать слѣдующіе факты и соображенія.

196. Когда два различные металла приведены въ соприкосновеніе безъ жидкости между ними, то одинъ изъ нихъ заряжается положительнымъ, а другой отрицательнымъ электричествомъ. Мы имѣемъ здѣсь пресловутую «силу прикосновенія», которою Вольта и его послѣдователи объясняли движеніе вольтова тока.

197. Но произведеніе теплоты и механической работы однимъ только прикосновеніемъ двухъ металловъ было бы равносильно вѣчному движенію, *perpetuum mobile*. Оно находилось бы въ противорѣчій съ тѣмъ закономъ, который требуетъ, что для произведенія какой бы то ни было силы нужно эквивалентное потребленіе какой нибудь другой силы.

198. Однако же это фактъ, что когда два различные металла соприкасаются между собою, то положительное электричество стремится преимущественно къ одному металлу, а отрицательное къ другому; два электричества какъ будто различно притягиваются двумя металлами.

199. Однако это различіе притяженія производитъ только мгновенное перемѣщеніе двухъ электричествъ, которыя переходятъ въ другое состояніе равновѣсія, когда сдѣлано прикосновеніе. До тѣхъ поръ пока продолжается это равновѣсіе, не бываетъ постоянного тока.

200. Мы можемъ представлять себѣ атомы входящіе въ молекулы сложнаго соединенія заряженными подобнымъ же



образомъ. Напр. на атомы водорода и кислорода, когда они соединились для образованія молекулы воды, мы можемъ смотрѣть какъ на заряженные подобно двумъ соприкасающимся металламъ. Это было бы тогда, еслибы атомы, подобно металламъ, обладали различными притяженіями относительно двухъ электричествъ.

201. Когда куски цинка и платины погружены въ жидкость изъ такихъ атомовъ, то положительно заряженный атомъ обратится къ одному металлу, а отрицательно заряженный атомъ къ другому.

202. Но если металлы не соприкасаются между собою, то немедленно устанавливается электрическое равновѣсіе и на свободныхъ концахъ двухъ металловъ образуется постоянное состояніе электрическаго напряженія.

203. Электричество на концахъ можно перевести въ конденсаторъ и такимъ образомъ собрать его; такой конденсаторъ можетъ быть затѣмъ разряженъ покрытою проволокою проходящею вокругъ магнитной стрѣлки, и это произведетъ отклоненіе стрѣлки.

204. Такимъ образомъ въ опытѣ Деви съ его большой вольтовой батареей, которою онъ заряжалъ свою батарею изъ лейденскихъ банокъ, послѣдняя, бывъ заряжена, могла быть разряжена гальванометромъ, и отъ этого получалось отклоненіе магнитной стрѣлки.

205. Но металлы, отдавши свой зарядъ, немедленно снова заряжаются электричествомъ и могутъ быть снова употреблены на заряженіе лейденской батареи и произвести отклоненіе магнитной стрѣлки.

206. Ни въ одинъ моментъ въ теченіи этого процесса цѣпь батареи не бываетъ полною; однако мы имѣемъ послѣдовательный рядъ магнитныхъ дѣйствій похожихъ на дѣйствія получаемыя съ полною замкнутою цѣпью.

207. Дѣйствительно въ замкнутой цѣпи раствореніе цинка непрерывно удаляетъ заряженную поверхность этого металла, растворяя и унося ее и даетъ цинку возможность принимать новое заряженіе; здѣсь существуетъ непрерывное усиліе, ни-



когда вполнѣ не удовлетворяющееся, установить электрическое равновѣсіе; непрерывное возобновленіе этого усилія поддерживаетъ электрическій токъ.

### Химическія дѣйствія на разстояніи: электролизъ.

208. Такимъ образомъ въ сосудѣ, гдѣ образуется вольтовъ токъ, совершается химическое дѣйствіе. Мы имѣемъ съ одной стороны разложеніе воды, и съ другой соединеніе цинка съ кислородомъ и сѣрною кислотой.

209. Но вольтовъ токъ можетъ также и самъ производить химическое дѣйствіе на разстояніяхъ отъ мѣста его происхожденія. Это открытіе, какъ сказано въ 127, было сдѣлано Никольсономъ и Карлилемъ.

210. Мы не можемъ разложить воды одной вольтовой парой; но когда двѣ или нѣсколько паръ соединены въ батарею, то токъ отъ такой батареи проводимый черезъ подкисленную воду раздѣляетъ соединенные атомы кислорода и водорода.

211. Кислородъ освобождается на томъ мѣстѣ, гдѣ входитъ токъ; водородъ же освобождается на томъ мѣстѣ, гдѣ токъ выходитъ изъ жидкости. Если измѣнить направленіе тока, то кислородъ и водородъ немедленно мѣняютъ свои мѣста.

212. Нужно постоянно помнить, что направленіе тока, какъ уже было сказано, есть то направленіе, по которому движется положительное электричество. Зная такимъ образомъ мѣста, въ которыхъ освобождаются кислородъ и водородъ, мы можемъ навѣрное узнать направленіе тока въ жидкости.

213. На каждый объемъ кислорода освобождающійся при разложеніи вольтовымъ токомъ выдѣляется два объема водорода.

214. Электрохимическое разложеніе называется электро-



лизомъ; а жидкое соединеніе разлагаемое электрическимъ токомъ называется *электролитомъ*.

215. Электрическій токъ послужилъ могущественнымъ средствомъ анализа въ знаменитыхъ экспериментахъ сэра Гумфри Деви въ 1807.

216. Дѣйствуя токомъ на обыкновенный поташъ, Деви нашолъ, что основаніе этого вещества составляетъ металлъ чрезвычайно легкій и обладающій чрезвычайно сильнымъ сродствомъ къ кислороду. Когда его пустить на воду, то онъ плаваетъ на ней и соединяется съ ея кислородомъ. Вслѣдствіе освобождающейся при этомъ теплоты отдѣляющійся водородъ зажигается и горитъ съ пламенемъ. Если кусочекъ металла положить на ледъ, то онъ горитъ съ свѣтлымъ пламенемъ и углубленіе происшедшее отъ теплоты наполняется растворомъ кали.

217. Сода подвергнутая такой же операціи даетъ металлъ похожій на металлъ поташа. Такимъ же образомъ Деви, употребляя вольтовъ токъ, разложилъ щелочныя земли и много расширилъ наши химическія знанія.

218. Чтобы получить эти результаты, необходимо при помощи теплоты довести поташъ и соду до плавленія. Въ твердомъ состояніи они не проводятъ электричества. Въ самомъ дѣлѣ молекулы въ твердомъ состояніи не могутъ поворачиваться такъ, какъ это указано въ 201 параграфѣ. Для проведенія тока необходимо, чтобы они поворачивались такимъ образомъ и разлагались.

219. Когда токъ проходитъ черезъ растворъ поваренной соли, то онъ разлагаетъ какъ воду, такъ и соль. Хлоръ соли вмѣстѣ съ кислородомъ воды являются тамъ, гдѣ токъ входитъ въ жидкость. Натрій соли вмѣстѣ съ водородомъ воды являются тамъ, гдѣ токъ выходитъ изъ жидкости.

220. Хлоръ обладаетъ въ сильной степени бѣлильными свойствами; и если растворъ соли былъ окрашенъ индиго или лакмусомъ, то присутствіе хлора обнаруживается уничтоженіемъ окрашиванія.

221. Когда токъ проходитъ черезъ растворъ іодистаго



калія, то темное вещество іода выдѣляется тамъ, гдѣ входитъ токъ, между тѣмъ какъ металлъ калий выдѣляется тамъ, гдѣ токъ выходитъ изъ раствора. Этотъ опытъ можно сдѣлать, смочивши пропускную бумагу растворомъ іодистымъ соединеніемъ.

222. Въ опытахъ съ электролизомъ обыкновенно погружаютъ двѣ пластинки платины или какого нибудь другаго подходящаго вещества въ разлагаемую жидкость и пускаютъ токъ отъ пластинки до пластинки. Пластика, при которой токъ входитъ въ жидкость, называется положительнымъ электродомъ, а пластика, при которой токъ выходитъ изъ жидкости, называется отрицательнымъ электродомъ. Безъ жидкости эти электроды, какъ мы уже знаемъ, сами зарядились бы положительнымъ и отрицательнымъ электричествами.

223. Но такъ какъ электричества притягивающія другъ друга бываютъ противоположныхъ качествъ, то вещество выдѣляющееся на положительномъ полюсѣ называется электроотрицательною составною частью, а вещество выдѣляющееся на отрицательномъ электродѣ называется электроположительною составною частью жидкости.

224. Такимъ образомъ въ указанныхъ выше примѣрахъ, кислородъ, хлоръ и іодъ суть электроотрицательные элементы, а водородъ, натрій и калий электроположительные.

225. Однако термины электроположительный и электроотрицательный имѣютъ относительное значеніе, потому что одно и тоже вещество въ одномъ соединеніи можетъ быть электроположительнымъ, а въ другомъ электроотрицательнымъ.

226. Если электрическій токъ пропустить черезъ растворъ сѣрноокислаго натра, то онъ отдѣляетъ сѣрную кислоту отъ натра; присутствіе кислоты доказывается тѣмъ, что она дѣлаетъ синій растительный цвѣтъ краснымъ.

227. Если разлагать вольтовымъ токомъ азотнокислое серебро или уксуснокислый свинецъ, то на отрицательномъ электродѣ отлагаются кристаллы серебра или свинца.

228. Химическія дѣйствія тока, примѣры которыхъ мы



привели здѣсь, и составляютъ то, что называется электрохиміей.

229. Гальванопластика, гальваническое золоченіе и серебреніе составляютъ важныя примѣненія электрохиміи. Здѣсь химическое соединеніе содержащее золото, серебро или мѣдь разлагается вольтовымъ токомъ и металлы отлагаются на поверхности, которую желаютъ покрыть ими.

230. Если поверхность, на которой отлагается металлъ, имѣетъ на себѣ сдѣланный рисунокъ, то углубленные линіи этого рисунка аккуратно наполняются металломъ, который, если осажденный слой его довольно толстъ, можетъ быть снятъ съ поверхности и такимъ образомъ получится совершенная копія рисунка.

### Измѣреніе электрическаго тока.

231. *Тангенсъ - компасъ* придуманный Веберомъ состоитъ изъ вертикальнаго мѣднаго или латуннаго кольца, въ центрѣ котораго помѣщена небольшая магнитная стрѣлка. Когда кольцо поставлено въ магнитномъ меридіанѣ, то стрѣлка отклоняется въ сторону, если черезъ кольцо проходитъ токъ. Сила тока пропорціональна тангенсу угла отклоненія; отсюда и названіе инструмента.

232. *Вольтаметръ* есть инструментъ придуманный Фаредемъ для измѣренія силы электрическаго тока. Онъ состоитъ изъ раздѣленной на градусы трубки, въ которой собирается и измѣряется количество газа выдѣляемаго токомъ въ данное время.

233. Сила разныхъ токовъ измѣряемая вольтметромъ въ точности пропорціональна силѣ измѣряемой тангенсъ-компасомъ. Если мы будемъ помѣщать тангенсъ-компасъ и вольтаметръ въ цѣпь одинаковыхъ токовъ, то найдемъ, что тангенсы угловъ наблюдаемые въ первомъ случаѣ въ точности пропорціональны количествамъ газа выдѣляемымъ во второмъ.



## Электрическая поляризація: Вторичный столбъ Риттера.

234. Когда токъ проходитъ черезъ подкисленную воду, то слой кислорода покрываетъ положительный электродъ и слой водорода покрываетъ отрицательный электродъ. Такъ какъ одно изъ этихъ веществъ электроположительно, а другое электроотрицательно, то они дѣйствуютъ въ жидкости подобно двумъ различнымъ металламъ; водородъ играетъ роль цинка, а кислородъ роль платины.

235. Если прервать токъ первичной батареи и соединить вмѣстѣ двѣ металлическія пластинки покрытыя своими слоями газа, то получается электрическій токъ.

236. Направленіе этого тока идетъ отъ водороднаго слоя къ кислородному слою въ жидкости и отъ кислороднаго слоя къ водородному слою черезъ соединяющую проволоку.

237. Объ электродахъ покрытыхъ такимъ образомъ сгущенными газовыми слоями говорятъ, что они *поляризованы*: и токи получаемые отъ нихъ называются токами поляризаціи.

238. Но такъ какъ токъ батареи всегда идетъ отъ кислорода къ водороду (см. 211), то ясно, что токъ поляризаціи всегда противоположенъ по направленію току батареи употребляемой для поляризованія электродовъ.

239. Когда сосудъ для разложенія съ платиновыми пластинками введенъ въ вольтову цѣпь, то оказывается, что токъ батареи, хотя вначалѣ сильный, постепенно ослабѣваетъ. Это ослабленіе происходитъ отъ постепеннаго развитія противоположнаго тока поляризаціи.

240. Въ сосудахъ самой батареи этотъ токъ поляризаціи можетъ дѣйствовать вреднымъ образомъ. Когда употребляются два металла, напр. цинкъ и платина, и одна жидкость, напр. подкисленная вода, то платиновая пластинка покрывается слоемъ водорода.

241. Этотъ водородъ какъ электроположительный походитъ на пластинку цинка и когда онъ образовался въ со-



судѣ, то это все равно, какъ еслибы въ баттареѣ и другая пластинка была не изъ платины, а изъ цинка.

242. Еслибы дѣйствительно обѣ пластинки были изъ цинка, то вовсе не было бы тока; и съ водороднымъ слоемъ, который приближается къ цинку, мы имѣли бы только слабый токъ. Чтобы получить полное дѣйствіе цинка и платины, должны быть придуманы какія нибудь мѣры, чтобы удалить съ платины слой водорода.

243. Это и достигнуто въ баттареѣ Грове употребленіемъ *двухъ жидкостей*. Одна есть крѣпкая азотная кислота, въ которую помѣщается пластинка изъ платины; другая же есть разбавленная сѣрная кислота, въ которую помѣщается пластинка цинка. Азотная кислота наливается въ стаканъ изъ пористой глины, которая насыщается жидкостью и позволяетъ току проходить черезъ нее.

244. Когда токъ проходитъ, то водородъ освобождающійся на платиновомъ электродѣ въ парѣ Грове немедленно окисляется азотною кислотою и такимъ образомъ устраняется образованіе газоваго слоя на поверхности платины.

245. Если вмѣсто одного сосуда для разложенія и одной пары платиновыхъ электродовъ мы возьмемъ рядъ такихъ сосудовъ и проведемъ одинъ токъ черезъ всѣ ихъ, то мы обратимъ каждую пару такихъ пластинокъ въ дѣйствующую вольтову пару, и если число такихъ паръ будетъ велико, то могутъ получиться очень сильныя дѣйствія.

246. Если вмѣсто сосуда для разложенія мы возьмемъ просто рядъ пластинокъ одного и того же металла, напр. рядъ монетъ отдѣленныхъ одна отъ другой кусками пропускной бумаги или полотна смоченныхъ подкисленной водой, то пропустивши вольтовъ токъ черезъ такой столбъ пластинокъ, мы освобождаемъ на одной изъ поверхностей каждой пластинки слой кислорода, а на другой поверхности слой водорода. Они играютъ роль двухъ различныхъ металловъ въ вольтовомъ столбѣ.

247. Электродвигательная сила такого столба можетъ быть гораздо больше чѣмъ сила баттареи, которая его заря-



жаеть. Онъ можетъ дать болѣе блестящую искру и движеть свой токъ черезъ препятствія, которыя были бы почти непреодолимыми для тока главной батареи.

248. Изобрѣтателемъ этой формы столба былъ Риттеръ; онъ иногда называется *вторичнымъ столбомъ* въ отличіе отъ заряжающей его батареи.

### Фаредеевъ законъ электролиза.

249. Пропустимъ одинъ и тотъ же токъ черезъ рядъ сосудовъ содержащихъ различныя сложныя жидкости; при этомъ разложится не одинаковое количество жидкости во всѣхъ сосудахъ.

250. Будемъ послѣдовательно пропускать токъ черезъ рядъ сосудовъ содержащихъ воду, окись свинца, хлористый свинецъ, іодистый свинецъ и хлористое серебро; оказывается, что въсь разложившейся жидкости будетъ для 1-го сосуда 9, для 2-го 111,5, для 3-го 139, для 4-го 230,5, для 5-го 143,5.

251. Теперь интересно знать, какимъ образомъ эти вѣса соотвѣствующихъ веществъ раздѣлены между двумя электродами? Разложенныя количества слѣдующимъ образомъ распредѣляются между электродами, предполагая, что числа выражаютъ грани.

| На положительномъ электродѣ. |      |         |           | На отрицательномъ электродѣ. |            |
|------------------------------|------|---------|-----------|------------------------------|------------|
| Вода . . . . .               | 8    | грановъ | кислорода | 1                            | гр. водор. |
| Окись свинца . . . .         | 8    | »       | »         | 103,5                        | » свинца   |
| Хлористый свинецъ . .        | 35,5 | »       | хлора     | 103,5                        | » »        |
| Іодистый свинецъ . .         | 127  | »       | іода      | 103,5                        | » »        |
| Хлористое серебро. . .       | 35,5 | »       | хлора     | 108                          | » серебра. |

252. А эти числа выражаютъ собою пропорціи, въ какихъ эти вещества входятъ въ химическія соединенія; электрическій токъ даетъ обратное дѣйствіе закону химическихъ соединеній относительно количества. Именно, вещества сое-



диняются въ эквивалентныхъ пропорціяхъ; но они и разлагаются токомъ въ точно такихъ же пропорціяхъ. Это и есть знаменитый законъ электролиза открытый Фарадеемъ.

253. Въ самой массѣ электролита ни въ какомъ случаѣ не наблюдается разложенія; никогда въ ней не выдѣляется газъ. Выдѣляющіяся вещества являются на электродахъ и на однихъ только электродахъ.

254. Относительно воды, если ее взять для примѣра, процессъ этотъ можетъ быть представленъ такъ: когда электроды, заряженные электричествомъ отъ батареи, погружены въ жидкость, то атомъ кислорода воды обращается къ положительному электроду, а атомъ водорода въ отрицательному.

255. Если электродвигательная сила довольно сильна, то кислородъ отрывается отъ своего водорода; свободный водородъ немедленно сосредоточиваетъ свое притяженіе на близлежащемъ атомѣ кислорода и соединяется съ нимъ, освобождая въ то же время водородъ, съ которымъ этотъ атомъ былъ соединенъ прежде. Такимъ образомъ освобождается другой атомъ водорода, который въ свою очередь разлагаетъ близлежащую частицу воды. Такимъ образомъ черезъ цѣпь частичекъ проходитъ рядъ разложеній сопровождающихся немедленными соединеніями, пока процессъ не дойдетъ до отрицательнаго электрода. Здѣсь водородъ, не встрѣчая дальше кислорода, съ которымъ могъ бы соединиться, освобождается въ видѣ газа. Это и есть теорія Гроттуса, которая по крайней мѣрѣ ясно представляетъ факты.

### Радужныя кольца Нобили.

256. Твердость стали при закалкѣ узнается по ея цвѣту, который происходитъ отъ тонкаго листочка окиси образующейся на стали. Окись образующаяся на поверхности расплавленного свинца также обнаруживаетъ яркіе цвѣта.

257. Эти цвѣта называются цвѣтами *тонкихъ пласти-*



нокъ; они изслѣдованы Ньютономъ и объяснены Томасомъ Юнгомъ.

258. Посредствомъ электрическаго разложенія Нобили получилъ такіе же цвѣта въ очень красивой формѣ. Если напр. помѣститъ полированную стальную пластинку въ разбавленный растворъ уксуснокислаго свинца и соединить пластинку съ положительнымъ полюсомъ вольтовой батареи, то при погруженіи въ растворъ проволоки соединенной съ отрицательнымъ полюсомъ перекись свинца осаждается на поверхности стали непосредственно подъ проволокой; и листочекъ постепенно уменьшающійся въ толщинѣ распространяется отъ этой точки кнаружи. Вокругъ этой точки мы имѣемъ рядъ концентрическихъ круговъ блестящихъ яркими радужными цвѣтами.

259. Эти цвѣта подобно цвѣтамъ тонкихъ пластинокъ зависятъ отъ толщины листочка, которая уменьшается по мѣрѣ того, какъ разстояніе проходимое токомъ увеличивается.

(Дю Буа-Реймонъ показалъ, что если оконечность отрицательнаго конца батареи весьма близка къ стальной пластинкѣ, то толщина листочка соотвѣтствующая различнымъ кругамъ обратно пропорціональна кубамъ ихъ радіусовъ).

### Распредѣленіе теплоты въ токѣ.

260. Если два конца вольтовой батареи соединить толстой проволокой хорошо проводящаго металла, то проволока нагрѣвается незначительно; теплота происходящая отъ окисленія цинка въ этомъ случаѣ остается въ самой батарее.

261. Но если два конца батареи соединить проволокой, которая представляетъ сопротивленіе току, то проволока нагрѣвается и если взять надлежащую проволоку, то она можетъ даже раскалиться добѣла.

262. Представляя себѣ батарею очагомъ, на которомъ горитъ цинкъ, мы могли бы изъ этого заключить, что теплота происходящая отъ горѣнія цинка освобождается на са-



момъ очагѣ и что количество ея зависитъ только отъ количества сгорѣвшаго цинка.

263. Однакоже это не такъ. Поставимъ батарею, когда два ея конца соединены толстой проволокой, въ сосудъ съ водою, которой и сообщается теплота развивающаяся отъ окисленія положимъ одного унца цинка; количество развивающейся теплоты измѣряется повышеніемъ температуры воды.

264. Помѣстимъ теперь батарею, когда два ея конца соединены сопротивляющейся проволокой, въ тотъ же сосудъ и опредѣлимъ опять теплоту развивающуюся въ батарее отъ окисленія одного унца цинка; эта теплота будетъ меньше чѣмъ въ предыдущемъ опытѣ.

265. Затѣмъ если соединяющую проволоку заключить въ отдѣльный сосудъ и опредѣлить такимъ образомъ теплоту развивающуюся въ проводкѣ, то по прибавленіи этого количества теплоты къ теплотѣ развивающейся въ батарее получится вполнѣ итогъ теплоты совершенно равный количеству развивающейся въ одной батарее въ томъ случаѣ, когда берется хорошо проводящая проволока.

266. Дѣйствительно абсолютное количество теплоты развивающейся при окисленіи одного унца цинка есть величина вполнѣ постоянная; но она можетъ быть распредѣлена въ различныхъ пропорціяхъ между батареей и внѣшней цѣпью.

### **Отношеніе теплоты къ току и сопротивленію.**

267. Отчего зависитъ теплота развивающаяся въ проводкѣ соединяющей концы вольтовой батареи?

268. Она зависитъ во первыхъ отъ силы тока, но она не просто пропорціональна этой силѣ.

269. Если силы ряда токовъ опредѣленные или тангенсъ компасомъ или вольтметромъ будутъ выражаться числами 1, 2, 3, 4, тогда количества теплоты развивающейся въ одной и той же проводкѣ выразятся числами 1, 4, 9 и 16.

270. Такимъ образомъ развивающаяся теплота пропорціональна *квадрату* силы тока.



271. Если сила тока остается неизмѣнною, то развивающаяся теплота пропорціональна электрическому сопротивленію проволоки, черезъ которую проходитъ токъ. Этотъ важный принципъ былъ установленъ Джоулемъ.

272. Такимъ образомъ если одинъ изъ двухъ равныхъ токовъ проходитъ черезъ серебряную проволоку, а другой черезъ платиновую проволоку одинаковой длины и толщины, то теплота развивающаяся въ платинѣ будетъ въ 10 разъ больше теплоты развивающейся въ серебрѣ, потому что сопротивление первой въ 10 разъ больше сопротивленія послѣдняго. Чтобы двигать токъ по платинѣ, для этого въ настоящемъ случаѣ потребовалась бы большая сила батареи, чѣмъ какая необходима для серебра.

273. Поэтому когда *одинъ и тотъ же токъ* идетъ по проводокъ составленной по длинѣ изъ перемежающихся кусковъ серебра и платины одинаковой толщины, то платиновые пространства могутъ раскалиться добѣла, въ то время какъ серебро не нагрѣется и до темнаго каленія.

### Магнито-электричество: индуктивные токи.

274. Въ проводникѣ находящемся близъ вольтовой цѣпи но не соприкасающемся съ нею возбуждается токъ въ то время, когда цѣпь *замыкается*. Когда цѣпь *прерывается*, то въ проводникѣ также возбуждается токъ.

275. Положимъ напр., что вольтова цѣпь имѣетъ форму кольца и что подлѣ него находится, но не входитъ въ цѣпь другое кольцо; тогда при замыканіи и при прерываніи цѣпи будетъ возбуждаться токъ и въ другомъ кольцѣ.

276. Два тока во второмъ кольцѣ называются *вторичными*. Они продолжаются только одно мгновеніе. Они даютъ толчокъ магнитной стрѣлкѣ, вокругъ которой ихъ пропускаютъ и движенія которой доказываютъ ихъ существованіе. Но они немедленно же исчезаютъ, подавляемые сопротивленіемъ кольца и превращаются въ теплоту.

277. Эти два моментальные тока идутъ по кольцу въ



противоположныхъ направлѣніяхъ. Вторичный токъ возбуждающійся при замыканіи главнаго тока бываетъ по направлѣнію противоположенъ возбуждающему его этому послѣднему току; но токъ возбуждающійся при прерываніи главнаго тока идетъ въ одинаковомъ направлѣніи съ главнымъ.

278. Эти вторичные токи называются *индуктивными токами*. Они были открыты Фаредеемъ въ 1830 и описаны имъ въ его статьяхъ въ 1831.

279. Если мы вмѣсто одного кольца возьмемъ электромагнитную улитку или спираль, то каждый оборотъ спирали возбудитъ свою долю тока и въ общей суммѣ получится эффектъ гораздо большій, чѣмъ какой даетъ одно кольцо или одинъ оборотъ.

Для нижеслѣдующихъ опытовъ были употреблены двѣ плоскія спирали изъ покрытой мѣдной проволоки.

280. Одна изъ спиралей кладется на столъ и оба ея конца соединяются съ гальванометромъ; другая же спираль соединяется съ вольтовой батареей, такъ чтобы это соединеніе можно было по произволу прерывать и снова возобновлять. Будемъ называть эту послѣднюю спираль *индуцирующею* или *первичною*, а спираль соединенную съ гальванометромъ—*вторичною* или *индуцируемою*.

281. Положивши одну спираль на другую и пропуская токъ по первичной спирали, мы замѣтимъ, что стрѣлка гальванометра внезапно отклоняется въ сторону отъ дѣйствія тока индуцированнаго во вторичной спирали; но сила подѣйствовавшая на стрѣлку мгновенно исчезаетъ и стрѣлка возвращается къ своему прежнему положенію.

282. При прерываніи тока стрѣлка также получаетъ толчокъ, но отклоняется въ противоположномъ направлѣніи. Она этимъ показываетъ существованіе во вторичной спирали другаго временнаго тока. О направлѣніяхъ этихъ двухъ токовъ относительно первичнаго было уже сказано въ 277.

283. Держа вторичную спираль на нѣкоторомъ разстояніи отъ главной, когда по послѣдней проходитъ токъ и *приближая* вторичную спираль къ главной, мы возбудимъ



въ ней токъ; этотъ токъ прекращается въ тотъ же моментъ, когда мы остановимъ движеніе къ первичной спирали.

284. При *удаленіи* вторичной спирали отъ главной также возбуждается токъ, который также прекращается въ тотъ моментъ, когда мы останавливаемъ удаленіе.

285. Токъ возбуждаемый приближеніемъ противоположенъ по направленію первичному; токъ же возбуждаемый удаленіемъ одинаковъ по направленію съ первичнымъ.

286. Два электрическіе тока идущіе въ одинаковомъ направленіи притягиваютъ другъ друга; если же они идутъ въ противоположныхъ направленіяхъ, то отталкиваютъ другъ друга.

287. Поэтому чтобы заставить вторичную спираль приближаться къ первичной, мы должны преодолѣть *отталкиваніе*, между тѣмъ какъ для того, чтобы удалить вторичную спираль отъ первичной, мы должны преодолѣть *притяженіе*. Такимъ образомъ для того чтобы произвести эти индуктивные токи, мы должны *израсходовать механическую силу*.

288. Сила такимъ образомъ израсходованная является въ видѣ теплоты во вторичной спирали послѣ прекращенія индуктивнаго тока. Она есть механическій эквивалентъ теплоты.

289. Приближеніе полюса магнита къ вторичной спирали и удаленіе полюса отъ той же спирали также возбуждаетъ индуктивные токи. Но какъ и прежде, токъ является только во время приближенія или удаленія.

290. Такимъ образомъ однимъ только движеніемъ магнита безъ всякой батареи или машины можно производить электрическіе токи.

291. Всякое измѣненіе магнитнаго состоянія пространства близъ вторичной спирали или внутри ея производитъ индуктивный токъ въ ней самой. Если измѣненіе состоитъ въ увеличеніи магнетизма, тогда токъ идетъ въ одномъ направленіи; если же оно состоитъ въ уменьшеніи магнетизма, то токъ идетъ въ противоположномъ направленіи.



292. Если длинная вторичная спираль окружает первичную, въ срединѣ которой находится желѣзный пруть, то быстро замыкая и прерывая токъ первичной спирали, можно получить рядъ сильныхъ разрядовъ. Для замыканія и прерыванія тока обыкновенно употребляется автоматическій аппаратъ.

293. Такія индуктивныя спирали были очень искусно устроены Румкорфомъ и потому они иногда называются румкорфовыми спиралями. Аппсъ устроилъ недавно индуктивныя спирали удивительной силы.

294. Сила спирали зависитъ главнымъ образомъ отъ совершенства въ изолированіи ея оборотовъ. Индуктивные токи въ румкорфовой спирали имѣютъ въ тысячу разъ большую электродвигательную силу чѣмъ первичный токъ возбуждающій ихъ. Они напимѣръ могутъ давать искры въ тысячу разъ длиннѣе чѣмъ искры первичнаго тока.

### Отношеніе индуктивныхъ токовъ къ линіямъ магнитной силы. Вращательный магнетизмъ.

295. Всѣ изложенныя явленія и принципы были установлены Фаредеемъ. Онъ также установилъ важныя отношенія между его индуктивными токами и линіями силы окружающими магнитъ. См. параграфъ 25.

296. Онъ доказалъ, что если проводникъ движется *вдоль* линій силы, то индуктивные токи не образуются; но когда онъ движется *поперекъ* линій силы, то индуктивные токи образуются.

297. Онъ доказалъ напимѣръ, что если металлическій кружокъ вращается касательно къ линіямъ, то токи не возбуждаются; между тѣмъ если кружокъ при своемъ вращеніи *перестыкаетъ* линіи силы, то токи идутъ по кружку отъ центра къ окружности и отъ окружности къ центру. Такимъ образомъ въ кружкѣ устанавливаются замкнутые токи.

298. Это и есть «магнетизмъ вращенія» открытый Ара-



го въ 1820 и получившій полное объясненіе въ рукахъ Фаредея.

299. Фаредей показалъ, что линіи силы земнаго магнетизма достаточны для того, чтобы произвести индуктивные токи, если эти линіи будутъ пересѣкаться вращающимся кружкомъ. И дѣйствительно отъ магнетизма земли можно получить всѣ дѣйствія магнито электрической индукціи.

300. Когда проводникъ вращается вокругъ оси, которая параллельна линіямъ силы, то онъ испытываетъ сопротивленіе происходящее только отъ тренія воздуха; но если ось вращенія поперечна къ линіямъ силы, то вращеніе замедляется еще дѣйствіемъ магнита и индуктивныхъ токовъ.

301. Это замедленіе можетъ быть столь сильно, что мгновенно остановить вращеніе. Если напр. мѣдный кубъ или шаръ повѣшенный на скрученной веревкѣ заставить вращаться отъ раскручиванія ея между полюсами не возбужденнаго электромагнита, то онъ испытываетъ замедленіе происходящее только отъ тренія воздуха; но если въ магнитѣ будетъ магнитная сила, то вращеніе внезапно останавливается. Фаредей показалъ, что двигая быстро мѣдную пластинку сюда и туда между магнитными полюсами, мы чувствуемъ ощущеніе, какбудто рѣжемъ пластинкой сыръ, хотя между полюсами ничего не видно. Въ этомъ случаѣ чистое пространство какбудто стало чѣмъ то твердымъ.

302. Если какимъ нибудь механическимъ способомъ заставить проводникъ вращаться или двигаться сюда и туда между возбужденными полюсами, то онъ нагрѣвается. Джоуль первый показалъ это; но весьма поразительное доказательство этого дано было Фуко, который этимъ способомъ нагрѣвалъ свой знаменитый гироскопъ. Произведенная теплота была достаточно сильна для того, чтобы расплавить легкоплавкій металлъ. Между не возбужденными полюсами не было ничего подобнаго.

303. Отталкиваніе возбуждаемое индуктивными токами между спиралями и движущимися массами желѣза полагаетъ границу практическому примѣненію электричества какъ дви-



жущей силы. Однакоже хотя такія машины скоро достигаютъ предѣла ихъ дѣйствія, но превращеніе молекулярной силы въ механическую работу можетъ быть болѣе совершеннымъ чѣмъ въ паровыхъ машинахъ.

### Экстренные токи.

304. Если концы вторичной спирали румкорфова аппарата соединены между собою, тогда вторичная цѣпь бываетъ замкнута и искра получаемая при прерываніи главной цѣпи бываетъ мала. Но когда два конца вторичной спирали разъединены, тогда искры въ первичной мгновенно увеличиваются.

305. Уменьшеніе искры происходитъ отъ противодѣйствія замкнутого вторичнаго тока первичному. Когда вторичный токъ прерванъ, это противодѣйствіе прекращается.

306. Первичный токъ, когда онъ замкнутъ, можетъ въ свою очередь противодѣйствовать вторичному. Онъ бываетъ замкнутъ всякій разъ, когда автоматическій прерыватель произведетъ прикосновеніе. Слѣдствіемъ этого бываетъ большое ослабленіе вторичнаго тока. Когда первичный токъ прерванъ, противодѣйствіе не существуетъ; тогда нѣтъ ослабленія и вторичный токъ развивается до полной своей силы. На этомъ основаніи въ румкорфовой спирали мы получаемъ разряды только *въ одномъ направленіи* вмѣсто разрядовъ измѣняющихся въ направленіи.

307. Указанное здѣсь противодѣйствіе имѣетъ связь съ тѣмъ, что называется экстреннымъ токомъ.

308. Когда токъ идетъ по одной первичной спирали, то этотъ первичный токъ возбуждаетъ въ проволоку, по которой онъ самъ идетъ, вторичный токъ противоположный по направленію первичному. Первичный токъ возбуждаетъ противодѣйствіе себѣ на собственномъ пути, которое однако немедленно исчезаетъ.

309. Когда первичный токъ прерывается, то въ спирали



возбуждается вторичный токъ, моментальный и имѣющій тоже направленіе какъ и исчезающій первичный токъ.

310. Каждый изъ двухъ токовъ возбуждающихся *въ самой же первичной спирали* при началѣ и при прекращеніи первичнаго тока Фаредей называлъ *экстреннымъ токомъ*.

311. Искра получавшаяся при прерываніи первичнаго тока увеличивается въ силѣ и блескѣ отъ экстреннаго тока.

312. Если съ первичной цѣпью соединена вторичная; если напр. двѣ покрытыя проволоки навиты на одну катушку, то дѣлая одну изъ нихъ первичною спиралью, мы получаемъ блестящую искру происходящую отъ экстреннаго тока, *во все время пока концы второй спирали остаются несоединенными*.

313. Но въ тотъ моментъ, когда они соединяются, экстренный токъ въ первичной спирали исчезаетъ; это и есть моментъ ослабленія блеска искры.

314. Это и есть примѣръ противодѣйствія упомянутаго въ параграфѣ 304. Когда вторичная цѣпь замкнута, то экстренный токъ образуется *въ ней*, а не въ первичной спирали. Здѣсь въ сущности экстренный токъ становится обыкновеннымъ индуктивнымъ токомъ; онъ удерживаетъ отличное названіе экстреннаго только до тѣхъ поръ, пока онъ остается въ первичной спирали.

### Вліяніе времени на напряженность разряда. Конденсаторъ.

315. Напряженность вторичнаго тока, напр. «разстояніе его разряда» или длина искры, зависитъ отъ быстроты, съ какою прерывается первичный токъ.

316. Я уже указывалъ на перенесеніе частичекъ между двумя разъединенными концами цѣпи. Этими частичками токъ можетъ поддерживаться еще нѣкоторое время послѣ того, какъ концы цѣпи раздвинуты. Слѣдствіемъ этого бываетъ *постепенное* исчезаніе первичнаго тока.

317. Но чтобы получить максимумъ напряженности вто-



ричнаго тока, необходимо, чтобы вторичный токъ исчезалъ *вдругъ*, заразъ.

318. Это вполне достигается тѣмъ, если прерываніе первичнаго тока совершается между полюсами сильнаго магнита. При этомъ вторичная искра можетъ перескакивать черезъ разстоянія несравненно большія чѣмъ тогда, когда прерываніе соприкосновенія совершается далеко отъ магнитныхъ полюсовъ.

319. Магнитъ немедленно останавливаетъ токъ частичекъ, сопровождающій искру. Такимъ образомъ вмѣсто того, чтобы растягиваться на значительный промежутокъ времени, вся сила первичнаго тока сосредоточивается въ одинъ моментъ времени.

320. Это сосредоточеніе обнаруживается усиленіемъ треска первичной искры. Это усиленіе было въ первый разъ замѣчено Педжемъ; оно было объяснено Рижке, который указаннымъ здѣсь способомъ усиливалъ разрядъ вторичной спирали.

321. Вредное дѣйствіе искры, происходящей при прерываніи соприкосновенія въ румкорфовой спирали значительно ослабляется употребленіемъ конденсатора, который соединяется съ первичною спиралью. Это было придумано Физо.

### **Электрическій разрядъ черезъ разрѣженные газы и пары.**

322. Электричество отъ главнаго кондуктора электрической машины проходитъ черезъ воздухъ въ формѣ плотной и блестящей искры, которая производитъ весьма явственный трескъ.

323. Если разрядъ происходитъ черезъ разрѣженный воздухъ, то разстояніе разряда увеличивается и при достаточномъ разрѣженіи воздуха разрядъ можетъ происходить *безъ треска*. Тогда искра наполняетъ трубку, черезъ которую проходитъ, розоватымъ свѣтомъ.

324. Этотъ розоватый свѣтъ имѣетъ такое же происхож-



деніе, какъ и свѣтъ сѣвернаго сіянія: онъ происходитъ отъ азота воздуха.

325. Каждый разрѣженный газъ имѣетъ свой характеристическій цвѣтъ, когда черезъ него проходитъ электрическій разрядъ. Если изслѣдовать этотъ цвѣтъ посредствомъ призмы, то онъ разрѣшается на отчетливыя полосы и можно опредѣлить природу газа, анализируя его спектръ.

326. Разрядъ индуктивной спирали черезъ разрѣженные среды производитъ свѣтовые явленія такія же, какъ и электрическая машина.

327. Въ трубки, содержащія въ себѣ разрѣженные газы или пары, входятъ платиновыя проволоки, которыя впаиваются въ стекло и между которыми происходитъ разрядъ.

328. Такія трубки отлично приготовляетъ Гейсслеръ въ Боннѣ и потому они называются гейсслеровыми трубками.

329. При нѣкоторыхъ обстоятельствахъ свѣтящійся разрядъ состоитъ изъ отдѣльныхъ свѣтовыхъ слоевъ, отдѣленныхъ другъ отъ друга темными промежутками поперечными къ направленію разряда. Эти слои были впервые замѣчены Грове; но независимо отъ него они были наблюдаемы и изслѣдуемы Румкорфомъ.

330. Прежде думали, что свѣтовые слои происходятъ отъ перемежающагося дѣйствія прерывателя индуктивной спирали; но Гассіо получалъ ихъ съ электрической машиной и съ своею батареею изъ 3500 паръ, причѣмъ прерыватель не употреблялся.

331. Каждый отдѣльный разрядъ индуктивной спирали черезъ надлежащую среду разрѣшается на рядъ пульсовъ, которые являются какъ слоистый разрядъ. При такихъ же обстоятельствахъ разрядъ отъ вольтовой батареи также разрѣшается на рядъ пульсовъ, обнаруживающихся слоеватостью,

### Дѣйствіе магнитовъ на свѣтящійся разрядъ.

332. Свѣтящійся разрядъ во всѣхъ отношеніяхъ есть



электрический токъ и магнитъ дѣйствуетъ на него подобно проволоцѣ, по которой идетъ токъ.

333. Но вслѣдствіе подвижности свѣтящагося тока въ разрывонныхъ газахъ магнитъ имѣетъ возможность дѣйствовать на него особенно поучительнымъ и интереснымъ образомъ.

334. Если помѣстить напр. трубку, черезъ которую проходитъ свѣтящійся разрядъ, между полюсами электромагнита, то при возбужденіи магнита токъ свѣта или отклоняется или совершенно погашается.

335. Въ послѣднемъ случаѣ при прерываніи тока проходящаго вокругъ магнита или при удаленіи трубки изъ магнитнаго поля свѣтящійся разрядъ снова появляется.

336. Въ извѣстныхъ случаяхъ, когда свѣтящійся разрядъ состоитъ изъ слабаго свѣта, вліяніе магнитной силы вызываетъ у положительнаго конца гейсслеровой трубки рядъ сильно освѣщенныхъ слоевъ; при удаленіи магнетизма эти слои исчезаютъ одинъ за другимъ такъ, какбудто поглощаются положительнымъ полюсомъ. Гассіо произвелъ нѣсколько чрезвычайно красивыхъ опытовъ этого рода.

337. Въ параграфѣ 306 было уже сказано, что разряды отъ индуктивной спирали совершаются всегда въ одномъ направленіи; поэтому въ каждой гейсслеровой трубкѣ мы имѣемъ положительный конецъ или полюсъ и отрицательный конецъ и полюсъ.

338. Если свѣтъ окружающій отрицательный полюсъ подвергнуть дѣйствию магнита, то онъ располагается по линіямъ магнитной силы; свѣтъ при положительномъ полюсѣ не обнаруживаетъ такого дѣйствія. Это открытіе сдѣлано Пликеромъ.

### **Магнито-электрическія машины. Машина Сакстона. Арматура Сименса.**

339. Открытіе Фаредеемъ магнито-электричества было сдѣлано въ 1831. А въ 1833 Сакстонъ устроилъ машину для произведенія сильныхъ магнито-электрическихъ токовъ.



340. Въ этой машинѣ спирали изъ мѣдной проволоки съ кусками желѣза внутри ихъ вращались передъ полюсами сильнаго магнита.

341. При приближеніи спирали къ одному изъ полюсовъ магнита въ ней индуцировался сильный токъ, направленіе котораго зависѣло отъ свойства полюса. Когда спираль удалялась отъ магнитнаго полюса, то возбуждался токъ въ противоположномъ направленіи. Объ этомъ возбужденіи противоположныхъ токовъ при приближеніи и удаленіи уже было сказано въ параграфахъ 283 и 284.

342. Посредствомъ инструмента называемаго *коммутаторомъ*, который въ надлежащее мгновеніе даетъ обратное направленіе одному изъ индуктивныхъ токовъ, противоположные токи направлялись такъ, что шли въ одномъ направленіи.

343. Куски мягкаго желѣза и соединенныя съ ними спирали и составляютъ то, что называется *арматурой*. Въ арматурѣ Сакстона обороты спирали идутъ *поперечно* къ находящемуся внутри ея желѣзному куску.

344. Но Сименсъ, навивая обороты своей спирали *продольно* или параллельно къ оси желѣзнаго куска и помѣщая устроенную такимъ образомъ арматуру между полюсами ряда подковообразныхъ магнитовъ, получилъ гораздо сильнѣйшіе токи, чѣмъ Сакстонъ.

### Машина Вильде.

Въ такомъ положеніи находилось дѣло, когда въ 1866 Вильде сдѣлалъ важное прибавленіе къ нашимъ знаніямъ объ магнито-электричествѣ.

345. Онъ проводилъ токъ, получавшійся отъ сименсовой арматуры вокругъ электро-магнита и нашелъ, что возбуждавшійся такимъ образомъ магнетизмъ былъ гораздо сильнѣе, чѣмъ магнетизмъ всего ряда стальныхъ магнитовъ, употреблявшихся для произведенія магнито-электрическаго тока.

346. Такъ напр. въ одномъ случаѣ онъ нашолъ, что въ



то время какъ рядъ постоянныхъ магнитовъ взятыхъ вмѣстѣ могъ поддерживать тяжесть въ 40 фунтовъ, электромагнитъ, который они возбуждали, поддерживалъ тяжесть въ 1088 фунтовъ.

347. Для произведенія такого эффекта нужно было однако, чтобы арматура магнито — электрической машины вращалась съ большою быстротою.

348. Но Вильде пошелъ далѣе. Сдѣлавши свой электромагнитъ изъ большаго куска желѣза и помѣстивши между его длинными полюсами соотвѣтственно длинную арматуру подобную по формѣ и по устройству арматурѣ въ магнито — электрической машинѣ, онъ получилъ отъ этой второй арматуры токи съ несравненно большею силою чѣмъ тѣ, которые давала первая арматура.

349. Эти токи въ свою очередь были проведены вокругъ втораго электромагнита, сдѣланнаго изъ еще большаго куска желѣза. Снабженный вращающейся арматурой этотъ второй электромагнитъ производилъ дѣйствія до сихъ поръ невиданныя. Желѣзные прутья въ четверть дюйма толщины плавились отъ этихъ токовъ, которые, когда разряжались между полюсами изъ угля, производили свѣтъ невыносимой яркости.

### Машина Сименса и Витстона.

350. Дальнѣйшій важный шагъ въ магнито — электричествѣ былъ сдѣланъ одновременно Вернеромъ Сименсомъ и серомъ Чарльзомъ Витстономъ.

351. Говоря въ общихъ выраженіяхъ, это открытіе состоитъ въ усиленіи до высокой степени напряженности малѣйшихъ количествъ магнетизма посредствомъ его собственнаго дѣйствія.

352. Вообразимъ себѣ электромагнитъ съ весьма малымъ количествомъ оставшагося въ немъ магнетизма, который никогда совершенно не исчезаетъ въ желѣзѣ, послѣ того какъ оно разъ было наэлектризовано. Предположимъ, что вторичная спираль съ кускомъ мягкаго желѣза въ ней вращается



передъ полюсами такого магнита. Вслѣдствіе этого во вторичной спирали будутъ циркулировать чрезвычайно слабые индуктивные токи. Вмѣсто того чтобы отводить эти токи въ сторону, проведемъ ихъ вокругъ электромагнита, который произвелъ ихъ; его магнетизмъ вслѣдствіе этого усилится. Теперь онъ въ состояніи производить болѣе сильные токи. И эти токи проведенные вокругъ того же магнита еще больше усилятъ его магнетизмъ; и слѣдствіемъ этого будетъ болѣе обильное возбужденіе индуктивныхъ токовъ. Такимъ образомъ вслѣдствіе ряда взаимодѣйствій между электромагнитомъ и вторичной спиралью, изъ которыхъ каждый увеличиваетъ другаго, электромагнитъ изъ состоянія почти совершенной нейтральности доходитъ до состоянія сильной намагниченности.

353. Когда магнитъ дошелъ до этого состоянія, то можно взять другія спирали кромѣ тѣхъ, которыя употреблялись для его намагничиванія и заставить ихъ вращаться передъ его полюсами или между ними; токи отъ этихъ другихъ спиралей можно отвести въ сторону и воспользоваться ими для намагничиванія, для химическихъ разложеній или для произведенія электрическаго свѣта.

354. Первая магнито-электрическая машина, предназначенная для произведенія свѣта съ напряженностью необходимою для маяковъ была устроена Гольмесомъ. Въ ней были устроены постоянные стальные магниты и вращающіяся спирали. Гольмесъ устроилъ недавно весьма сильную машину на основаніи принципа Сименса и Витстона.

### **Индуктивные токи лейденской баттарей.**

355. Если лейденскую банку или баттарею разрядить черезъ первичную спираль, то это вызываетъ токъ во вторичной спирали. При сильномъ разрядѣ этотъ вторичный токъ можетъ расплавить футъ тонкой платиновой проволоки.

356. Если токъ отъ вторичной спирали провести вокругъ третьей спирали, противъ которой находится четвертая, то



при разряженіи баттарей черезъ первичную спираль, вторичная спираль относительно третьей спирали играетъ роль первичной и вызываетъ въ четвертой спирали *третичный токъ*.

357. Съ другою парюю спиралей этотъ третичный токъ возбудитъ токъ *четвертаго порядка*; а этотъ съ новою парюю спиралей дастъ токъ *пятаго порядка*. Всѣ эти токи могутъ производить удары, зажигать порохъ и расплавлять проволоки.

Изслѣдованіемъ индуктивныхъ токовъ отъ лейденской баттарей мы обязаны профессору Джозефу Генри, директору Смитсоніанскаго института и профессору Риссу въ Берлинѣ.

К о н е ц ъ .

БИБЛИОТЕКА  
ИМПЕРАТОРСКАГО  
МОСКОВСКАГО  
ТЕХНИЧЕСКАГО УЧИЛИЩА.



Рабочій вопросъ въ его современномъ значеніи и средства къ его разрѣшенію. Соч. *Эрнеста Бехера*. Переведено подъ редакціею *Н. Н. Ткачева*. Съ приложеніемъ *Устава народнаго Банка Прудона и Уставовъ международной ассоціаціи рабочихъ*. Спб. 1869—1871 г. Изданіе книжнаго магазина Черкесова. Ц. 1 р. 75 к.

Дѣятели сорокъ восьматого года и ихъ роль въ событіяхъ, какъ 1848, такъ и послѣдующихъ лѣтъ. Соч. *А. Верморелля*. Спб. 1870. Ц. 2 р. 25 к.

Сочиненія *Н. А. Добролюбова*. Съ портретомъ автора. IV тома. Спб. 1872 г. Ц. 6 р.

О разведеніи, содержаніи и употребленіи домашнихъ животныхъ. *В. Баумейстера*. Перев. съ 3-го нѣмецкаго изданія, дополненный описаніемъ русскихъ породъ, подъ редакціей и съ примѣчаніями *А. Нажанова*, профессора земледѣльческаго института. Два тома, составляющіе три части съ 126 рисунками и изображеніями породъ скота. Ц. за 2 тома 3 р.

Гигіеническіе совѣты матерямъ. Руководство къ здоровому воспитанію дѣтей, *Д-ра Иогана Конрада Герлига*. врача въ Падерборнѣ. Переводъ съ нѣмецкаго съ нѣкоторыми измѣненіями и примѣчаніями *Н. Свентинскій*. Спб. 1862 г. Ц. 1 р. сер.

Анатомія лягушки. *А. Эккера*. Руководство для фізіологовъ, врачей и учащихся. Перев. съ нѣмецкаго *С. Ламанскаго*, 97 рис. въ текстѣ, сдѣланныхъ въ 3 цвѣта; Спб. 1866 г. Ц. 1 р. 50 к.

Чѣмъ мы грѣмся зимою? и развитіе и современное состояніе свѣтописи. Два популярныхъ чтенія профессора *Бекетова*. 1865 г. Ц. 30 к.

Какъ добывать поташъ, вытапливать сало, дѣлать свѣчи и варить мыло *В. Самойловича*. Спб. 1871 г. Изданіе книжнаго магазина Черкесова. Ц. 10 к.

О параличѣ, невралгіи и другихъ болѣзняхъ нервной системы, и объ успѣшномъ леченіи ихъ электричествомъ. Соч. *Юлія Алтгауса*. Переводъ съ англійскаго подъ редакціей *д-ра М. Руднева*. Спб. 1867 г. Ц. 1 р.

Руководство къ обученію грамотѣ по звуковому способу. Одобрено Ученымъ Комитетомъ Министерства Народнаго Просвѣщенія. Составили *Ф. Ф. Резенеръ* и *Е. С. Волковъ*. Изд. Книжнаго магазина Черкесова. Спб. 1870. Ц. 10 к.

Исторія возникновенія раціонализма въ Европѣ. *В. Э. Гартполя Лекки*. Въ двухъ томахъ. Переводъ съ англійскаго *А. Н. Пыпина*. Т. 1. Изданіе *Н. П. Полякова*. Спб. 1871 г. Ц. 1 р. 75 к.

Щѣна 75 к.

БИБЛИОТЕКА  
ИМПЕРАТОРСКАГО