

Зееман, Л.

Происхождение и веров  
спектра.

Одесса. 8.1.

П. ЗЕЕМАНЪ

Профессоръ университета въ Лейденъ.

# ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЦВѢТОВЪ СПЕКТРА.

Съ приложеніемъ статьи В. РИТЦА

„Линейные спектры и строеніе атомовъ“.

18440

Прогр. 1935



ПРОВЕРЕНО  
1952

ПРОВЕРЕНО  
1945

Тип. Акц. Ю.-Р. Общ.  
Печ. Дѣла, Одесса,  
Пушкинская, № 18.

БИБЛИОТ  
Московск

ФИЗИЧЕСКАЯ



## Происхожденіе цвѣтовъ спектра.

*П. Зеемана.*

О происхожденіи цвѣтовъ спектра можно говорить съ двухъ точекъ зрѣнія. Именно, можно обратить вниманіе на характеръ движеній частицъ, производящихъ въ эфиръ колебанія, которыя мы воспринимаемъ, какъ свѣтъ, или же можно интересоваться функціями приборовъ, которые раздѣляютъ цвѣта для нашего глаза. Я имѣю въ виду заняться этими двумя вопросами, хотя не могу этого сдѣлать со всею полнотой. Чтобы исчерпать этотъ предметъ, было бы необходимо написать цѣлую книгу по оптикѣ.

### I.

Мы не сомнѣваемся, что звѣзды и солнце, равно какъ и свѣтъ, который они испускаютъ, существуютъ внѣ насъ; но часть того, что мы наблюдаемъ, зависитъ отъ свойствъ, присущихъ намъ самимъ, а остальное—отъ природы свѣта,

испускаемаго свѣтилами. Можно себя спросить, гдѣ же находится эта граница, когда мы наблюдаемъ свѣтъ съ помощью спектроскопа. Или проще, когда мы производимъ въ лабораторіи спектральный анализъ источника бѣлаго свѣта, то какова при этомъ роль спектроскопа: остается ли она чисто пассивной, является ли свѣтъ, проникающій въ приборъ, по своимъ свойствамъ, совершенно тождественнымъ съ тѣмъ, который выходитъ изъ спектроскопа, или нѣтъ?

Долгое время на этотъ вопросъ отвѣчали утвердительно. Опыты, которые Ньютонъ произвелъ надъ бѣлымъ свѣтомъ, пропуская его черезъ круглое, а иногда прямоугольное, отверстіе, продѣланное въ экранѣ, и принимая его затѣмъ на призму, казалось, не допускали никакого другого толкованія. Въ мемуарѣ Ньютонъ отъ 1672 года, который знаменуетъ собой начало исторіи спектрального анализа, эти опыты приводятъ его къ тому заключенію, что основнымъ является не бѣлый свѣтъ, а составляющіе его цвѣтные лучи. Какъ говоритъ самъ Ньютонъ, его опыты доказываютъ, что совершенно такъ, какъ солнечный свѣтъ представляетъ собой смѣсь всякаго рода лучей, и его бѣлизна составлена изъ цвѣтовъ всевозможныхъ лучей; эти лучи уже сначала обладаютъ своими различными хроматическими свойствами, какъ и различной пре-

ломляемостью, и сохраняютъ ихъ безъ измѣненія, какимъ бы преломленіямъ и отраженіямъ они ни подвергались; но собственный ихъ цвѣтъ обнаруживается только тогда, когда данная категорія солнечныхъ лучей отдѣлена отъ остальныхъ.

Въ этомъ содержится, такимъ образомъ, утвержденіе, что свѣтъ, падающій на призму, по существу, остается тождественнымъ съ тѣмъ, который мы наблюдаемъ; и такъ какъ цвѣтной свѣтъ необходимо обладаетъ извѣстной правильностью въ послѣдовательности свѣтовыхъ волнъ, то эта правильность должна была бы уже существовать въ бѣломъ свѣтѣ. Это положеніе о чисто пассивной роли призмы мы находимъ въ трактатахъ, написанныхъ почти два столѣтія тому назадъ, и то же самое мы находимъ и въ современныхъ сочиненіяхъ о разложеніи свѣта съ помощью оптической рѣшетки.

Эту точку зрѣнія во всей ея полнотѣ отстаивали также нѣкоторые физики, истолковывая опыты Физо (Fizeau) и Фуко (Foucault) надъ интерференціей бѣлаго свѣта при большихъ разностяхъ фазъ.

Эти опыты сводятся къ слѣдующему. Бѣлый свѣтъ можетъ достигать одной и той же точки по двумъ, слегка различнымъ, путямъ, если его пропускать черезъ оптическій приборъ, надлежащимъ образомъ приспособленный; въ этой точкѣ, смотря

по обстоятельствамъ, окажется либо болѣе яркое освѣщеніе, либо темнота. Это явленіе можно наблюдать лишь до тѣхъ поръ, пока разность путей не превышаетъ нѣсколькихъ длинъ волны; но, если, по примѣру Физо и Фуко, мы будемъ разлагать бѣлый свѣтъ съ помощью сильнаго спектроскопа, то можно достигнуть разности въ 50 000—100 000 длинъ волны; съ помощью же новѣйшихъ спектроскоповъ въ этомъ направленіи можно было бы идти еще гораздо дальше.

При этомъ разсуждали слѣдующимъ образомъ: необходимо допустить, что въ промежутокъ времени, который нуженъ, чтобы два луча свѣта пришли въ то мѣсто, гдѣ производится наблюденіе, источникъ свѣта испускаетъ правильныя колебанія, соотвѣтствующія изслѣдуемому цвѣту; иначе какимъ образомъ могла бы произойти интерференція?

Прежде, чѣмъ дать отвѣтъ на этотъ вопросъ въ томъ видѣ, какъ онъ вытекаетъ изъ опытовъ Гуи (Gouy), Рэля (Rayleigh) и Шустера (Schuster), развитыхъ въ различныхъ направленіяхъ Ларморомъ (Larmor), Эмсомъ (Ames), Планкомъ (Planck), Зоммерфельдомъ (Sommerfeld), Лауэ (Laue) и другими, я хочу обратиться къ одной аналогіи изъ области акустики.

Мы будемъ исходить изъ одного замѣчательнаго наблюденія, которое было сдѣлано Христі-

аномъ Гюйгенсомъ (Christian Huygens) и опубликовано въ послѣдній разъ въ полномъ собраніи его сочиненій (Т. X, р. 571; см. также „Nature“, vol. 77, р. 247). Замѣтка, о которой идетъ рѣчь, была адресована де-ла-Гиру (de-la-Hire) и помѣчена ноябремъ 1693 года. Гюйгенсъ описываетъ и объясняетъ здѣсь чрезвычайно остроумнымъ образомъ музыкальный звукъ, получавшійся при отраженіи журчанія фонтана отъ ступеней большой лѣстницы въ паркѣ въ Шантильи.

„Я хочу прибавить здѣсь по поводу отраженія звука довольно странное наблюденіе, которое я когда-то сдѣлалъ въ замкѣ Шантильи подлѣ конной статуи, гдѣ спускаются внизъ большія ступени лѣстницы, и гдѣ находится фонтанъ, одинъ изъ тѣхъ, которые называются „водяными снопами“ и которые производятъ постоянный шумъ. Если спуститься внизъ и стать между лѣстницей и фонтаномъ, то слышенъ резонансъ, имѣющій опредѣленный музыкальный тонъ и продолжающійся непрерывно, пока фонтанъ бьетъ. Откуда происходитъ этотъ звукъ, тамъ не знали или указывали маловѣроятныя причины, такъ что я пожелалъ отыскать лучшее объясненіе. Я вскорѣ убѣдился, что этотъ звукъ происходилъ отъ отраженія журчанія фонтана отъ камней лѣстницы. Въ самомъ дѣлѣ, всякій звукъ или даже

шумъ, повторяясь чрезъ равные весьма малые интервалы, производитъ музыкальный звукъ; длина органной трубы опредѣляетъ тонъ, который она имѣетъ соотвѣтственно своей длинѣ, по той причинѣ, что толчки воздуха равномерно приходятъ въ одинаковые промежутки времени, которые волны употребляютъ, чтобы дважды пробѣжать трубу, когда послѣдняя сверху закрыта; подобно этому я полагаю, что каждый шумъ отъ фонтана, хотя бы и мало различимый, отражаясь отъ ступеней лѣстницы, долженъ достигать уха отъ каждой ступени тѣмъ позже, чѣмъ дальше она отстоитъ; и это происходитъ чрезъ совершенно равные промежутки времени, въ теченіе которыхъ воздушныя волны пробѣгаютъ туда и обратно ширину ступени. Измѣривъ эту ширину, которая оказалась равной 17 дюймамъ, я сдѣлалъ изъ бумаги трубку той же длины и убѣдился, что она даетъ тотъ же тонъ, который слышенъ внизу лѣстницы“.

„Я убѣдился, какъ я уже сказалъ выше, что этого тона не слышно, когда фонтанъ перестаетъ бить. Я имѣлъ случай посѣтить Шантильи зимой, когда навалило много снѣгу, нарушившаго правильность формы ступеней. Я убѣдился, что теперь ничего не было слышно, хотя фонтанъ билъ и журчалъ, какъ обыкновенно“.

Итакъ, по мнѣнію Гюйгенса, мы имѣемъ здѣсь дѣло съ музыкальнымъ звукомъ, который

производится движеніемъ воздуха въ формѣ короткихъ импульсовъ, отражаемыхъ ступенями лѣстницы, не одинаково удаленными отъ наблюдателя. Отраженные движенія ударяють въ ухо черезъ правильные промежутки времени.

Мы видимъ здѣсь, такимъ образомъ, точку зрѣнія на явленіе, совершенно отличную отъ той, о которой была рѣчь выше по поводу разложенія бѣлаго цвѣта Ньютонъ. Здѣсь правильность колебаній воспринимаемаго звука обусловливается внѣшней причиною.

Спрашивается, возможна ли и необходима ли такая точка зрѣнія по отношенію къ свѣту? Прежде, чѣмъ дать вполнѣ современный отвѣтъ на этотъ вопросъ, разберемъ еще поближе описанный выше опытъ Гюйгенса изъ области акустики.

Мы можемъ также сказать, что въ первоначальномъ звукѣ фонтана наблюдаемый музыкальный тонъ смѣшивался съ большимъ числомъ другихъ звуковъ, такъ что всякій звукъ, производимый бьющей и падающей водой, состоялъ изъ наблюдаемаго звука и другихъ. Вторая точка зрѣнія заключается, такимъ образомъ, въ томъ, что отражающія ступени лѣстницы только выдѣляли этотъ опредѣленный періодъ.

Лѣстница въ паркѣ Шантильи, съ этой точки зрѣнія, производила дѣйствіе, вполнѣ соотвѣтству-

ющее тѣмъ средствамъ, какими математики располагають въ рядахъ Фурье (Fourier). Путемъ вычисленія они выдѣляютъ простой періодъ изъ совершенно неправильныхъ нарушеній равновѣсія. Во всякомъ случаѣ, какъ съ одной, такъ и съ другой точки зрѣнія, правильность звука обуславливается правильностью распредѣленія ступеней лѣстницы, между тѣмъ какъ въ первоначальномъ звукѣ этой правильности нѣтъ совершенно.

Возвратимся теперь къ бѣлому свѣту. Его разсматриваютъ обыкновенно, какъ результатъ наложенія большого числа однородныхъ колебаній, періоды которыхъ сравнительно мало отличаются другъ отъ друга. Но ничто не мѣшаетъ намъ разложить свѣтовое движеніе иначе, что, съ той точки зрѣнія, которую предложили Гуи и Рэлей, иногда даетъ болѣе простое представленіе о явленіяхъ. Мы имѣемъ такое же право разсматривать бѣлый свѣтъ, какъ происходящій отъ совершенно неправильныхъ импульсовъ, подчиненныхъ исключительно тому условію, чтобы въ результатѣ получалось распредѣленіе напряженія, согласное съ тѣмъ, что мы наблюдаемъ въ дѣйствительности. Во многихъ случаяхъ самая форма импульсовъ, т. е. законъ, по которому скорость въ данной точкѣ зависитъ отъ времени, не имѣетъ значенія.

Очень легко объяснить въ этомъ смыслѣ, какимъ образомъ рѣшетки Роуленда (Rowland)

и Майкельсона (Michelson) преобразовываютъ импульсивное движеніе въ рядъ періодическихъ движеній. Эти рѣшетки представляютъ собой металлическія зеркала, на которыхъ нарѣзано большое число тонкихъ и параллельныхъ штриховъ. Мы предположимъ, что всѣ штрихи имѣютъ ту же самую ширину, и что промежутки также равны между собой. Свѣтъ отражается только этими промежутками. Представимъ себѣ, что на рѣшетку падаютъ параллельные лучи, и что двояковыпуклая линза собираетъ въ главномъ своемъ фокусѣ свѣтъ, отраженный въ наклонномъ направленіи.

Шустеръ изслѣдовалъ строго математически, какимъ образомъ рѣшетка преобразовываетъ колебаніе. Сущность этого можно изложить безъ вычисленій. Предположимъ, что падающее колебаніе представляетъ плоскую волну, параллельную рѣшеткѣ, въ которую оно \* ударяетъ. Разсмотримъ теперь плоскость, наклонную къ рѣшеткѣ. Колебанія, отраженные промежутками между штрихами рѣшетки, достигаютъ этой плоскости черезъ правильные промежутки времени. Если, слѣдовательно, линза расположена такимъ образомъ, что волна, параллельная этой наклонной плоскости, собирается въ главномъ ея фокусѣ, то возмущенія должны приходить въ этотъ фокусъ черезъ правильные промежутки времени и про-

изводить въ немъ, такимъ образомъ, періодическое движеніе. Причиной періодическаго движенія въ фокусѣ является рѣшетка. Положеніе линзы опредѣляетъ промежутокъ времени между возмущеніями, а, значитъ, и періодъ колебанія. Число штриховъ рѣшетки опредѣляетъ число періодовъ, т. е. опредѣляетъ, въ какой степени движеніе приближается въ однородной волнѣ. Иными словами, то, что называютъ разрѣшающей способностью рѣшетки, измѣряется числомъ штриховъ.

Совершенно такъ же, какъ въ случаѣ лѣстницы Гюйгенса, мы можемъ сказать, что рѣшетка является причиной періодическаго возмущенія, или что рѣшетка выдѣлила опредѣленный періодъ изъ сложнаго комплекса. Такъ или иначе, наблюдаемая правильность обусловлена внѣшней причиной.

Такимъ образомъ, производимое рѣшеткой преобразование импульсивнаго движенія въ рядъ періодическихъ движеній объясняется просто. Труднѣе понять, какъ это преобразование осуществляется призмой. Однако, и этотъ вопросъ удалось освѣтить; Эмсъ далъ даже элементарное объясненіе дѣйствія призмы на бѣлый свѣтъ.

Однако, я не буду заниматься этимъ; чтобы выяснить, что такіе опыты, какъ опыты Физо и Фуко, рѣшительно не требуютъ правильности въ свѣтъ, испускаемомъ источникомъ, быть мо-

жетъ, будетъ интереснѣе объяснить при помощи теоріи импульсовъ, простое явленіе интерференціи, въ родѣ того, которымъ пользовались Физо и Фуко. Намъ достаточно разсматривать одинъ импульсъ, чтобы получить точный результатъ въ извѣстныхъ опытахъ съ зеркалами Френеля (Fresnel). Два зеркала образуютъ уголъ почти въ  $180^{\circ}$ . Свѣтъ, выходящій изъ свѣтящейся линіи, параллельной ребру, вдоль котораго соприкасаются зеркала, отражается послѣдними. Въ мѣсто наблюденія приходитъ нѣкоторое количество свѣта отъ обоихъ зеркалъ. Всякій разъ, когда импульсъ выходитъ изъ свѣтящейся линіи, чрезъ интерференціонное изображеніе проходитъ первый импульсъ, затѣмъ второй—спустя промежутокъ времени, который зависитъ отъ мѣста наблюденія. Но можетъ ли здѣсь быть рѣчь о дѣйствительной интерференціи? Очевидно, нѣтъ, ибо оба импульса совершенно не зависятъ одинъ отъ другого. Объ интерференціи могла бы идти рѣчь только тогда, если бы импульсы были разрѣшены рѣшеткой или призмой въ рядъ періодическихъ движеній; тогда два ряда колебаній могли бы интерферировать другъ съ другомъ. Для того, чтобы могла быть рѣчь объ интерференціи, приборъ долженъ сначала образовывать волны; и именно, спектроскопъ, которымъ мы пользуемся, опредѣляетъ, до какой степени происходитъ интерференція.

Въ этомъ вопросѣ есть еще трудность, которую встрѣчаетъ всякій начинающій физикъ, если ему приходится производить опыты Френеля съ бѣлымъ свѣтомъ. Даже безъ спектроскопа въ бѣломъ свѣтѣ замѣчаются явленія, нѣсколько похожія на интерференцію. Какъ обнаружилъ Шустеръ, это обусловливается физиологической особенностью нашего глаза, заключающейся въ томъ, что онъ преимущественно реагируетъ на нѣкоторые періодическія движенія. Когда три составныя части глаза, при помощи которыхъ осуществляется зрѣніе, настроены на три основныхъ цвѣта, то онѣ могутъ быть приведены въ движеніе только колебаніями опредѣленнаго періода. Въ видѣ аналогіи здѣсь можно привести нѣкоторые опыты Гертца, а также нѣкоторые опыты изъ акустики. Но, я полагаю, и безъ этого не трудно понять, что явленія резонанса въ нашемъ глазѣ могутъ обусловить интерференцію. Дѣйствительно, первый импульсъ вызываетъ движеніе въ нашемъ глазѣ, и результатъ второго импульса будетъ зависѣть отъ промежутка времени, которое протекло до того, какъ онъ достигъ глаза.

Если бы глазъ не резонировалъ, опытъ съ зеркалами Френеля давалъ бы въ бѣломъ свѣтѣ весьма немного сходнаго съ интерференціей. Такъ, съ зачерненной полоской болометра, гдѣ всякій

резонансъ исключень, можно наблюдать одинъ, рѣзко выраженный, максимумъ, отдѣленный двумя минимумами. Этотъ остатокъ періодичности обусловливается тѣмъ, что въ кривой энергіи бѣлаго свѣта различные цвѣта не обнаруживаются съ одинаковой интенсивностью, а имѣется доминирующій цвѣтъ.

Я полагаю, что изложенныя соображенія выяснили положеніе Гуи и Рэлея, согласно которому вліяніе употребляемаго прибора имѣеть рѣшающее значеніе на природу свѣта, проникающаго въ глазъ; точнѣе, видимость явленій интерференціи въ бѣломъ свѣтѣ обусловливается единственно разрѣшающей способностью употребляемыхъ приборовъ. Въ случаѣ бѣлаго свѣта не можетъ быть рѣчи о правильности. Какъ говоритъ Планкъ, не существуетъ волны, которая въ такой мѣрѣ отрицала бы природу своего происхожденія, какъ обыкновенный бѣлый свѣтъ; Релей же выражаетъ это еще сильнѣе: именно, онъ говоритъ, что выраженіе „правильный бѣлый свѣтъ“ есть нѣчто такое, что Клиффордъ (Clifford) назвалъ бы своимъ словомъ „nonsense“.

Въ конечномъ счетѣ изслѣдованіе предѣла, до котораго можно довести разность фазъ въ опытахъ съ интерференціей, есть изслѣдованіе степени однородности, которую можетъ дать спектроскопъ. И необычайную важность имѣеть тотъ

фактъ, что газы, свѣтящіеся при слабомъ давлении, въ одно и то же время испускають свѣтъ замѣчательной однородности. Когда эти лучи отражаются рѣшеткой, ихъ періодъ не можетъ измѣниться, и они сохраняють ту же однородность. Пламя натрія, которымъ прежде исключительно пользовались въ качествѣ источника довольно однороднаго свѣта, замѣнено въ послѣднее время физиками, въ частности Майкельсономъ, парами металловъ, введенными въ трубки съ пустотой. Кадмій, ртуть, калій даютъ въ этомъ отношеніи великолѣпные результаты, а изъ спектральныхъ линій газовъ линія неона особенно замѣчательна по своей тонкости. При помощи зеленой линіи ртути Майкельсону удалось получить еще явленіе интерференціи при разности хода въ 540 000 волнъ. Фабри (Fabry) и Перо (Pérot) достигли даже 790 000 волнъ, удачно подобравъ условія. Мы можемъ отсюда заключить, что частицы, испускающія зеленый цвѣтъ ртути, правильно колеблются въ теченіе промежутка времени, необходимаго, чтобы испустить около милліона колебаній, — промежутокъ, все же значительно меньшій, нежели одна стомилліонная доля секунды. Повидимому, „спутники“ нѣкоторыхъ спектральныхъ линій испускають свѣтъ еще болѣе однородный. Многіе примѣры этого были найдены въ послѣдніе годы какъ упомянутыми уже фи-

зиками, такъ и Луммеромъ (Lummer), Герке (Gehrcke), Яницкимъ (Janicki) и Байеромъ (Baeyer) благодаря спектроскопамъ большой, разрѣшающей силы.

## II.

Тонкія спектральныя лініи совершенно необходимы въ нѣкоторыхъ изслѣдованіяхъ, имѣющихъ въ виду дать рѣшеніе второй изъ двухъ формулированныхъ нами вначалѣ проблемъ. Это вопросъ о томъ, какова природа и движеніе колеблющихся частицъ, испускающихъ свѣтъ. Повидимому, это суть движенія электроновъ, игрой которыхъ образуются катодные лучи, производящіе лініи спектровъ излученія.

Доказательствомъ того, что колеблющіяся частицы заряжены, служитъ тотъ фактъ, что онѣ подвержены вліянію магнита. Количественное же изслѣдованіе этого вліянія обнаруживаетъ также, что эти частицы должны быть тождественны съ тѣми, которыя движутся въ катодныхъ лучахъ.

Если мы введемъ въ магнитное поле газъ и заставимъ его свѣтиться, либо пропуская рядъ сквозь пустую трубку, содержащую химически простое тѣло въ парообразномъ или газообразномъ состояніи, либо пропуская потокъ искръ между двумя металлическими электродами, то мы увидимъ, что спектральныя лініи измѣнились.

Каждая линія разлагается въ рядъ другихъ линій. Въ наиболѣе простыхъ случаяхъ образуются двѣ или три составляющія линіи.

Если смотрѣть въ направленіи линій силъ, то можно наблюдать, какъ образуется двойная линія, состоящая изъ двухъ слагающихся, расположенныхъ по обѣ стороны первоначальнаго положенія линіи. Въ направленіи же, перпендикулярномъ къ линіи силъ, мы видимъ тройную линію: три линіи, одна изъ которыхъ находится на томъ же мѣстѣ, на которомъ была первоначальная линія, а двѣ другія одинаково отъ нея удалены — одна къ красному, другая къ фіолетовому концу спектра.

Вліяніе магнитныхъ силъ на спектральныя линіи было открыто мною въ 1896 и 1897 г.г. Въ этихъ изслѣдованіяхъ руководящей нитью служила теорія Лоренца, которую я изложу, ограничиваясь самымъ простымъ случаемъ, когда вещество даетъ одну спектральную линію. По теоріи Лоренца, молекулы или атомы содержатъ заряженныя частички, или электроны, которыя, будучи тѣмъ или инымъ путемъ выведены изъ состоянія равновѣсія, начинаютъ колебаться; они порождаютъ, такимъ образомъ, электромагнитныя колебанія, которыя, по Максвеллу, образуютъ тепловые и свѣтовые лучи. Расположеніе линій въ спектрѣ опредѣляется періодомъ колебанія электроновъ, такъ что каждому измѣненію въ

періодъ электрона отвѣчаетъ смѣщеніе соотвѣтствующей линіи.

Всѣ движенія электроновъ въ молекулахъ пламени или искры могутъ быть разсматриваемы, какъ составленные изъ трехъ простыхъ движеній, выбранныхъ такимъ образомъ, что дѣйствіе магнитнаго поля на эти движенія легко понять. Свѣтъ искры или пламени получается такой же, какъ будто въ немъ находятся три группы электроновъ, совершающихъ каждый одно изъ этихъ трехъ простыхъ колебаній. Первое простое колебаніе совершается параллельно силовымъ линіямъ. Группа электроновъ, которая производитъ это движеніе, вовсе не подвергается воздѣйствію со стороны магнитной силы; ея періодъ тотъ же, какъ и въ первоначальной линіи  $T$ .

Два другихъ простыхъ движенія суть круговыя движенія, перпендикулярныя силовымъ линіямъ и происходящія одно въ направленіи часовой стрѣлки, другое въ противоположномъ направленіи. ✕

Электронъ, совершающій круговыя колебанія въ магнитномъ полѣ, помимо упругости, дѣйствію которой онъ постоянно подверженъ, находится подъ вліяніемъ еще другой силы, зависящей отъ движенія. Это та же сила, которая въ магнитномъ полѣ искривляетъ траекторіи катодныхъ лучей; она постоянно перпендикулярна къ пло-

скости, которую можно провести черезъ направленіе магнитной силы и черезъ направленія движенія. Смотри по направленію кругового движенія, магнитное поле, такимъ образомъ, усиливаетъ или ослабляетъ упругія силы и соотвѣтственно этому укорачиваетъ или удлиняетъ періодъ колебанія.

Вмѣсто одного движенія съ періодомъ  $T$  мы получаемъ теперь въ общемъ три движенія, съ періодами  $T$ ,  $T+v$  и  $T-v$ , гдѣ  $v$  есть небольшое количество. Каждому изъ этихъ движеній электроновъ отвѣчаетъ свѣтовое колебаніе.

Если разсматривать свѣтъ въ направленіи, перпендикулярномъ къ силовымъ линіямъ, то въ спектроскопѣ видно, что каждая линія расщепляется на три. Спектръ представляетъ большое количество такихъ тройниковъ. Особенно замѣчательно, что эти линіи остаются совершенно отчетливыми: онѣ не размыты, явленіе совершенно ясно выражено. Этого, несомнѣнно, не было бы, если бы всѣ молекулы не проявляли себя совершенно одинаково. Между тѣмъ, какъ показалъ Ломанъ (Lohmann), гелій представляетъ собой вещество, всѣ линіи котораго превращаются въ тройники.

Теорія Лоренца предусматрѣла еще одну особенность. Обратимся снова къ свѣту, испускаемому въ направленіи, перпендикулярномъ къ магнитной силѣ. Три свѣтовые линіи, наблюдаемыя

въ этомъ направленіи, вызываются колебаніями одного и того же вида: онѣ, слѣдовательно, поляризованы прямолинейно. Линія, періодъ которой не измѣнился, производится колебаніями, параллельными магнитной силѣ. Двѣ крайнія слагающія обусловливаются колебаніями, перпендикулярными къ этой силѣ. Съ помощью николевой призмы мы можемъ получить по произволу либо среднюю составляющую, либо двѣ крайнія.

Этимъ опытомъ мнѣ удалось впервые получить поляризованный свѣтъ отъ молекулъ газа. Всѣ прежнія попытки потерпѣли неудачу. Между тѣмъ, эти поляризаціонныя явленія не оставляютъ желать ничего съ точки зрѣнія отчетливости. Они совершенно характерны, средняя составляющая поляризована совершенно прямолинейно, причемъ плоскость поляризаціи расположена, скажемъ, вертикально. Крайнее колебаніе также цѣликомъ поляризовано, но въ плоскости, перпендикулярной къ первой, и, слѣдовательно, горизонтальной.

Разсмотримъ теперь свѣтъ, распространяющійся по направленію магнитной силы. Непосредственно ясно, что въ этихъ условіяхъ мы увидимъ только двѣ спектральныя линіи, соотвѣтствующія періодамъ колебаній  $T + v$  и  $T - v$ . Эти двѣ линіи должны быть поляризованы кру-

говымъ образомъ — одна направо, другая налѣво. Наблюденія подтверждаютъ это предсказаніе.

Какой зарядъ несутъ колеблющіяся частицы: положительный или отрицательный? Есть ли какое-либо средство это установить? Дѣйствіе магнитнаго поля на спектральныя линіи и здѣсь можетъ дать отвѣтъ на вопросъ. Для этого достаточно изслѣдовать, будетъ ли линія съ періодомъ  $T + v$ , когда магнитная сила направлена къ наблюдателю, поляризована направо или налѣво. Результатъ наблюденія доказываетъ, что частички, совершающія колебательное движеніе и производящія такимъ образомъ свѣтъ, заряжены отрицательно.

Это не означаетъ, конечно, что свѣтящіеся атомы всѣ заряжены отрицательно. Прекрасное изслѣдованіе Штарка (Stark) надъ явленіемъ Доплера (Doppler), обнаруживающимся въ каналовыхъ лучахъ, ясно показало, что въ большемъ числѣ случаевъ центрами лучеиспусканія спектральныхъ линій простыхъ тѣлъ являются атомы съ положительными зарядами. Этотъ положительный зарядъ обусловливается тѣмъ, что атомъ, первоначально нейтральный, потерялъ одинъ или нѣсколько электроновъ. Испускаемый спектръ, несомнѣнно, зависитъ отъ числа отрицательныхъ частицъ, утраченныхъ атомомъ; но, согласно послѣднимъ изслѣдованіямъ Штарка,

повидимому, нельзя дать простого правила, которое устанавливало бы соотношеніе между числомъ утраченныхъ электроновъ и природой спектровъ.

Магнитное разложеніе линій на тройники позволяетъ намъ также отвѣтить на важный вопросъ, какое количество матеріи связано съ движущимся электрономъ. Величина наблюдаемаго измѣненія  $\nu$  въ періодѣ колебанія позволяетъ вычислить отношеніе заряда  $e$  къ массѣ  $m$ . Это замѣчательное число  $e/m$ , выраженное чрезъ электромагнитныя единицы на граммъ, есть величина порядка  $10^7$ . Очень большое число спектральныхъ линій даетъ для этого отношенія значенія, содержащіяся между  $1.4 \times 10^7$  и  $1.8 \times 10^7$ .

Наблюденія надъ катодными лучами дало для отношенія заряда къ массѣ несущаго его электрона значенія, весьма близкія къ тѣмъ, которыя получаются изъ магнитнаго разложенія спектральныхъ линій. Есть даже нѣкоторыя линіи, для которыхъ между этими числами царитъ полное согласіе. Не можетъ быть сомнѣнія въ томъ, что это количественное согласіе въ явленіяхъ столь различнаго характера доказываетъ, что между этими явленіями имѣется тѣсная связь. Въ высшей степени вѣроятно, что тѣ же электроны колеблются какъ въ источникахъ, испускающихъ свѣтъ и тепло, такъ и въ катодныхъ

лучахъ; они раскрываютъ предъ нами, такимъ образомъ, строеніе электричества, лишенное непрерывности, въ простѣйшихъ условіяхъ.

Мы нашли, такимъ образомъ, источникъ цвѣтовъ спектра въ томъ смыслѣ, въ какомъ мы это понимаемъ въ настоящей второй главѣ.

Болѣе детальное изслѣдованіе магнитнаго разложенія, въ которомъ приняли участіе наиболѣе выдающіеся экспериментаторы всѣхъ націй, обнаружило, однако, что эти простые результаты, согласующіеся съ элементарной теоріей Лоренца, допускаютъ большое число исключеній. При помощи болѣе усовершенствованныхъ средствъ можно обнаружить болѣе сложное разложеніе. Нерѣдко оказывается больше трехъ составляющихъ, но и въ этихъ сложныхъ разложеніяхъ почти всегда обнаруживается полная симметрія по отношенію къ первоначальной линіи какъ по расположенію, такъ и по интенсивности. Я приведу здѣсь только нѣсколько примѣровъ разложеній, иногда очень сложныхъ, но всегда рѣзко выраженныхъ. Линія натрія  $D_1$  разлагается на четыре составляющихъ, линія  $D_2$  на шесть составляющихъ; нѣкоторыя линіи ртути разбиваются на девять равно удаленныхъ одна отъ другой составляющихъ, какъ будто каждый изъ трехъ тройниковъ вновь раздѣлился на три части. Но это еще не самое большое число составляющихъ, какое

удалось наблюдать: спектръ неона содержитъ нѣкоторыя линіи, которыя даютъ 15 составляющихъ, а въ спектрѣ вольфрама имѣются линіи, которыя даютъ отъ 17 до 19 составляющихъ.

Но даже въ этихъ весьма сложныхъ разложеніяхъ имѣется весьма важный пунктъ, по отношенію къ которому остается въ силѣ согласіе съ элементарной теоріей Лоренца. Это относится къ состоянію поляризаціи составляющихъ: совершенно такъ же, какъ въ тройникѣ, всегда имѣются три группы лучей.

Прежде, чѣмъ говорить о попыткахъ разъясненій этихъ замѣчательныхъ разложеній, я желалъ бы упомянуть еще о нѣкоторыхъ результатахъ, относящихся къ соотношеніямъ между составляющими линіями одного элемента или различныхъ элементовъ.

Тщательныя работы Бальмера (Balmer), Кайзера и Рунге (Kayser, Runge), Ридберга и Шюстера (Rydberg, Schuster) обнаружили существованіе такъ называемыхъ рядовъ спектральныхъ линій. Линіи одного и того же ряда располагаются замѣчательно правильнымъ образомъ, и эта правильность можетъ быть выражена простой формулой. Законы, которымъ слѣдуютъ эти ряды, проще, чѣмъ законы колебанія звучащихъ тѣлъ. Впрочемъ, они совершенно отличны отъ послѣднихъ. Въ то время, какъ здѣсь всѣ

члены ряда стремятся къ нѣкоторому наибольшему числу колебаній, для звуковыхъ колебаній этотъ предѣлъ остается неопредѣленнымъ.

Престонъ (Preston) показалъ, что всѣ линіи одного и того же ряда разлагаются одинаково; фигуры разложенія оказываются не только схожими, но самое разложеніе оказывается совершенно тождественнымъ, если его выразить числомъ колебаній въ секунду, и соотвѣтствующія линіи различныхъ веществъ сохраняютъ въ этомъ отношеніи ту же правильность.

Это правило, которое обнаружилъ Престонъ, не указывая ни степени приближенія, ни числа изслѣдованныхъ случаевъ, было подвергнуто весьма точному контролю Рунге и Пашеномъ.

Можно было опасаться, что въ этихъ сложныхъ разложеніяхъ уже не сохранится простое соотношеніе, связывавшее вначалѣ разложеніе на тройники съ нормальнымъ значеніемъ дроби  $e/m$ , которое даютъ катодные лучи. И дѣйствительно, первое впечатлѣніе, которое получается при взглядѣ на фигуру, изображающую наиболѣе интересное разложеніе (какъ, напримѣръ, тѣ, которыя встрѣчаются въ прекрасномъ сочиненіи о магнито-оптическихъ явленіяхъ, недавно опубликованномъ Фойгтомъ (Foigt), расходится съ этимъ результатомъ. Къ счастью, Рунге удалось найти

правило, обнаруживающее, что сложное разложение также находится въ простомъ соотношеніи съ нормальнымъ значеніемъ дроби  $e/m$ . Въ виду этого правила становится поэтому весьма вѣроятнымъ, что и въ этихъ явленіяхъ доминируютъ обыкновенные электроны катодныхъ лучей.

Нельзя отрицать, что мы проникли уже далеко по пути, ведущему къ выясненію происхожденія цвѣтовъ. Необходимо, однако, проникнуть еще дальше, чтобы уяснить тайну рядовъ спектральныхъ линій и сложныхъ магнитныхъ разложений, которыя тѣсно связаны съ первыми.

Чтобы отдать себѣ отчетъ при помощи своей теоріи въ этихъ сложныхъ разложеніяхъ, Лоренцъ изслѣдовалъ вопросъ объ испусканіи системъ электроновъ, подчиненныхъ извѣстнымъ условіямъ. Можно разобрать также разложение и состояніе поляризаціи въ томъ случаѣ, когда первоначальная линія очень тонка. Очень труднымъ представляется дать теорію испусканія въ томъ случаѣ, когда плотности становятся весьма большими и когда линія испусканія имѣетъ, слѣдовательно, нѣкоторую ширину. Задача о поглощеніи легче; такъ, Фойгтъ въ своей общей теоріи магнито-оптическихъ явленій не разбираетъ теоріи испусканія системы электроновъ, а даетъ теорію ихъ поглощенія. Здѣсь приходится имѣть дѣло съ тѣмъ, что называютъ обратнымъ

эффектомъ, т. е. съ разложеніемъ линій поглощенія магнитнаго поля. Въ виду параллелизма, который существуетъ между явленіями поглощенія и испусканія, здѣсь можно найти также особенности, относящіяся къ испусканію. Этотъ путь естественно раскрываетъ также соотношенія въ интенсивности линій поглощенія въ магнитномъ полѣ.

Разрабатывая теоретически этотъ вопросъ, уже невозможно строго придерживаться теоріи электроновъ; приходится скорѣе считаться съ методомъ феноменологическимъ. Это приводитъ къ уравненіямъ, которыя удовлетворительно воспроизводятъ явленія, и которыя, надо надѣяться, со временемъ удастся истолковать на языкѣ электронной теоріи.

Одной изъ наибольшихъ заслугъ теоріи Фойгта, несомнѣнно, является то обстоятельство, что она устанавливаетъ простую и раціональную связь между вращательной магнитной поляризацией, которая была уже извѣстна давно, и магнитнымъ разложеніемъ спектральныхъ линій. Эта теорія, кромѣ того, предсказала, что въ направленіи, перпендикулярномъ къ магнитной силѣ, пары металловъ, помѣщенные въ магнитномъ полѣ, проявляютъ себя совершенно такъ же, какъ двупреломляющій кристаллъ, по крайней мѣрѣ, для цвѣтовъ, близкихъ къ полосѣ погло-

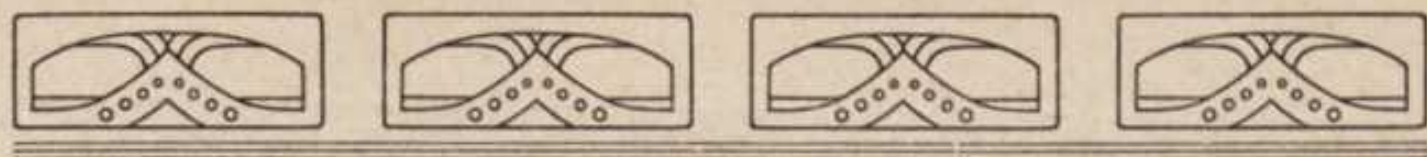
щенія. Эти интересныя слѣдствія теоріи Фойгта, а также многія другія, были подтверждены опытомъ. Но, углубляясь въ эти детали, я уже вышелъ за предѣлы этой замѣтки. Изученіе всей области магнито-оптическихъ явленій, ихъ связи съ основными вопросами оптики сдѣлалось болѣе доступнымъ и болѣе интереснымъ съ тѣхъ поръ, какъ Фойгтъ далъ въ своей книгѣ общую картину ихъ. Читатель сможетъ лично убѣдиться въ тѣхъ преимуществахъ, какія представляетъ связное и цѣльное сочиненіе, а также въ той легкости, съ которой усваивается наука въ состояніи рожденія.

Въ этомъ именно состояніи находятся и другіе вопросы, тѣсно связанные съ предыдущими. Я не привелъ еще магнито-оптическихъ явленій, которыя представляютъ нѣкоторые поглощающіе кристаллы, какъ, напримѣръ, ксенотимъ и тизонитъ (а также нѣкоторыя соединенія эрбія и дидама); они были изслѣдованы съ рѣдкимъ успѣхомъ Ж. Бекереллемъ (J. Becquerelle) при обыкновенной температурѣ, при температурѣ жидкаго воздуха и въ лабораторіи для замораживанія Камерлингга Оннеса (Kamerlingh Onnes) даже при температурѣ твердаго водорода, т. е. при самой низкой температурѣ, какая до сихъ поръ достигнута. Я не упомянулъ также о тѣхъ трудностяхъ, какія теоріи предстоитъ еще побѣдить,

чтобы скомбинировать всѣ данныя, собранныя Дю - Б у а (du Bois) и Э л і а с о м ъ (Elias) въ прекрасныхъ изысканіяхъ о соединеніяхъ съ избирательнымъ поглощеніемъ ряда парамагнитныхъ элементовъ, произведенныхъ въ кріомагнитномъ аппаратѣ и въ полѣ, достигающемъ 40.000 гауссовъ.

Въ заключеніе я приведу еще первое космическое приложеніе магнитнаго разложенія спектральныхъ линій. Я имѣю въ виду прекрасное открытіе Г о л а (Hale) относительно магнитнаго характера солнечныхъ пятенъ, которое выяснилось вслѣдствіе особаго характера двойниковъ ихъ спектральныхъ линій.





# Линейные спектры и строение атомовъ.

*В. Ритца.*

## I. Общія положенія.

### Новые эмпирическіе законы.

Не смотря на постоянно возобновляющіяся усилія изслѣдователей, природа атомовъ и молекулярныхъ силъ намъ все еще пока очень мало извѣстна. Въ самомъ дѣлѣ, большая трудность задачи заключается въ томъ, что въ большинствѣ случаевъ, мы наблюдаемъ не свойства атомовъ, но сложныя среднія явленія, зависящія отъ беспорядочнаго молекулярнаго движенія и внѣшнихъ причинъ.

Есть, однако, одно важное исключеніе изъ этого правила: спектры простыхъ тѣлъ намъ непосредственно даютъ свѣдѣнія о различныхъ видахъ колебанія атомовъ; ибо расположеніе линій въ

спектръ почти совершенно не зависятъ ни отъ температуры, ни отъ внѣшнихъ условій, ни даже отъ дѣйствія молекулъ другъ на друга.

Очевидно, если бы можно было судить по колебаніямъ электрическихъ зарядовъ атома о силахъ, которыя ихъ производятъ, и о расположеніи или движеніи самихъ зарядовъ, — то задача была бы рѣшена. Итакъ, чрезвычайная точность спектральныхъ измѣреній даетъ намъ по этому вопросу многочисленные и цѣнные документы, но написанные, къ сожалѣнію, іероглифами, которыхъ мы не умѣемъ разбирать. Но все таки, благодаря замѣчательной простотѣ нѣкоторыхъ эмпирическихъ законовъ, связывающихъ другъ съ другомъ длины волнъ отдѣльныхъ линій спектра, нѣкоторые результаты въ этомъ направленіи были получены.

И дѣйствительно, изъ нижеслѣдующаго будетъ видно, что задача для водорода во всякомъ случаѣ имѣетъ очень простое рѣшеніе, вполне согласное съ общимъ взглядомъ на строеніе атомовъ, сложившимся подъ вліяніемъ послѣднихъ открытій.

Припомнимъ замѣчательную формулу, найденную Бальмеромъ (Balmer), которая связываетъ между собой длины волнъ  $\lambda$  спектральныхъ линій водорода. Ее можно написать слѣдующимъ образомъ, обозначая черезъ  $N$  нѣкоторую

постоянную:

$$\frac{1}{\lambda} = N \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Давая  $m$  послѣдовательно значенія 3, 4, 5, ..., 32, мы получаемъ точныя длины волнъ всѣхъ линій водорода. Если есть ошибка, то, повидимому, она меньше одной стотысячной.

Пикерингъ (Pickering) открылъ въ спектрѣ нѣкоторыхъ звѣздъ, въ которыхъ преобладаетъ водородъ, вторую серію линій, которую мы еще не умѣемъ воспроизвести въ лабораторіи; эта серія выражается формулой:

$$\frac{1}{\lambda} = N \left[ \frac{1}{2^2} - \frac{1}{\left(m + \frac{1}{2}\right)^2} \right], \quad m = 1, 2, 3, \dots,$$

въ которой  $N$  обозначаетъ ту же постоянную, что и выше.

Согласно Бальмеру (Balmer) и Рюдбергу (Rydberg) есть основаніе думать, что въ дѣйствительности эти формулы должны содержать каждая два произвольныхъ цѣлыхъ числа  $m$  и  $n$ ; такимъ образомъ, спектръ водорода выражался бы формулами:

$$\frac{1}{N} \cdot \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2}, \quad (1)$$

$$\frac{1}{N} \cdot \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{n^2} - \frac{1}{\left(m + \frac{1}{2}\right)^2}, \quad (2)$$

гдѣ значенія  $n = 3, 4 \dots$  соотвѣтствуютъ инфра-краснымъ линіямъ. Эта гипотеза совсѣмъ недавно получила блестящее подтвержденіе. По моимъ указаніямъ Пашенъ (Paschen) нашелъ, дѣйствительно, двѣ инфра-красныя линіи водорода, которыя ему удалось измѣрить съ большою точностью \*). Онъ получилъ:

$$\lambda = 18.751,3 \pm 1U. \text{\AA}^{**})$$

и

$$\lambda = 12.817,6 \pm 1,5U. \text{\AA};$$

формулы же

$$\frac{1}{N} \cdot \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{3^2} - \frac{1}{4^2}, \quad \frac{1}{N} \cdot \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{3^2} - \frac{1}{5^2}$$

даютъ:

$$\lambda = 18.751,6 \text{ и } 12.818,7.$$

Итакъ, согласіе формулъ съ наблюденіемъ не оставляетъ желать ничего лучшаго.

Формулы эти настолько просты, что стремленіе найти такіе механическія или электромагнитныя системы, колебанія которыхъ выражались бы ими, нельзя считать лишенными смысла. Впрочемъ, подобныя законы были, какъ извѣстно, найдены Рюдбергомъ, Кайзеромъ (Kayser)

\*) F. Paschen, Annalen der Physik, октябрь, 1908.

\*\*) Единиць Онгстрёма (Ångstrom).

и Рунге (Runge) и въ другихъ спектрахъ. И въ этихъ случаяхъ также доказано\*), что формулы содержатъ два произвольныхъ цѣлыхъ числа. По Рюдбергу въ первомъ приближеніи можно написать ихъ такъ:

$$\frac{1}{N\lambda} = \frac{1}{(n+a)^2} - \frac{1}{(m+a')^2}$$

и болѣе точно, какъ указалъ авторъ настоящей статьи:

$$\frac{1}{N\lambda} = \frac{1}{\left(n+a+\frac{b}{n^2}\right)^2} - \frac{1}{\left(m+a'+\frac{b'}{m^2}\right)^2} \cdot (3)$$

Здѣсь  $N$  имѣетъ то же значеніе, какъ и въ случаѣ водорода, тогда какъ постоянныя  $a, b, a', b'$  различны для различныхъ элементовъ. Выбирая ихъ надлежащимъ образомъ и полагая  $m = 1\frac{1}{2}$ ,  $n = 2, 3, \dots$ , мы изъ формулы (3) получаемъ „главную серію“ Кайзера и Рунге; для  $n = 2$ ,  $m = 2\frac{1}{2}, 3\frac{1}{2}, \dots$  мы получаемъ вторую побочную серію; системамъ значеній  $n = 3$ ,  $m = 2\frac{1}{2}, \dots$  и т. д. также соотвѣтствуютъ

---

\*) Для болѣе подробнаго ознакомленія съ дѣйствительнымъ см. мои различные мемуары: Comptes Rendus, t. CXLV, p. 178, 1907; Physical. Zeitschr., августъ, 1908; The astrophysikal Journal, октябрь, 1908; Ann. der Physik, t. XXV, p. 660, 1908.

наблюдавшіяся линіи. Замѣняя  $a'$ ,  $b'$  нѣкоторыми новыми постоянными  $a''$ ,  $b''$ , получаемъ для  $n = 2$ ,  $m = 3, 4, 5 \dots$  первую побочную серію, которая для  $m = \infty$  имѣетъ тотъ же предѣлъ, что и вторая. И въ этомъ случаѣ удалось найти инфра-красныя линіи  $n = 3$ ,  $m = 3, 4$  и т. д. Но, если вмѣсто того, чтобы сочетать, какъ мы сдѣлали выше, первый членъ, содержащій  $a$  и  $b$ , со вторымъ, содержащимъ  $a'$ ,  $b'$  или  $a''$ ,  $b''$ , мы напишемъ выраженіе:

$$\frac{1}{N\lambda} = \frac{1}{\left(n + a' + \frac{b'}{n^2}\right)^2} - \frac{1}{\left(m + a'' + \frac{b''}{m^2}\right)^2}, \quad (4)$$

въ которомъ сочетаются  $a'$ ,  $b'$  въ первомъ членѣ съ  $a''$ ,  $b''$  во второмъ, то мы получимъ новыя линіи, которыя дѣйствительно наблюдались, по крайней мѣрѣ, въ нѣкоторыхъ спектрахъ. Этотъ результатъ особенно ясно указываетъ на значеніе этихъ формулъ. Наконецъ, комбинируя аналогичнымъ образомъ главную серію самое съ собой, мы получаемъ для литія и натрія:

$$\frac{1}{N\lambda} = \frac{1}{\left(m + a + \frac{b}{m^2}\right)^2} - \frac{1}{\left(n + a + \frac{b}{n^2}\right)^2}. \quad (5)$$

Изъ этихъ законовъ слѣдуетъ, что, складывая или вычитая частоты двухъ наблюдаемыхъ

линій или серій, мы получаемъ частоту новой линіи или цѣлой серіи линій. Ошибки, которыя при этомъ получаются, бываютъ того же порядка, что и экспериментальныя неточности. Такъ, напри- мѣръ, для гелія мы находимъ для самой яркой линіи системы (4)  $\frac{1}{\lambda} = 26 \cdot 244,86$ ; опытъ же даетъ 26 . 244,78.

Этимъ я и ограничусь. Итакъ, мы видимъ, что:

1. Простые законы получаются всегда для  $\frac{1}{\lambda}$ , т. е. для частоты.

2. При безконечномъ увеличеніи одного или другого изъ цѣлыхъ чиселъ полученныя частоты стремятся къ опредѣленному предѣлу.

3. Каждый изъ двухъ членовъ формулы имѣетъ, нѣкоторымъ образомъ, самостоятельное существованіе, и, комбинируя различнымъ обра- зомъ такіе члены, мы получаемъ линіи спектра.

## II. Гипотеза атомныхъ полей.

Эти общіе выводы вполне ясно оттъняютъ большую разницу, существующую между упру- гими, электрическими и другими намъ извѣстными колебаніями, съ одной стороны, и колебаніями, соотвѣтствующими спектральнымъ линіямъ, съ другой. Прежде всего,—и на этомъ лордъ Рэлей (Rayleigh) особенно настаивалъ,—простые законы

колебательныхъ явленій относятся, за малыми исключеніями, къ квадратамъ частотъ, а не просто къ частотамъ. Это происходитъ оттого, что уравненія движенія содержатъ не только координаты, опредѣляющія состояніе системъ, но и вторыя производныя или ускоренія. Въ самомъ дѣлѣ, когда дѣло идетъ о колебаніяхъ, время входитъ только въ формѣ  $\sin v(t - t_0)$ , — выраженіе, вторая производная котораго содержитъ множитель  $v^2$ . Слѣдовательно, для опредѣленія частоты  $v$ , такъ какъ  $\sin v(t - t_0)$  исчезаетъ изъ результата, мы получаемъ, въ концѣ концовъ, уравненіе относительно  $v^2$ , и только въ исключительныхъ случаяхъ можно алгебраически извлечь квадратный корень. Дѣло обстояло бы иначе, какъ замѣчаетъ это лордъ Рэлей, если бы дифференціальныя уравненія были перваго порядка. Къ сожалѣнію, введеніе ускореній со всѣхъ точекъ зрѣнія представляется безусловно необходимымъ, такъ что на первый взглядъ наше положеніе кажется безвыходнымъ.

Однако, слѣдующая простая гипотеза выведетъ насъ изъ затрудненія. Если силы, которыя производятъ колебанія, не будутъ опредѣляться положеніемъ или деформаціей системы, какъ это обыкновенно бываетъ для упругихъ и другихъ системъ, а будутъ зависѣть отъ скоростей, то въ уравненіяхъ движенія, кромѣ этихъ скоростей,

будутъ содержаться ихъ первыя производныя, т. е. ускоренія; они будутъ перваго порядка по отношенію къ скоростямъ.

Магнитная сила удовлетворяетъ именно этому условію; болѣе того, мы уже не можемъ сомнѣваться въ существованіи мощныхъ магнитныхъ полей внутри атомовъ. По теоріи ферро-магнетизма П. Вейсса \*) (P. Weiss), эти поля, по крайней мѣрѣ, порядка  $10^7$  гауссовъ (порядокъ величины молекулярнаго магнитнаго поля). Эта теорія, какъ извѣстно, нашла себѣ замѣчательное подтвержденіе въ количественномъ объясненіи аномалій удѣльной теплоты желѣза, никкеля и кобальта. Съ другой стороны, Гёмфрейзъ (Humphreys) для объясненія законовъ перемѣщенія линій подъ вліяніемъ давленія (явленіе, открытое имъ нѣсколько лѣтъ тому назадъ), долженъ былъ приписать эти законы взаимному дѣйствію молекулярныхъ полей порядка величины  $10^8$  гауссовъ.

Легко показать, что съ такимъ полемъ возможно безконечнымъ множествомъ способовъ получить колебанія корпускулы съ частотой, пропорціональной этому полю и порядка величины, соотвѣтствующей свѣтовымъ колебаніямъ. Достаточно, напримѣръ, подчинить корпускулы условію,

---

\*) См. „Revue générale des Sciences“ отъ 15 февраля 1908 г.

чтобы онѣ оставались на опредѣленномъ элементѣ поверхности или въ данной плоскости: эта корпунска, будучи приведена въ движеніе, будетъ совершать круговое движеніе частоты  $\nu$ , пропорціональной составляющей  $H_n$  поля  $H$ , перпендикулярной къ плоскости. Если къ полю  $H_n$  прибавляется новое поле  $H'_n$ , которое само по себѣ вызвало бы колебаніе частоты  $\nu'$ , то положеніе обоихъ полей дастъ частоту  $\nu + \nu'$ . Такимъ образомъ, мы дѣйствительно получаемъ линейную зависимость, требуемую закономъ постоянныхъ разностей и законами, приведенными выше.

### III. Спектры водорода. Серіи.

Предположимъ теперь, что силы, которыя производятъ колебанія, соотвѣтствующія линейчатымъ спектрамъ, или, точнѣе, спектрамъ съ линіями, расположенными въ серіи, были бы исключительно магнитныя. Эта гипотеза позволитъ намъ объяснить существованіе предѣла частотъ и, въ особенности, дастъ простое истолкованіе формулъ (1) и (2) для водорода; болѣе того, она дастъ намъ возможность понять происхожденіе аномальныхъ и сложныхъ явленій *Зеемана* (Zeeman). И тогда эта гипотеза станетъ тѣмъ болѣе вѣроятной, что, несмотря на усилія многочисленныхъ изслѣдователей, до сихъ поръ не было найдено

никакого удовлетворительнаго рѣшенія ни той ни другой задачи.

Допустимъ (это будетъ наиболѣе простая гипотеза), что поле производится магнитомъ, и предположимъ, въ видахъ симметріи, что корпункула расположена на продолженіи линіи, соединяющей полюсы, на разстояніи  $r_1$  отъ перваго и  $r_2$  отъ втораго полюса, и что она совершаетъ маленькія колебанія въ плоскости, перпендикулярной къ этой линіи. Пусть  $\mu$  будетъ магнитный зарядъ одного изъ полюсовъ; тогда частота будетъ пропорціональна полю въ точкѣ, гдѣ находится корпункула, т. е.

$$\mu \left( \frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right).$$

Пусть  $A$  будетъ коэффициентъ, который зависитъ только отъ заряда и отъ массы корпункулы; мы получимъ тогда:

$$\text{частота } V = A\mu \left( \frac{1}{r_1^2} - \frac{1}{r_2^2} \right).$$

Въ этомъ видѣ мы уже узнаемъ столь любопытное строеніе формулъ (1) — (4).

Теперь, чтобы получить въ точности формулы для водорода, достаточно предположить магнитъ состоящимъ изъ произвольнаго числа  $m'$  магнитовъ, тождественныхъ между собою, каждый

длиною  $a$ , расположенныхъ въ рядъ одинъ за другимъ. Кромѣ того, пусть магнитъ будетъ неизмѣнно связанъ съ элементомъ поверхности, въ которомъ корпускула должна совершать колебанія, посредствомъ нѣкотораго числа частичекъ такихъ же размѣровъ, какъ магнитики, и такъ же расположенныхъ въ рядъ, но не обладающихъ магнитными свойствами. Разстоянія  $r_1, r_2$  будутъ тогда кратными  $a$ ; пусть  $r_1 = na, r_2 = ma$ ; тогда частоты будутъ:

$$V = \frac{A\mu}{a^2} \left( \frac{1}{n^2} - \frac{1}{m^2} \right).$$

Остается только выбрать надлежащимъ образомъ постоянныя  $A, \mu, a$ , чтобы получить формулу (1) для водорода.

Въ общемъ, необходимо допустить, что при тѣхъ условіяхъ, при которыхъ водородъ даетъ серію Бальмера, онъ способенъ находится въ различныхъ состояніяхъ, образуя нѣкоторымъ образомъ полимеры. Это происходитъ оттого, что магнитные и немагнитные элементы, природу которыхъ нѣтъ надобности точнѣе опредѣлять, могутъ въ бѣльшемъ или меньшемъ числѣ образовывать группы на подобіе прямолинейныхъ четокъ и присоединяться къ атому водорода. Или же, чтобы дать конкретный образъ, возьмемъ намагниченный стержень и два мѣдныхъ стержня

той же длины и расположимъ ихъ по прямой другъ за другомъ. Въ томъ концѣ системы, гдѣ находится мѣдный стержень, помѣстимъ надлежащій электрическій зарядъ и дадимъ ему небольшой импульсъ; этотъ зарядъ будетъ колебаться и дастъ линію  $H_a$ . Приложивъ къ концу перваго второй намагниченный стержень, тождественный съ первымъ, мы получимъ линію  $H_\beta$ , третій стержень дастъ  $H_\gamma$  и т. д. Не противорѣчитъ ли подобное объясненіе современнымъ взглядамъ на строеніе матеріи? Нѣтъ основанія утверждать это. Дѣйствительно, въ тѣлѣ вращенія, которое вращается вокругъ своей оси, легко распредѣлить электричество различными способами такъ, чтобы это тѣло было эквивалентно элементарному магниту. Впрочемъ, вращательныя или круговыя движенія электрическихъ зарядовъ внутри атомовъ необходимы для объясненія магнетизма; при чемъ первыя болѣе устойчивы. Съ другой стороны, системы, дающія линейчатые спектры,—и на этомъ также лордъ Рэлей особенно настаивалъ,—должны быть чрезвычайно устойчивы, такъ какъ въ противномъ случаѣ линіи сдѣлались бы расплывчатыми. Слѣдовательно, если допустить, что химическій атомъ есть собраніе различныхъ элементовъ, то гипотеза неизмѣнной связи между этими элементами станетъ особенно вѣроятной. Наконецъ, изъ различныхъ способовъ соединять

переменное число элементовъ наиболѣе простой, безспорно, это располагать ихъ въ рядъ.

Вполнѣ очевидно, что всякая отдѣльная гипотеза о строеніи атомовъ, могущая объяснить большое число линій спектровъ, покажется на первый взглядъ болѣе или менѣе невѣроятной. Стоитъ только надъ этимъ подумать, чтобы отдать себѣ въ этомъ отчетъ. Даже водородъ, кажущійся наиболѣе простымъ изъ элементовъ, имѣетъ нѣсколько спектровъ и испускаетъ сотни линій самаго разнообразнаго характера. Поневолѣ приходится допустить, что это простота очень относительная, и считать себя счастливымъ, если удастся найти хоть простыя геометрическія соотношенія и извѣстныя силы, дѣйствующія по простымъ законамъ; это удовлетворяетъ гипотезѣ, которой мы занимаемся. Впрочемъ, можно измѣнить нашу систему различными способами,—напримѣръ, избѣгать введенія немагнитныхъ элементовъ и т. д.

Важно, чтобы колебанія производились магнитнымъ полемъ, исходящимъ отъ двухъ полюсовъ, причемъ каждый изъ этихъ полюсовъ можетъ занимать внутри атома нѣсколько различныхъ положеній, но всегда расположенныхъ на прямыхъ линіяхъ

и на одинаковыхъ разстояніяхъ другъ отъ друга.

Обобщеніе этихъ гипотезъ приводитъ насъ къ другимъ формуламъ — такимъ же, какъ (2) и (3), при чемъ всегда имѣется предѣлъ для колебаній. Наблюденіе намъ дало тотъ замѣчательный результатъ, что множитель  $N$  одинъ и тотъ же для всѣхъ тѣлъ. Наша теорія требуетъ, чтобы не только колеблющаяся корпускула, но и „элементарные магниты“ были одни и тѣ же для всѣхъ тѣлъ. Такимъ образомъ, на ряду съ корпускулами появляется второй новый элементъ, входящій въ составъ всякой матеріи.

#### IV. Аномальныя явленія Зеемана.

Извѣстно, что въ магнитномъ полѣ самымъ сложнымъ образомъ обыкновенно разлагаются именно тѣ линіи, которыя принадлежатъ къ серіямъ. Насчитано пятнадцать и даже девятнадцать составляющихъ, при чемъ очень часто разстоянія между ними относятся, какъ цѣлыя числа. Лоренцъ (Lorentz) сдѣлалъ попытку объяснить эти разложенія, замѣняя простой электронъ элементарной теоріи системами съ  $n$  степенями свободы, при чемъ нужно столько же системъ, сколько существуетъ спектральныхъ линій. Несмотря на чрезвычайную сложность этой гипотезы, она лишь въ очень небольшомъ числѣ случаевъ даетъ объясненіе наблюдавшихся разло-

женій, при томъ не физическое, а только математическое: законъ же раціональныхъ соотношеній такъ и остается непонятнымъ. Дѣло обстоитъ иначе съ нашей гипотезой.— Въ большинствѣ случаевъ, подъ совмѣстнымъ дѣйствіемъ внѣшняго и гораздо болѣе сильнаго внутренняго поля, магнитная система будетъ совершать такія періодическія колебательныя движенія, которыя могутъ быть разложены въ рядъ Фурье (Fourier). Отсюда получаются для колеблющагося электрона болѣе сложные движенія, а вычисленія показываютъ, что колебанія можно разложить въ сумму синусоидальныхъ членовъ, соотвѣтствующихъ линіямъ частоты  $V_0 \pm m \omega$ , гдѣ  $V_0$  обозначаетъ первоначальную частоту,  $m$  цѣлое число, а  $\omega$  періодъ движенія атома. Отсюда ясно, что разстоянія составляющихъ находятся, дѣйствительно, въ раціональныхъ отношеніяхъ другъ къ другу; поляризація этихъ составляющихъ совпадаетъ съ той, которая получается изъ опыта. Одинъ электронъ, въ большинствѣ случаевъ, самъ по себѣ даетъ безконечное число составляющихъ, изъ которыхъ только нѣкоторыя достаточно сильны, чтобы ихъ можно было замѣтить; ихъ число зависитъ отъ быстроты сходимости ряда. И такъ, съ этой точки зрѣнія для вращательныхъ движеній атома явленіе Зеемана играетъ роль гармоничнаго анализатора.

## V. Другія объясненія. Заключение.

Можно ли изъ всего вышесказаннаго заключить, что колебанія спектровъ, имѣющихъ серіи, действительно обязаны своимъ происхожденіемъ интенсивнымъ магнитнымъ полямъ? Вполнѣ понятно, что подобное заключеніе не представляется намъ убѣдительнымъ: на первый взглядъ недостаточно знать колебанія системы, чтобы составить себѣ представленіе о ея строеніи. Чтобы быть убѣдительною, теорія должна давать простое объясненіе совокупности всѣхъ наблюденій и связывать ихъ съ другими областями. Всѣ другіе способы объясненія должны казаться для нашей мысли несравненно менѣе экономными. Для этого и необходимо ихъ всѣхъ разрабатывать, и потому я хотѣлъ бы въ заключеніе сказать нѣсколько словъ объ одномъ изъ этихъ способовъ, единственномъ, который въ настоящее время заслуживаетъ серьезнаго вниманія.

Какъ извѣстно, колебанія упругихъ тѣлъ, подобно колебаніямъ серій спектра, существуютъ въ безконечномъ числѣ; ихъ частоты зависятъ отъ нѣкоторыхъ цѣлыхъ чиселъ, которыя суть числа узловыхъ линій (Хладніевы фигуры) или же узловыхъ поверхностей, характеризующихъ каждое колебаніе. Для прямоугольной мембраны мы имѣемъ  $V^2 = am^2 + bn^2$ , гдѣ  $a$  и  $b$  постоянныя, а  $m$  и  $n$  цѣлыя числа. Но въ противополож-

ность спектральнымъ серіямъ, при безконечномъ увеличеніи чиселъ  $m$  и  $n$  то же происходитъ и съ числомъ  $V$ .— При болѣе глубокомъ анализѣ это можно объяснить тѣмъ, что силы, производящія упругія колебанія, уничтожаются на маленькомъ разстояніи. Могъ бы явиться вопросъ, не дадутъ ли другія силы, дѣйствующія по закону Ньютона или по другимъ законамъ, формулъ типа (1), (2) и (3). Эта гипотеза была изслѣдована авторомъ этой статьи, а затѣмъ Фредгольмомъ (Fredholm) и Адамаромъ (Hadamard). Эту гипотезу можно математически выразить уравненіями интегральными, а не дифференціальными. Изъ этихъ изысканій слѣдуетъ, что законъ квадратовъ разстояній и безконечное число другихъ, дѣйствительно, даютъ предѣлъ для колебаній. Къ сожалѣнію, аналогія, повидимому, на этомъ и кончается, ибо, чтобы на самомъ дѣлѣ получить формулы (1) и (2) для водорода, нужно ввести законы невѣроятной сложности; изъ простыхъ же интегральныхъ уравненій Фредгольма нельзя ихъ вывести. Впрочемъ, недостаточно найти для каждой серіи спектра соотвѣтствующій ей особый законъ; нужно, чтобы этотъ законъ не былъ слишкомъ неправдоподобенъ и не слишкомъ превосходилъ своей сложностью ту формулу, которую нужно было объяснить.

Тотъ фактъ, что уравненіе въ этой гипотезѣ содержитъ квадраты частотъ, не можетъ еще способствовать упрощенію задачи, а скорѣе указываетъ на большое значеніе замѣчанія Лорда Рэля, о которомъ было выше упомянуто. Чтобы имѣть исключенія изъ этого правила, нужны сложныя логическія построенія. Наконецъ, если мы оставимъ въ сторонѣ всякое предубѣжденіе съ физической точки зрѣнія и будемъ просто стараться удовлетворить математическимъ условіямъ задачи, то мы будемъ приведены къ системамъ, въ которыхъ только основаніе колебанія даетъ замѣтное излученіе; излученіе же высшихъ гармоническихъ почти-что равно нулю вслѣдствіе вліянія узловыхъ линій; поэтому ихъ нельзя было бы замѣтить.

Несмотря на это, всѣ эти гипотезы заслуживаютъ тщательнаго изученія; хотя онѣ и не примѣнимы къ линіямъ серій, но онѣ могутъ примѣняться къ другимъ линіямъ, о расположеніи которыхъ мы ничего не знаемъ, а также и къ полосовымъ спектрамъ, основные законы которыхъ, данные, какъ извѣстно Деландромъ (Deslandres), представляютъ много важныхъ аналогій съ законами извѣстныхъ колебательныхъ системъ.

Въ общемъ, для объясненія самой простой серіи спектровъ водорода и

другихъ тѣлъ слѣдуетъ приписать колебанія этихъ линій вліянію мощныхъ магнитныхъ полей магнитныхъ полюсовъ, распределенныхъ въ атомѣ по простымъ геометрическимъ законамъ. Важно отмѣтить, что энергія этихъ системъ исключительно электромагнитная.





# Матезисъ

Книгоиздательство научныхъ и популярно-научныхъ сочиненій изъ области физико-математическихъ наукъ.

Одесса, ул. Новосельскаго, 66.

---

## Вышли въ свѣтъ слѣдующія изданія:

1 и 2. **Абрагамъ**, проф. СБОРНИКЪ ЭЛЕМЕНТАРНЫХЪ ОПЫТОВЪ ПО ФИЗИКѢ, составл. при участ. мног. проф. и преподав. физики. Пер. съ фр. подъ ред. прив.-доц. *Б. П. Вейнберга*.

**Часть I:** XVI+272 стр. Со мног. (свыше 300) рис. Ц. 1 р. 50 к. \*)

**Часть II:** LXXV+434 стр. со мног. (свыше 400) рис. Ц. 2 р. 75 к.

---

3. **С. Арреніусъ**, проф. ФИЗИКА НЕБА. Пер. съ нѣм. подъ ред. прив.-доц. *А. Р. Орбинскаго*. VIII+250 стр. Съ 68 рис. и 1 черн. и 1 цвѣтн. табл. Ц. 2 р. \*)

---

4. УСПѢХИ ФИЗИКИ. Сборн. статей о важн. откр. послѣдн. лѣтъ въ общедоступн. изл., подъ ред. „Вѣстн. Оп. Физ. и Элемент. Матем.“. IV+144 стр. Съ 41 рис. и 2 табл. Изд. 2-е. Ц. 75 к. \*)

---

5. **Ф. Ауэрбахъ**, проф. ЦАРИЦА МІРА И ЕЯ ТѢНЬ. Общедоступн. изл. основаній ученія объ энергіи и энтропіи. Пер. съ нѣм. Съ предисл. *Ш. Э. Гильома*. VIII+56 стр. Изд. 4-е. Ц. 40 к. \*)

---

6. **С. Ньюкомъ**, проф. АСТРОНОМІЯ ДЛЯ ВСѢХЪ. Пер. съ англ. Съ предисл. прив.-доц. *А. Р. Орбинскаго*. XXIV+285 стр. Съ портр. автора, 64 рис. и 1 табл. Ц. 1 р. 50 к. \*)

---

7. **Г. Веберъ и І. Вельштейнъ**. ЭНЦИКЛОПЕДІЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ МАТЕМАТИКИ. **Томъ I**. ЭНЦИКЛОПЕДІЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ АЛГЕБРЫ, обработ. проф. *Веберомъ*. Пер. съ нѣм. подъ ред. прив.-доц. *В. Ф. Кагана*. Книга I.

---

\*) Учен. Ком. М. Н. П. допущено въ учен., старш. возр., библ. средн. учебн. заведеній, а равно и въ безпл. нар. библ. и читальни.

8. **Дж. Перри**, проф. ВРАЩАЮЩІЙСЯ ВОЛЧЕКЪ. Публ. лекція. Пер. съ англ. VII+96 стр. 63 рис. Изд. 2-е. Ц. 60 к. \*)

---

9. **Р. Дедекин**дъ, проф. НЕПРЕРЫВНОСТЬ И ИРРАЦИОНАЛЬНЫЯ ЧИСЛА. Пер. прив.-доц *С. Шатуновскаго*, съ прил. его статьи: ДОКАЗАТЕЛЬСТВО СУЩЕСТВОВАНІЯ ТРАНСЦЕНДЕНТНЫХЪ ЧИСЕЛЪ. Изд. 2-е. 40 стр. Ц. 40 к.\*).

---

10. **К. Шейдъ**, проф. ПРОСТЫЕ ХИМИЧЕСКІЕ ОПЫТЫ ДЛЯ ЮНОШЕСТВА. Пер. съ нѣм. п. ред. лаб. Новорос. унив. *Е. С. Ельчанинова*. 192 стр. Съ 79 рис. Ц. 1 р. 20 к.

---

11. **Э. Вихертъ**, проф. ВВЕДЕНІЕ ВЪ ГЕОДЕЗИЮ. Лекціи для преподав. средн. учебн. заведеній. Пер. съ нѣм. 80 стр. Съ 41 рис. Ц. 35 к.\*).

---

12. **Б. Шмидъ**. ФИЛОСОФСКАЯ ХРИСТОМАТІЯ. Пособіе для средн. учебн. зав. и для самообраз. Пер. съ нѣм. п. ред. проф. *Н. Н. Ланге*. 170 стр. Ц. 1 р.\*).

---

13. **С. Тромгольтъ**. ИГРЫ СО СПИЧКАМИ. Задачи и развлеченія. Пер. съ нѣм. 146 стр. Со мн. рис. Ц. 50 к.

---

14. **А. Риги**, проф. СОВРЕМЕННАЯ ТЕОРІЯ ФИЗИЧЕСКИХЪ ЯВЛЕНІЙ. (Радіоактивность, іоны, электроны). Пер. съ 3-го (1907) итал. изд. XII+156 стр. 21 рис. Ц. 1 р.\*).

---

15. **В. Ветгэмъ**, проф. СОВРЕМЕННОЕ РАЗВИТІЕ ФИЗИКИ. Пер. съ англ. п. ред. прив.-доц. *Б. П. Вейнберга* и *А. Р. Орбинскаго*. Съ прилож. рѣчи перваго министра Англіи *A. J. Balfour*: НѢСКОЛЬКО МЫСЛЕЙ О НОВОЙ ТЕОРІИ ВЕЩЕСТВА. VIII+319 стр. Съ портр., 6 отд. табл. и 33 рис. Ц. 2 р.\*).

---

16. **П. Лакуръ** и **Я. Аппель**. ИСТОРИЧЕСКАЯ ФИЗИКА. Пер. съ нѣм. подъ ред. „Вѣстн. Оп. Физ. и Элем. Матем.“. Въ двухъ томахъ. 880 стр. Съ 799 рис. и 6 отд. табл. Ц. 7 р. 50 к.\*).

---

\*) Учен. Ком. М. Н. П. признана заслуживающей вниманія при пополн. учен. библ. средн. учебн. заведеній.

17. **А. В. Клоссовскій**, проф. ФИЗИЧЕСКАЯ ЖИЗНЬ НАШЕЙ ПЛАНЕТЫ. Изд. 2-е, испр. и доп. 45 стр. Ц. 40 к.

---

18. **С. А. Аррениусъ**. ОБРАЗОВАНИЕ МИРОВЪ. Перев. съ нѣм. подъ ред. проф. Имп. Юрьев. Унив. *К. Д. Покровскаго*. VIII+200 стр. Съ 60 рис. Ц. 1 р. 75 к.\*).

---

19. **Н. Г. Ушинскій**, проф. ЛЕКЦИИ ПО БАКТЕРИОЛОГИИ. VIII+136 стр. Съ 34 рис. на 15 отд. табл. Ц. 1 р. 50 к.

---

20. **В. Ф. Каганъ**, прив.-доц. ЗАДАЧА ОБОСНОВАНІЯ ГЕОМЕТРИИ. 35 стр. Съ 11 рис. Ц. 35 к.

---

21. **В. Циммерманъ**, проф. ОБЪЕМЪ ШАРА. ШАРОВОГО СЕГМЕНТА и ШАРОВОГО СЛОЯ. 34 стр. Ц. 25 к.

---

22. **О. Леманъ**, проф. ЖИДКІЕ КРИСТАЛЛЫ и ТЕОРИИ ЖИЗНИ. Пер. съ нѣм. 48 стр. Съ 30 рис. Ц. 40 к.

---

23. **Г. Гейбергъ**, проф. НОВОЕ СОЧИНЕНІЕ АРХИМЕДА. Пер. съ нѣм. 44 стр. Ц. 40 к.\*).

---

24. **А. Риги**, проф. ЭЛЕКТРИЧЕСКАЯ ПРИРОДА МАТЕРІИ. Пер. съ ит. 28 стр. Ц. 30 к.\*).

---

25. **Г. Ковалевскій**, проф. ВВЕДЕНІЕ ВЪ ИСЧИСЛЕНІЕ БЕЗКОНЕЧНО МАЛЫХЪ. Пер. съ нѣм. подъ ред. пр.-доц *С. Шатуновскаго*. 8+140 стр. Съ 18 черт. Ц. 1 руб.\*).

---

26. **Б. Вейнбергъ**, прив.-доц. СНѢГЪ, ИНЕИ, ГРАДЪ, ЛЕДЪ, и ЛЕДНИКИ. IV+127 стр. 8°. Съ 138 рис. и 2 фототип. табл. Ц. 1 руб.\*).

---

27. **Томпсонъ Сильванусъ**. ДОБЫВАНІЕ СВѢТА. Общедоступная лекція. VIII+88 стр. Съ 28 рис. Ц. 50 к.\*).

---

28. **А. Слаби**, проф. РЕЗОНАНСЪ и ЗАТУХАНІЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХЪ ВОЛНЪ. 42 стр. Съ 36 рис. Ц. 40 к.

---

\*) Учен. Ком. М. Н. П. признана заслуживающей вниманія при пополн. учен. библиот. средн. учебн. заведеній.

29. **К. Снайдеръ**, КАРТИНА МІРА ВЪ СВѢТѢ СОВРЕМЕННАГО ЕСТЕСТВОЗНАНІЯ. Перев. съ нѣм. подъ ред. проф. *В. В. Завьялова*. VIII+193 стр. 8°. Съ 16 отд. портрет. Ц. 1 р. 50 к.

---

30. **В. Рамзай**, проф. БЛАГОРОДНЫЕ и РАДИОАКТИВНЫЕ ГАЗЫ. Пер. подъ ред. *Вьстн Опытн Физ и Эл. Мат.* 37 стр. 16°. Съ 16 рис. Ц. 25 к.

---

31. **К. Бруни**, проф. ТВЕРДЫЕ РАСТВОРЫ. Пер. съ итал. подъ ред. *Вьстн. Опытн. Физ. и Эл. Матем.* 37 стр. 16°. Ц. 25 к.

---

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

---

33. **А. Слаби**, проф. БЕЗПРОВОЛОЧНЫЙ ТЕЛЕФОНЪ. Пер. съ нѣм. подъ ред. *Вьстн. Оп. Физ. и Эл. Матем.* 28 стр. 8°. Съ 23 рис. Ц. 30 к.

---

34. **Л. Кутюра**, АЛГЕБРА ЛОГИКИ. Пер. съ фр. съ прибавленіями проф. *И. Слешинскаго*. 128 стр. 8° Ц. 90 к.

---

**Веберъ и Вельштейнъ**, проф. ЭНЦИКЛОПЕДІЯ ЭЛЕМЕНТАРНОЙ ГЕОМЕТРІИ. Т. II, кн. I. Основанія геометріи. Пер. съ нѣм. подъ ред. и съ прим. прив.-доц. *В. Ф. Кагана*. VIII+366 стр. 8°. Съ 144 черт. и 6 рис. Ц. 3 р.

---

36. **Ф. Линдеманъ**. ФОРМА и СПЕКТРЪ АТОМОВЪ. Възгл ректора Мюнхенск. унив. Перев. съ нѣм. 25 стр. 16°. Изд. 2-е. Ц. 15 коп.

---

37. **Г. Лоренцъ**, проф. КУРСЪ ФИЗИКИ. Пер. съ нѣм. подъ ред. проф. *Н. П. Кастерина* Т. I. VIII+348 стр. Съ 236 рис. Ц. 2 р. 75 к. (Т. II печатается).

---

### Имѣются на складѣ:

**Д. Ефремовъ**. НОВАЯ ГЕОМЕТРІЯ ТРЕУГОЛЬНИКА. 334+XIII стр. Ц. 2 руб.

---

**Ф. Мультионъ**, проф. ЭВОЛЮЦІЯ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ. 90 стр. съ 12 рис. Ц. 50 коп.

---

