

1852-1281

Madame КЮРИ,

Профессоръ Физико-Математическаго Факультета въ Парижѣ

---

# РАДІОАКТИВНОСТЬ

3-113

ТОМЪ I

ВЫПУСКЪ I

Переводъ М. Пирожкова

Съ портретомъ П. КЮРИ

Цѣна каждаго выпуска 2 р. 50 к.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ

ИЗДАТЕЛЬСТВО И КНИЖНЫЙ СКЛАДЪ „НАУКА И ЖИЗНЬ“

(Спб., Пет. Отор., Большой пр., д. 82)

1912

Издательство и книжный складъ „Наука и Жизнь“

В. Д. Дорнбергъ

(Спб., Пет. ст., Большой пр., д. 32)

при ближайшемъ участіи М. В. Пирожкова.

**БЕРТРАНЪ, Ж. Алгебра**, въ переводѣ М. В. Пирожкова.

Часть I. 2-ое изд. Спб. 1901 г. 2 р.

Часть II (Высшая Алгебра). Спб. 1908 г. 2 р. (распродано; печатается 2-ое изд.).

Содержаніе: *Глава I. Дополненія къ элементарной алгебрѣ* (Ряды, сочетанія, биномъ Ньютона, логариѳмы, методъ неопредѣленныхъ коэффиціентовъ).—*Глава II. Теорія производныхъ* (Составленіе производныхъ, изученіе функций при помощи производныхъ, ряды для вычисленія логариѳмовъ и числа  $\pi$ ).—*Глава III. Общая теорія уравненій* (Основные принципы численныхъ уравненій какой-угодно степени, теоремы Декарта и Ролля, равные и соизмѣримые корни, теорема Штурма).—*Глава IV. Конечныя разности* (Обозначенія и основныя формулы, интерполированіе, рѣшеніе численныхъ и трансцендентныхъ уравненій).—*Приложенія* (Разложеніе раціон. дробей на простѣйшія, мнимыя выраженія, уравненія 3-ей степени, рѣшеніе системы двухъ уравненій 2-ой степени съ двумя неизвѣстными, о рѣшеніи уравненій первой степени, непрерывныя дроби. методъ исключенія Безу и Эйлера).

Одобрены **Учеп. Ком.** Мин. Нар. Просв. для фундам. библ. всѣхъ, средн. учебн. завед. и учен. библ. старшаго возраста мужскихъ гимн. и реальн. учил.; реком. **Главн. Управ.** военно-учебн. завед. для фундам. библ. кадет. корпусовъ.

— **Арпюметика**, въ переводѣ М. В. Пирожкова. Спб. 1901 г. 2 р. (распродано; печатается 2-ое изд.).

— **Дифференціальное Ичисленіе**. Съ портретомъ автора. Переводъ М. В. Пирожкова, безъ всякихъ сокращеній и измѣненій съ послѣдняго французскаго изданія. Въ одномъ томѣ большого формата In-4. (X+756 стр.). Ц. 7 р. 50 к. За пересылку 50 к.

Для удобства покупателей часть изданія сброшюрована въ 3 выпуска, по 2 р. 50 к. каждый въ отдѣльной продажѣ.

Содержаніе:

Первая книга (1-ый выпускъ). **Дифференціалы и производныя.**

*Глава I.* Безконечно-малыя различныхъ порядковъ, ихъ употребленіе въ геометріи.—*Глава II.* Производныя и дифференціалы перваго порядка.—*Глава III.* Функціональный опредѣлитель.—*Глава IV.* Аналитическая теорія касательныхъ линій и касательныхъ плоскостей.—*Глава V.* Дифференціалы нѣкоторыхъ функций, заданныхъ геометрически.—*Глава VI.* Производныя и дифференціалы порядка выше перваго.—*Глава VII.* Замѣна переменныхъ.—*Глава VIII.* Составленіе дифференціальныхъ уравненій.

Вторая книга (2-ой выпускъ). **Развертываніе въ ряды.**

*Глава I.* Общее ученіе о рядахъ.—*Глава II.* Теорема Тэйлора.—*Глава III.* Нѣкоторыя разложенія въ ряды.—*Глава IV.* Функции отъ мнимой переменнны.—*Глава V.* Разложеніе функций отъ многихъ пере-

*Кюри*

Madame КЮРИ,

Профессоръ Физико-Математическаго Факультета въ Парижѣ

---

# РАДІОАКТИВНОСТЬ

ТОМЪ ПЕРВЫЙ

Переводъ М. Пирожкова

Съ портретомъ П. КЮРИ



С.-ПЕТЕРБУРГЪ  
ИЗДАТЕЛЬСТВО И КНИЖНЫЙ СКЛАДЪ „НАУКА И ЖИЗНЬ“

(Спб., Пет. Стор., Большоѣ пр., д. 32)

1912

ГОС. ПУБЛИЧНАЯ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ  
БИБЛИОТЕКА СССР

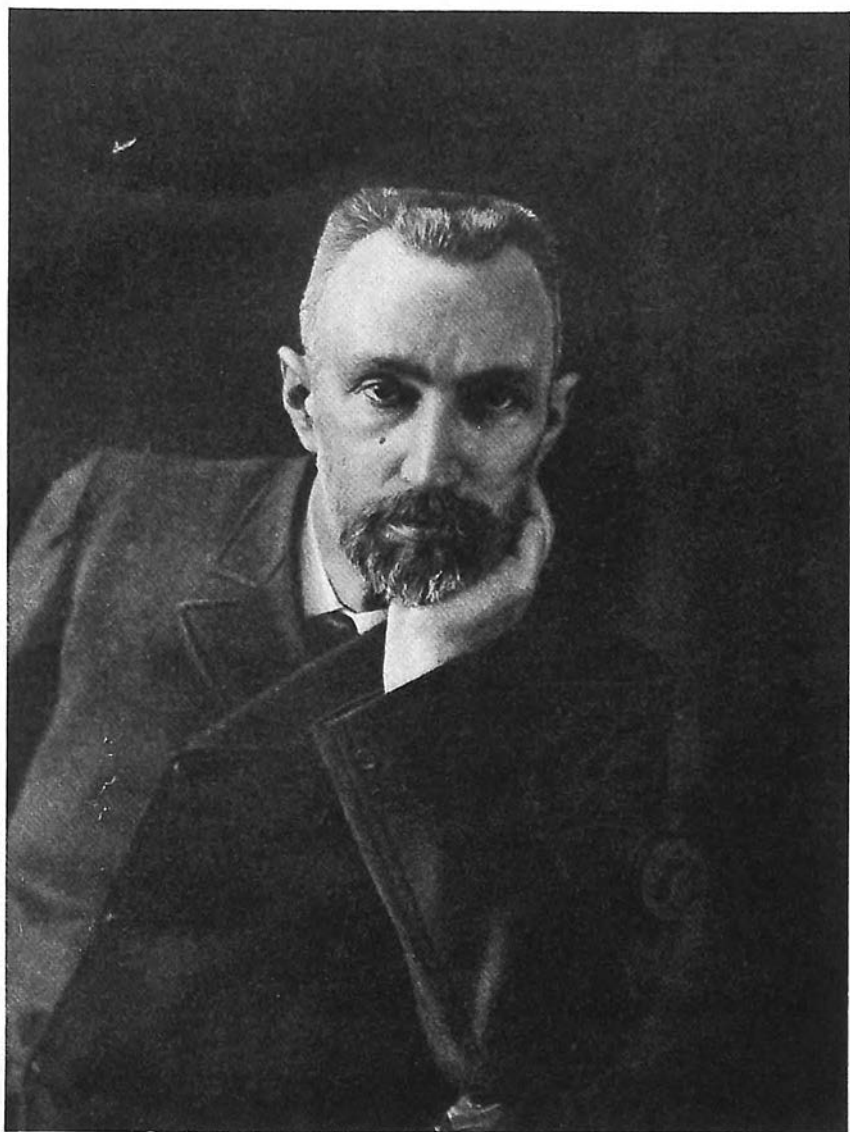
5228  $\frac{10}{62}$

H  
4151  
н/л



Типография А. С. Суворина. Эртелевъ, 13





*P. Curie*

1878-1906

## ВВЕДЕНИЕ

Этот Трудъ представляет собраніе лекцій по курсу Радиоактивности, открытому въ послѣдніе годы въ Сорбонѣ. Здѣсь эти лекціи дополнены нѣкоторыми подробностями, которыя въ преподаваніи естественно должны быть опущены.

Открытие радиоактивности сравнительно очень свѣжо: оно восходитъ всего къ 1896 г., когда были доказаны Генрихомъ Беккерелемъ лучистыя свойства урана. Однако развитіе этой науки пошло чрезвычайно быстро, и среди добытыхъ многочисленныхъ результатовъ есть съ столь большимъ общимъ значеніемъ, что нынѣ Радиоактивность составляетъ важную и самостоятельную вѣтвь физико-математическихъ знаній, съ исключительно ей принадлежащею областью, отмежеванною съ рѣдкою ясностью.

Познанія какъ химика, такъ и физика находятъ въ ученіи о радиоактивности одинаково цѣнные приложенія. Если методы Аналитической Химіи постоянно примѣняются для извлеченія радиоактивныхъ веществъ изъ ихъ рудъ, то различные методы физическихъ измѣреній, и въ особенности электрометрия, требуются на каждомъ шагу при изученіи этихъ веществъ.

Особенно интересно отмѣтить тѣсную связь между быстрымъ развитіемъ радиоактивности и совокупностью результатовъ, добытыхъ рядомъ теоретическихъ и опытныхъ разысканій надъ природою электромагнитныхъ явленій и надъ прохожденіемъ электрическаго тока чрезъ газы. Эти разысканія, установившія съ большою ясностью идею о корпускулярномъ строеніи электричества, заключаютъ въ себѣ изслѣдованіе катодныхъ лучей и лучей положительныхъ, открытіе и изслѣдованіе лучей Рентгена и изслѣдованіе газовыхъ іоновъ; они привели къ представленію о существо-

ваніи частиць, несущихъ положительныя или отрицательныя заряды и могущихъ по размѣрамъ подходить къ атомамъ или же быть значительно меньше ихъ.

Теорія іонизаціи, явившаяся для уясненія свойствъ электрической проводимости въ газахъ, была признана достаточною для истолкованія проводимости, приобретаемой газомъ подъ дѣйствіемъ радиоактивнаго тѣла; эту теорію оказалось возможнымъ приложить къ изученію излученій, испускаемыхъ радиоактивными веществами, и съ этой точки зрѣнія она является весьма драгоценнымъ инструментомъ для изслѣдованій. Сверхъ того, лучи радиоактивныхъ тѣлъ представляютъ естественныя аналогіи съ лучами катодными, положительными и Рѣнтгеновыми, и часто могутъ быть изучаемы аналогичными методами. Можно сказать, что открытіе радиоактивности произошло въ эпоху, когда почва была удивительно подготовлена, чтобы извлечь изъ него пользу и заставить оцѣнить всю его важность.

Находясь въ тѣсной связи съ Физикою и Химіею, заимствуя рабочіе методы отъ этихъ двухъ наукъ, Радиоактивность приноситъ имъ въ обмѣнъ элементы обновленія. Химіи она приноситъ новый методъ для открытія, отдѣленія и изученія химическихъ элементовъ, познаніе нѣкотораго числа новыхъ элементовъ съ очень любопытными свойствами (прежде всего радія); наконецъ, капитальное понятіе о возможности атомическихъ преобразованій въ условіяхъ, доступныхъ контролю опыта. Физикѣ, и въ особенности новѣйшимъ корпускулярнымъ теоріямъ, она приноситъ міръ новыхъ явленій, изученіе которыхъ есть источникъ прогресса для этихъ теорій; можно указать, напр., на выбрасываніе частиць, несущихъ электрическіе заряды и надѣленныхъ значительною скоростью, движеніе которыхъ уже не повинуется законамъ обычной Механики и къ которымъ можно приложить, съ цѣлью ихъ оправдать и раскрыть въ подробностяхъ, новѣйшія теоріи, касающіяся электричества и матеріи.

Хотя Радиоактивность особенно близка къ Физикѣ и Химіи, она, однако, не остается чуждою и другимъ научнымъ областямъ и завоевываетъ тамъ растущее значеніе. Радиоактивныя явленія столь разнообразны, ихъ проявленія столь различны и такъ распространены во вселенной, что ихъ должно принимать въ расчетъ въ изслѣдованіяхъ по естественнымъ наукамъ, и въ особенности по Физиологіи и Тераніи, въ Метеорологіи, въ Геологіи.

Многія научныя лабораторіі посвящаютъ себя въ настоящее время изученію Радіоактивности; создаются институты для сосредоточенія сравнительно значительныхъ количествъ радія, главнаго орудія изслѣдованій въ новой области, и соразмѣрно этимъ усиліямъ важность предмета должна еще болѣе возрасти.

Я опубликовала въ 1903 г. небольшой трудъ подъ заглавіемъ: *Изслѣдованія надъ радіоактивными веществами (Recherches sur les substances radioactives)*, въ которомъ было резюмировано состояніе вопроса въ то время. Въ 1905 г. появился превосходный Трактатъ профессора Рутерфорда (Rutherford), повторенный въ болѣе недавнемъ и болѣе полномъ изданіи и оказавшій весьма большія услуги. Въ настоящемъ Трудѣ я пыталась дать сколь возможно полное изложеніе явленій радіоактивности при настоящемъ состояніи нашихъ о нихъ познаній. Планъ моей первой Книги хотя отчасти и сохраненъ, но настоящій Трудъ отличается гораздо болѣе обширнымъ развитіемъ, согласно развитію, которому подверглась радіоактивность.

\* \* \*

Радіоактивность есть новое свойство матеріи, наблюденное надъ нѣкоторыми веществами. Ничто въ настоящее время не позволяетъ утверждать, что это есть общее свойство матеріи, хотя такое мнѣніе ничего неправдоподобнаго *a priori* не имѣетъ и даже должно являться естественнымъ. Радіоактивныя тѣла представляютъ источники энергіи, выдѣленіе которой обнаруживается разнообразными эффектами: особаго рода излученіями (*émission de radiations*), испусканіемъ теплоты, свѣта, электричества. Это выдѣленіе энергіи существенно связано съ атомомъ вещества; оно представляетъ *атомическое* явленіе; кромѣ того, оно *самопроизвольно*. Эти два признака безусловно существенны.

Въ настоящее время мы знаемъ слабо радіоактивныя тѣла: уранъ и торій, и нѣсколько сильно радіоактивныхъ тѣлъ: радій, полоній, актиній, радіоторій, іоній. Эти тѣла находятся въ природѣ въ состояніи крайняго разжиженія, и это не есть въ неѣ дѣло случая. Изъ сильно радіоактивныхъ тѣлъ только одинъ радій выдѣленъ въ состояніи чистой соли; въ наиболѣе богатыхъ рудахъ это тѣло находится въ пропорціи нѣсколькихъ дециграммовъ на тонну руды.



Радиоактивныя вещества испускають лучи, обладающіе способностью дѣйствовать на чувствительныя пластинки, вызывать фосфоресценцію и превращать газы въ проводники электричества, но не испытывающіе ни правильнаго отраженія, ни преломленія, ни поляризаціи. Значить, эти лучи имѣють аналогию съ лучами: катодными, положительными и Рѣнтгеновыми. Внимательное изслѣдованіе доказало, что лучепусканіе радиоактивныхъ тѣлъ можетъ дѣлиться на три группы,  $\beta$ ,  $\alpha$ ,  $\gamma$ , соответственно аналогичныя тремъ только-что названнымъ группамъ лучей, зарождающимся въ Круксовой трубкѣ. Лучи  $\beta$  образуются выбрасываніемъ отрицательныхъ электроновъ, а лучи  $\alpha$  — выбрасываніемъ частицъ, заряженныхъ положительно, лучи же  $\gamma$  не заряжены. Испусканіе лучей  $\alpha$  и лучей  $\beta$  соответствуетъ самопроизвольному выдѣленію электричества радиоактивными тѣлами. Лучи этихъ тѣлъ производятъ многочисленныя эффекты разнообразной природы: химическіе эффекты, важнѣйшимъ изъ которыхъ является разложеніе воды; физиологическіе эффекты такіе, какъ дѣйствіе на эпидерму на другія ткани, дѣйствіе, обычно утилизируемое для медицинскихъ приложеній. Нѣкоторыя радиоактивныя вещества—самопроизвольно свѣтящіяся.

Радиоактивныя тѣла являются источниками теплоты. Радій порождаетъ выдѣленіе теплоты  $118^{\text{кал}}$  граммомъ въ часъ, при чемъ это на состояніе вещества не вліяетъ замѣтнымъ образомъ въ теченіи многихъ лѣтъ. Этотъ крайне замѣчательный фактъ устанавливаетъ основное различіе между радіемъ и обычными элементами и находится въ согласіи съ современнымъ представленіемъ, приписывающимъ радиоактивность преобразованію атома.

Радиоактивныя вещества могутъ обладать постоянною активностью, по крайней мѣрѣ, по виду, въ предѣлахъ нашихъ наблюденій: таковы уранъ, торій, радій, актиній. Для другихъ веществъ, напр., для полонія, наблюдалось съ теченіемъ времени медленное уменьшеніе активности. Наконецъ, наблюдаются радиоактивныя явленія еще съ гораздо болѣе краткою продолжительностью. Такъ, радій, торій, актиній непрерывно выдѣляютъ радиоактивныя газы, называемыя *эманациями*, активность которыхъ исчезаетъ съ теченіемъ времени, довольно медленно для эманации радія, весьма быстро для эманаций торія и актинія. Эти эманации сами производятъ на омываемыхъ ими стѣнкахъ активныя осадки, также исчезающіе въ нѣсколько часовъ или въ нѣсколько дней; это есть

явленіе индуктивной радіоактивности. Наконецъ можно, посредствомъ надлежащихъ химическихъ реакцій, отдѣлить отъ урана или отъ торія радіоактивныя вещества, непрерывно образуемая этими тѣлами; ихъ активность исчезаетъ постепенно въ нѣсколько мѣсяцевъ.

Всѣ эти явленія можно удовлетворительно объяснить, допуская образованіе и разрушеніе радіоактивныхъ матерій по совершенно опредѣленнымъ законамъ.

Радіоактивныя свойства, дѣйствительно, очень разнообразны; разныя формы эфемерной радіоактивности различаются между собою природою испускаемыхъ лучей и скоростью исчезанія. Можно допустить, что образованіе или разрушеніе отличной формы радіоактивности соотвѣтствуетъ образованію или разрушенію химически отличнаго вещества, и такъ какъ радіоактивность есть атомическое явленіе, то дѣло идетъ объ образованіи и разрушеніи атомовъ. Такой взглядъ представляетъ дальнѣйшее развитіе идей объ атомическомъ характерѣ радіоактивности, идей, приведшихъ къ открытію радія. Теорія преобразованій радіоактивныхъ элементовъ, развитая Рутерфордомъ и Содди (Soddy), является нынѣ общепринятою.

По этой теоріи не существуетъ неизмѣнныхъ радіоактивныхъ веществъ, но каждое изъ нихъ подвергается съ теченіемъ времени болѣе или менѣе быстрому прогрессивному разрушенію. Химически простое радіоактивное вещество разрушается такимъ образомъ, что скорость разрушенія пропорціональна присутствующему количеству; слѣдовательно, это количество убываетъ по простому показательному закону, характеризуемому постояннымъ коэффициентомъ, зависящимъ отъ природы вещества и могущимъ служить для его опредѣленія. Эти коэффициенты, или *радіоактивныя постоянныя*, повидному, не зависятъ отъ условій опыта и могутъ служить эталонами (мѣрами) времени. Разрушеніе атомовъ уподобляется вспышкѣ, во время которой осколки атома могутъ отлетѣть съ электрическимъ зарядомъ или безъ него. Происходящіе отъ этого продукты могутъ оказаться либо неактивными, либо надѣленными радіоактивностью, и въ этомъ послѣднемъ случаѣ вновь образовавшійся атомъ самъ по себѣ не проченъ, но долженъ подвергнуться новому *распаденію* (*désintégration*) по прошествіи болѣе или менѣе долгаго времени.

Когда разрушеніе эфемерной формы радиоактивности происходитъ по сложному закону, этотъ законъ можно всегда выразить алгебраическою суммою показательныхъ членовъ, которая истолковывается, какъ послѣдовательный рядъ простыхъ преобразованій въ ограниченномъ числѣ. Опытъ показалъ, что въ этомъ случаѣ можно различные члены ряда разсматривать, какъ представляющія простые радиоактивныя вещества, изъ которыхъ нѣкоторыя могли бы быть отдѣлены.

Продолжая анализъ радиоактивныхъ явленій, приходимъ къ установленію, начиная съ первичнаго вещества, цѣпи членовъ, слѣдующихъ другъ за другомъ въ рядѣ радиоактивныхъ преобразованій. Получаемъ такимъ образомъ семейства, состоящія изъ элементовъ, хотя совершенно различныхъ, но объединенныхъ между собою родствомъ, привязывающимъ ихъ къ общему началу; таковы: семейство радія, содержащее также полоній; семейство урана, семейство торія, семейство актинія. Радіи самъ по себѣ не есть первичное вещество, но происходитъ, вѣроятно, отъ урана. Въ настоящее время усматриваютъ существованіе около 30 радиоактивныхъ элементовъ, изъ которыхъ, правда, многіе не будутъ никогда, вѣроятно, охарактеризованы, какъ таковые, потому что жизнь ихъ слишкомъ кратка. Дѣйствительно, накопляться въ сколько-нибудь замѣтномъ количествѣ могутъ только такіе радиоактивные элементы, образованіе которыхъ непрерывно и скорость разрушенія которыхъ при данномъ количествѣ не слишкомъ велика. Съ другой стороны, интенсивность радиоактивныхъ явленій пропорціональна скорости разрушенія, и если сравнивать тѣла съ аналогичнымъ лучеиспусканіемъ и въ сходныхъ количествахъ, то наиболѣе сильными радиоактивными тѣлами являются наиболѣе быстро разрушающіяся. Слѣдовательно, наиболѣе сильными радиоактивными веществами будутъ тѣ, которыя должны встрѣчаться въ природѣ въ особенно слабой пропорціи, на что именно и указываетъ опытъ.

Между продуктами разрушенія радиоактивныхъ тѣлъ есть одинъ особенно интересный: это газъ гелій, постоянно образуемый радіемъ, актиніемъ, полоніемъ, ураномъ, торіемъ. Опытомъ доказано, что выбрасываемые атомы гелія должны разсматриваться, какъ частицы  $\alpha$ , потерявшія свой электрическій зарядъ. Съ другой стороны, лучи  $\alpha$  различныхъ радиоактивныхъ тѣлъ, повидному, состоятъ изъ однихъ и тѣхъ же матеріальныхъ частицъ.

Отсюда вытекает, что атомъ гелія образуетъ, по всей вѣроятности, одну изъ составляющихъ частей всѣхъ или почти всѣхъ радиоактивныхъ атомовъ, и можетъ быть, вообще, составляющую атомическихъ зданій. Открытiе образованiя гелiя радiемъ принадлежитъ Рамзаю (Ramsay) и Содди и является однимъ изъ самыхъ важныхъ фактовъ въ исторiи Радиоактивности.

Нѣкоторыя радиоактивныя превращенiя очень медленны: таково, напр., разрушенiе урана и торiя. Эффекты превращенiя въ этомъ случаѣ ничтожны, даже по прошествiи многихъ лѣтъ. Но въ радиоактивныхъ минералахъ эти же превращенiя могли произойти въ теченiи времени порядка геологическихъ эпохъ, и по этой причинѣ изученiе минераловъ позволяетъ опредѣлить точно связи между радиоактивными тѣлами. Обратнo, если такая связь извѣстна, можно изъ нея вывести порядокъ величины времени, въ теченiи котораго превращенiе имѣло мѣсто въ не измѣненной рудѣ. Такъ, по накопленiю гелiя, окклюзиваннаго въ минералахъ, можно попытаться дать себѣ отчетъ относительно возраста этихъ послѣднихъ. Если бы было доказано, что всякая матерiя болѣе или менѣе радиоактивна, относительныя пропорцiи элементовъ въ минералахъ можно было бы изучать съ цѣлью обнаружить генетическую зависимость между этими элементами.

Чтобы закончить этотъ краткiй очеркъ области радиоактивныхъ явленiй, я укажу, какъ велико выдѣленiе энергiи радиоактивными тѣлами. Такъ, для радiя, скорость разрушенiя котораго извѣстна съ нѣкоторымъ приближенiемъ (эта скорость такова, что количество радiя уменьшается на половину приблизительно въ 2000 лѣтъ), разрушенiе грамма матерiи влечетъ за собою выдѣленiе количества теплоты, равнаго количеству, получаемому отъ сжиганiя 500 килограммовъ угля или 70 килограммовъ водорода. Изъ этого должно заключить, что внутренняя энергiя атома очень велика по сравненiю съ энергiей, потребной для соединенiя атомовъ въ молекулу, и этимъ фактомъ естественно объясняется независимость радиоактивныхъ явленiй отъ условiй опыта. Изъ попытокъ, какiя были сдѣланы съ цѣлью повлiять на эти явленiя, ни одна еще не дала положительнаго результата.

Радиоактивность вытекаетъ изъ разрушенiя нѣкоторыхъ атомовъ, и это разрушенiе является для насъ какъ самопроизвольнымъ явленiемъ. Опытъ также показываетъ, что все происходитъ такъ, какъ если бы вѣроятность разрушенiя, въ одинъ и тотъ

же моментъ, была бы одна и та же для всѣхъ атомовъ одной и той же матеріи; такимъ именно образомъ истолковываются показательный законъ разрушенія и отклоненія отъ этого закона. Однакожь является неизбѣжнымъ допустить, что разрушеніе отдѣльнаго атома въ данный моментъ вытекаетъ изъ частныхъ обстоятельствъ, которыя могутъ наступить какъ въ состояніи этого атома, такъ и во вліяніи внѣшнихъ силъ. Такимъ образомъ, причина, вызывающая радиоактивныя явленія, остается пока неизвѣстною.

Въ этой Книгѣ изложенію явленій радиоактивности въ собственномъ смыслѣ предпосланы изложеніе теоріи газовыхъ іоновъ и сжатый очеркъ наиболѣе важныхъ свѣдѣній о лучахъ: катодныхъ, положительныхъ и Рѣнтгеновыхъ и о свойствахъ наэлектризованныхъ частицъ, находящихся въ движеніи. Эти свѣдѣнія необходимы для изученія занимающаго насъ предмета. Затѣмъ посвящена глава описанію методовъ измѣреній. Послѣ подробнаго описанія открытія и приготовленія радиоактивныхъ веществъ идетъ изслѣдованіе о радиоактивныхъ эманацияхъ и индуктивной радиоактивности и объ излученіяхъ (radiations), испускаемыхъ радиоактивными тѣлами. Потомъ радиоактивныя вещества классифицируются по семействамъ, съ изслѣдованіемъ, для каждаго изъ нихъ, совокупности свойствъ и природы радиоактивныхъ превращеній.



## ГЛАВА ПЕРВАЯ

### Ионы и электроны

§ 1. Проводимость газовъ. Газовые ионы. Токъ насыщѣнія.— Радиоактивныя тѣла испускаютъ лучи, аналогичные лучамъ въ Круксовой трубкѣ. Разсѣкая газы, эти лучи сообщаютъ имъ нѣкоторую электрическую проводимость, что и представляетъ основное свойство, сыгравшее огромную роль въ ученіи о радиоактивности. Электрическая проводимость въ газахъ подъ дѣйствіемъ радиоактивныхъ тѣлъ—той же природы, что и проводимость, вызываемая лучами Рѣнтгена. Эта послѣдняя была уже изучена до открытія радиоактивныхъ веществъ, и можно было построить ея теорію, приложенную непосредственно къ ученію о радиоактивности. Эта теорія сама связана съ теоріею прохожденія тока въ электролитахъ.

Извѣстно, что по общепринятымъ теоріямъ Гитторфа и Аррениуса электрическій токъ въ электролитахъ есть токъ переноса (*courant de convection*), т.-е. токъ, обязанный переносу электрическихъ зарядовъ матеріальными частицами, называемыми *ионами*. Ионы представляютъ части отъ распада (диссоціаціи) молекулы электролита; они несутъ положительный или отрицательный электрическій зарядъ и перемѣщаются въ жидкости подъ дѣйствіемъ электрическаго поля; такъ какъ это перемѣщеніе происходитъ въ средѣ, сопротивленіе которой пропорціонально скорости, то скорость перемѣщенія пропорціональна движущей силѣ и, слѣдовательно, электрическому полю. Ионы представляютъ: съ одной стороны, атомъ водорода или металла, или металлическій радикаль, несущій положительный зарядъ; съ другой стороны, кислотный радикаль, не-

сущій отрицательній зарядъ. Они образуются въ жидкости подъ вліяніемъ электролитической диссоціаціи и могутъ вновь вступити въ соединеніе и образовать нейтральную молекулу. Количество диссоціирующіхъ молекулъ зависитъ отъ равновѣсія между скоростью образованія и скоростью возстановленія. Когда возбуждено электрическое поле, іоны перемѣщаются по направленію къ электродамъ и тамъ выдѣляются, теряя свой электрическій зарядъ.

Газъ подъ дѣйствіемъ Рѣнтгеновыхъ лучей обладаетъ нѣкоторою электрическою проводимостью. Если въ такомъ случаѣ возбудити въ газѣ электрическое поле, то возникнетъ электрическій токъ, и этотъ токъ можетъ быть измѣренъ при помощи надлежащаго расположенія. Мы дадимъ себѣ ясный отчетъ о природѣ проводимости, обязанной лучамъ, допуская, что токъ и въ этомъ случаѣ есть токъ переноса; проводнички, служащіе для переноса электричества, называютъ *іонами*. Допускаютъ, что подъ дѣйствіемъ лучей нѣкоторые изъ молекулъ газа разлагаются такимъ образомъ, что каждая изъ нихъ даетъ два іона, несущихъ равные, но противоположные по знаку заряды; въ этомъ состояніи газъ *іонизированъ*. Два іона съ противоположными знаками могутъ подчиниться взаимному притяженію и дать такимъ образомъ нейтральную молекулу; это явленіе носитъ названіе *возстановленія*. Іоны участвуютъ въ тепловомъ дѣйствіи содержащаго ихъ газа, и если въ нѣкоторомъ объемѣ распредѣленіе ихъ неравномѣрно, то возникаетъ *диффузія* іоновъ, т.-е. перемѣщеніе въ смыслѣ окончательной концентраціи. Проводящія стѣнки, находящіяся въ газахъ, служатъ, вообще, побудительною причиною для диффузіи; дѣйствительно, эти стѣнки обладаютъ свойствомъ поглощать іоны въ силу притяженія, создающагося между проводящею стѣнкою и заряженною частицею. Когда іонизированный газъ протекаетъ по длинной и узкой металлической трубкѣ, значительная часть іоновъ, содержащихся въ газѣ, можетъ такимъ образомъ отложиться на стѣнкѣ. Если газъ проходитъ черезъ хлопчатобумажную втулку, то іоны вполне поглощаются этою втулкою. Итакъ, газъ іонизированный и предоставленный самому себѣ, можетъ лишиться своихъ іоновъ либо вслѣдствіе ихъ возстановленія, либо вслѣдствіе ихъ диффузіи къ стѣнкамъ.

Если въ іонизированномъ газѣ возбудити электрическое поле, то іоны приходятъ въ движеніе по линіямъ поля: положительные іоны перемѣщаются въ направленіи поля, отрицательные—въ обратномъ направленіи. Допускаютъ, что скорость перемѣщенія такъ

же, какъ и въ случаѣ электролитовъ, пропорціональна полю, и называютъ *подвижностью* іона его скорость въ полѣ, равномъ единицѣ.

Поле, вообще, возбуждается между двумя погруженными въ ионизированный газъ электродами, между которыми устанавливаются разность потенциаловъ. Въ присутствіи поля іоны могутъ придти въ движеніе отъ двухъ слѣдующихъ причинъ: отъ электрической силы, обязанной полю, и отъ стремленія къ диффузіи, происходящей отъ неравенствъ въ концентраціи; они подвержены еще взаимному притяженію, вызывающему ихъ возстановленіе. Когда поле достаточно интенсивно, можетъ случиться, что его дѣйствіе явится вполне преобладающимъ и, значитъ, можно допустить, что всѣ іоны будутъ увлечены къ электродамъ и не будетъ ихъ возстановленія или поглощенія вслѣдствіе диффузіи. Каждый электродъ соберетъ тогда въ теченіе нѣкотораго времени всѣ іоны со знакомъ, противоположнымъ собственному, получившіеся въ газѣ за то же время. Очевидно поэтому, что если въ газовомъ объемѣ число іоновъ, происходящихъ въ единицу времени, остается постояннымъ, можно назначить для тока, пропускаемаго черезъ этотъ газовый объемъ, максимальное значеніе, которое не можетъ быть превзойдено, какова бы ни была интенсивность поля. Этотъ предѣльный токъ называется *токомъ насыщенія*; онъ достигнутъ, когда всѣ іоны, происшедшіе въ газѣ, практически использованы для переноса тока. Опытъ показываетъ, что токъ насыщенія можетъ быть достигнутъ для газа, ионизированнаго Рентгеновыми лучами или лучами радиоактивнаго вещества, но что нельзя къ нему приблизиться въ случаѣ электролитической проводности.

Число іоновъ въ каждой единицѣ объема газа, происходящихъ отъ лученоса, зависитъ отъ способа, которымъ использованы лучи. Предположимъ, напр., что дѣло идетъ о іонизаціи газа, содержащагося между двумя параллельными дисками конденсатора. Можно направить въ газъ пучокъ лучей Рентгена, параллельный дискамъ и не касающийся ихъ. Если размѣры конденсатора не очень велики, дѣйствіе лучей будетъ оставаться замѣтно постояннымъ на всемъ протяженіи ихъ пройденнаго пространства между дисками, и мы будемъ тогда имѣть въ использованномъ газовомъ объемѣ *равномерную іонизацію*, т.-е. такую іонизацію, при которой въ каждое мгновеніе число іоновъ, возникающихъ въ единицѣ объема, постоянно во всемъ объемѣ. Если, кромѣ того, дѣйствіе лучей под-



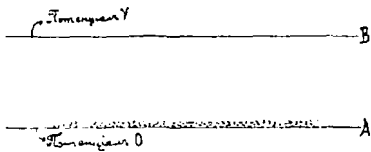
держивается постояннымъ въ теченіе нѣкотораго времени, то мы будемъ имѣть въ продолженіе этого промежутка времени *постоянную и равномерную іонизацію* въ разсматриваемомъ объемѣ.

Когда лучи исходятъ отъ радиоактивнаго вещества, то іонизація, вообще, неравномѣрна въ газѣ, окружающемъ это вещество; замѣчается, что она болѣе энергична въ непосредственной близости съ веществомъ и уменьшается по мѣрѣ удаленія отъ него.

Такъ напр., дискъ, покрытый слоемъ окиси урана, производитъ уплотненность іонизаціи, которая быстро уменьшается съ удаленіемъ отъ диска. Тогда говорятъ, что лучи, испускаемые веществомъ, плохо проникающіе и могутъ быть легко поглощены газомъ. Тотъ же результатъ былъ полученъ, когда лучи Рѣнтгена, вмѣсто того чтобы проходить между металлическими дисками конденсатора, дѣйствуютъ на газъ, пройдя черезъ диски. Металлъ играетъ тогда роль радиоактивной пластинки; отъ нея исходятъ лучи, гораздо менѣе проникающіе, чѣмъ лучи Рѣнтгена; ихъ называютъ *историческими Рѣнтгеновыми лучами*.

Въ нѣкоторыхъ случаяхъ возможно получить, подѣ дѣйствіемъ радиоактивнаго вещества, замѣтно равномерную іонизацію въ нѣкоторомъ газовомъ объемѣ.

Вотъ чему учитъ насъ опытъ относительно характера измѣненія тока въ газѣ, ионизированномъ посредствомъ лученспусканія, когда



Черт. 1

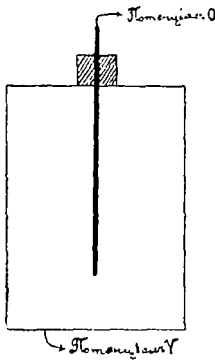
заставляютъ измѣняться электрическое поле въ области, занятой газомъ. Мы можемъ, напр., разсматривать газъ, содержащійся между двумя дисками *A* и *B* конденсатора (черт. 1), между которыми устанавливается разность потенциаловъ;

газъ становится проводникомъ либо подѣ дѣйствіемъ пучка лучей Рѣнтгена, проникающаго между дисками, либо подѣ дѣйствіемъ лучей, испускаемыхъ радиоактивнымъ веществомъ, покрывающимъ одинъ изъ дисковъ. Также можно вообразить, что газъ находится въ металлическомъ приемникѣ, въ который влущенъ изолированный электродъ (черт. 2), и что онъ іонизированъ лучами, исходящими отъ радиоактивнаго вещества, помѣщеннаго въ приемникѣ или подѣ дномъ послѣдняго.

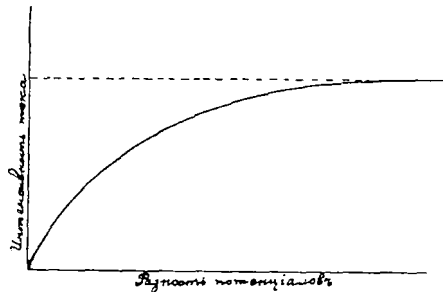
Если іонизація не измѣняется съ теченіемъ времени и если она не очень отстаетъ отъ равномерности въ газовомъ объемѣ, то

соотношение между токомъ  $i$  и разностью потенциаловъ  $V$ , поддерживаемой между электродами, выразится кривою, общій видъ которой указанъ на *черт. 3*.

Токъ возрастаетъ сначала пропорціонально разности потенциаловъ, т.-е. по закону Ома, приложимому къ электролитамъ; но по мѣрѣ увеличенія разности потенциаловъ токъ возрастаетъ все медленнѣе и медленнѣе и стремится къ нѣкоторому постоянному значенію  $I$ , представляющему собою значеніе тока насыщенія. Итакъ, существуютъ двѣ постоянныя, могущія характеризовать проводимость газа: начальная проводимость для слабыхъ полей и токъ насыщенія въ сильныхъ поляхъ. Притомъ мы въ вышеизложенномъ



Черт. 2



Черт. 3

предполагали, что дѣло идетъ о газѣ подъ атмосфернымъ давленіемъ и что интенсивность іонизаціи — одного порядка съ интенсивностями, получаемыми безъ задержки съ лучами Рѣнтгена; въ этомъ случаѣ токъ насыщенія можно получить для разностей потенциаловъ ниже той, при которой возникаетъ между электродами колебательный разрядъ. Дальше увидимъ, что въ газахъ подъ уменьшеннымъ давленіемъ электрическая проводимость можетъ принять совсѣмъ другой характеръ.

**§ 2. Основныя уравненія. Равномѣрная іонизація. Образование и возстановленіе іоновъ.** — Рассмотримъ теперь, какъ можно изслѣдовать посредствомъ вычисленія различныя задачи, представляющіяся при изученіи проводимости газовъ.

Обозначимъ черезъ  $n_1$  и  $n_2$  концентраціи соотвѣтственно положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ и черезъ  $e$  зарядъ одного іона, который мы будемъ предполагать одинаковымъ для іоновъ

обоихъ родовъ. Обозначимъ черезъ  $N$  число положительныхъ или отрицательныхъ іоновъ, происшедшихъ въ единицу времени въ единицѣ объема газа. Количества  $N$ ,  $n_1$  и  $n_2$  — функціи отъ времени и могутъ измѣняться отъ одной точки къ другой газоваго объема. Все число  $Q$  іоновъ каждаго рода, образовавшихся въ единицу времени въ объемѣ  $v$ , есть

$$Q = \int N dv,$$

гдѣ интеграль распространенъ на объемъ  $v$ . Предположимъ, что газовый объемъ  $v$  содержится въ металлическомъ приемникѣ, въ который пропущенъ изолированный электродъ, и что между этимъ электродомъ и приемникомъ установлена разность потенціаловъ; получается токъ, возрастающій вмѣстѣ съ разностью потенціаловъ. Однако, если  $Q$  остается постояннымъ, очевидно, что интенсивность тока не можетъ превзойти интенсивности, достигаемой имъ въ тотъ моментъ, когда всѣ образовавшіеся іоны будутъ собраны электродами. Такимъ образомъ, значеніе тока насыщенія будетъ

$$I = Qe,$$

и если образование равномѣрно въ объемѣ  $v$ , то также будемъ имѣть

$$I = Nve.$$

Когда газъ, въ которомъ существуетъ нѣкоторая іонизація, не подвергнутъ дѣйствию электрическаго поля и предоставленъ самому себѣ, іонизація исчезаетъ сама собою вслѣдствіе возстановленія іоновъ противоположныхъ знаковъ, имѣющаго мѣсто при столкновенияхъ, происходящихъ подъ вліяніемъ взаимнаго притяженія. Число столкновеній, происходящихъ въ единицѣ объема въ теченіе единицы времени, пропорціонально произведенію концентрацій обоихъ родовъ іоновъ. Измѣненіе концентраціи іоновъ въ функціи времени  $t$  вслѣдствіе возстановленія выражается такимъ образомъ слѣдующими уравненіями:

$$\frac{dn_1}{dt} = \frac{dn_2}{dt} = -\alpha n_1 n_2,$$

гдѣ  $\alpha$  — положительный коэффиціентъ, не зависящій ни отъ  $n_1$  и  $n_2$ , ни отъ времени; его называютъ *коэффиціентомъ возстановленія*.

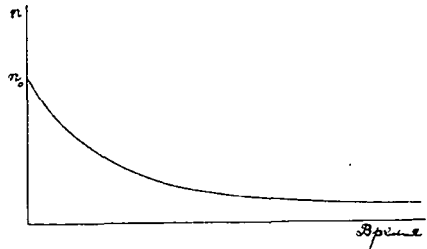
Мы видимъ, что если вначалѣ соотношение  $n_1 = n_2$  оказывалось вѣрнымъ, то оно такимъ останется постоянно, т.-е. что концентрации іоновъ обѣихъ родовъ будутъ оставаться постоянно равными, если такими онѣ были въ данный моментъ. Это именно случай іонизаціи, происходящей въ газѣ подѣ дѣйствіемъ Рѣнтгеновыхъ лучей въ теченіе опредѣленнаго времени. Пусть тогда  $n_0$  будетъ начальная концентрація, общая для обѣихъ іоновъ, которую мы предположимъ равномерною въ нѣкоторомъ объемѣ, и  $n$  — концентрація во время  $t$ . Будемъ имѣть:

$$\frac{dn}{dt} = -\alpha n^2,$$

откуда, по интегрированіи,

$$\frac{1}{n} - \frac{1}{n_0} = \alpha t,$$

$$n = \frac{n_0}{1 + n_0 \alpha t}.$$



Черт. 4

Концентрація убываетъ въ функціи времени по гиперболическому закону, представленному на *черт. 4*.

Если причина образованія іоновъ дѣйствуетъ по непрерывному закону и если число іоновъ, образующихся въ единицу времени и въ единицѣ объема, постоянно и равно  $N$ , концентрація іоновъ измѣняется въ функціи времени, начиная съ момента, когда начала дѣйствовать причина образованія іоновъ, по слѣдующему закону:

$$\frac{dn_1}{dt} = \frac{dn_2}{dt} = N - \alpha n_1 n_2.$$

Здѣсь еще будетъ поддерживаться равенство концентраціи обоего рода іоновъ, если оно было осуществлено вначалѣ; это есть случай газа, первоначально не іонизированнаго и подвергнутаго дѣйствію лученспусканія такому, какъ лучи Рѣнтгена или лучи радиоактивнаго вещества. Поэтому можно положить

$$n_1 = n_2 = n,$$

и тогда будемъ имѣть:

$$\frac{dn}{dt} = N - \alpha n^2.$$

Это соотношеніе показываетъ, что  $n$  идетъ возрастая, до тѣхъ поръ пока не получимъ

$$\frac{dn}{dt} = 0, \quad n = \sqrt{\frac{\bar{N}}{\alpha}}.$$

Это значеніе  $n$  есть значеніе концентраціи по достиженіи стаціонарнаго состоянія, такъ какъ образованіе іоновъ пополняетъ тогда точно потерю отъ возстановленія. Такое значеніе пониженія теоретически достигается только въ концѣ безконечно-большого промежутка времени. Уравненіе можетъ быть написано въ видѣ

$$\frac{dn}{1 - \frac{\alpha}{\bar{N}} n^2} = N dt,$$

откуда, интегрируя и замѣчая, что при  $t = 0$ ,  $n = 0$ , имѣемъ:

$$\text{Log}_e \frac{1 + n \sqrt{\frac{\alpha}{\bar{N}}}}{1 - n \sqrt{\frac{\alpha}{\bar{N}}}} = 2 \sqrt{\frac{\alpha}{\bar{N}}} N t,$$

$$n = \sqrt{\frac{\bar{N}}{\alpha}} \frac{e^{2\sqrt{\frac{\alpha}{\bar{N}}} N t} - 1}{e^{2\sqrt{\frac{\alpha}{\bar{N}}} N t} + 1}.$$

Слѣдовательно,

$$n = \sqrt{\frac{\bar{N}}{\alpha}}$$

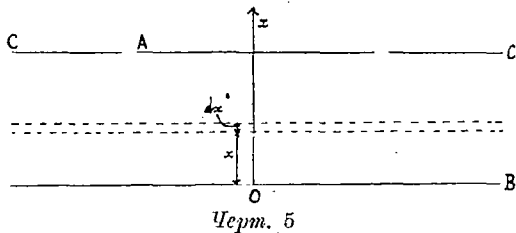
при  $t = \infty$ .

Кромѣ того, можно замѣтить, что мы достигнемъ той же доли предѣльнаго значенія, если  $t\sqrt{\alpha\bar{N}}$  будетъ имѣть постоянное значеніе, т.-е. для времени  $t$ , измѣняющагося въ отношеніи, обратномъ  $\sqrt{\alpha\bar{N}}$ . Значитъ, для достиженія стаціонарнаго состоянія времени требуется тѣмъ болѣе, чѣмъ слабѣе образованіе іоновъ. Для весьма слабыхъ іонизацій время, необходимое для достиженія длительного стаціонарнаго состоянія, можетъ быть весьма замѣтнымъ, но для сильныхъ іонизацій это время весьма коротко.

**§ 3. Дѣйствіе электрическаго поля.**—Болѣе сложная задача одновременнаго дѣйствія причины образованія іоновъ, ихъ возстановленія и электрическаго поля принимаетъ свой простѣйшій видъ, если разсматривать случай іонизированнаго газа между двумя параллель-

ными дисками  $A$  и  $B$  въ области, гдѣ поле нормально къ дискамъ (черт. 5). Предположимъ кромѣ того, что іонизація сохраняетъ одно и то же значеніе на одномъ и томъ же разстояніи отъ дисковъ, какъ это имѣетъ мѣсто для центральной части конденсатора, когда одинъ изъ дисковъ  $B$  покрытъ равномернымъ слоемъ радиоактивнаго вещества.

Разсмотримъ направленіе  $Ox$ , нормальное къ дискамъ, и примемъ за положительное направленіе электрическаго поля направленіе отъ  $B$  къ  $A$ . Количества  $N$ ,  $n_1$  и  $n_2$ —функции отъ  $x$  и отъ времени. Для слоя, содержащагося между разстояніями  $x$  и  $x + dx$ , отсчитанными отъ диска  $B$ , и имѣющаго основаніемъ единицу поверхности, можно писать, что приращеніе числа іоновъ въ теченіе времени  $dt$  есть совокупный результатъ изъ числа іоновъ  $Ndxdt$ , образовавшихся въ слой, изъ числа  $an_1n_2dxdt$  возстановившихся



Черт. 5

въ немъ іоновъ и изъ нѣкотораго числа іоновъ вошедшихъ въ него черезъ одну изъ площадокъ, нормальныхъ къ полю, при одновременномъ уходѣ нѣкотораго отличнаго числа іоновъ черезъ противоположную площадку. Пусть  $u_1$  и  $u_2$  будутъ скорости іоновъ въ полѣ  $h$ , которое можетъ измѣняться вмѣстѣ съ  $x$ . Обозначая черезъ  $k_1$  и  $k_2$  подвижности, имѣемъ:

$$u_1 = k_1 h, \quad u_2 = k_2 h,$$

и числа положительныхъ іоновъ, проходящихъ черезъ единицу поверхности, нормальной къ полю, на разстояніяхъ  $x$  и  $x + dx$  отъ диска  $B$ , въ единицу времени, будутъ

$$n_1 k_1 h \quad \text{и} \quad n_1 k_1 h + k_1 \frac{\partial}{\partial x} (n_1 h) dx.$$

Числа отрицательныхъ іоновъ, проходящихъ черезъ тѣ же поверхности въ обратномъ направленіи въ единицу времени, будутъ

$$n_2 k_2 h \quad \text{и} \quad n_2 k_2 h + k_2 \frac{\partial}{\partial x} (n_2 h) dx.$$

Избытокъ числа іоновъ, вошедшихъ въ слой, надъ числомъ іоновъ, вышедшихъ изъ него, равенъ такимъ образомъ

$$-k_1 \frac{\partial}{\partial x} (n_1 h) dx$$

для положительныхъ іоновъ и

$$+k_2 \frac{\partial}{\partial x} (n_2 h) dx$$

для отрицательныхъ іоновъ въ единицу времени. Поэтому можно писать слѣдующія уравненія:

$$\frac{\partial}{\partial t} (n_1 dx) = N dx - \alpha n_1 n_2 dx - k_1 \frac{\partial}{\partial x} (n_1 h) dx,$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (n_2 dx) = N dx - \alpha n_1 n_2 dx + k_2 \frac{\partial}{\partial x} (n_2 h) dx,$$

или же

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial n_1}{\partial t} &= N - \alpha n_1 n_2 - k_1 \frac{\partial}{\partial x} (n_1 h), \\ \frac{\partial n_2}{\partial t} &= N - \alpha n_1 n_2 + k_2 \frac{\partial}{\partial x} (n_2 h). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Въ этихъ уравненіяхъ  $n_1$ ,  $n_2$  и  $h$ —функции отъ  $x$  и отъ  $t$ . Уравненія, однако, не полны. Въ нихъ не приняты въ расчетъ движеніе отъ диффузіи іоновъ, возникающей подъ вліяніемъ поглощающаго дѣйствія дисковъ, и неравенства въ концентраціи, происходящія какъ отъ этого дѣйствія, такъ и отъ прохожденія тока. Такъ какъ движеніе отъ диффузіи имѣетъ мало значенія сравнительно съ движеніемъ, происходящимъ подъ дѣйствіемъ быстро расходуемыхъ электрическихъ полей, то это приближеніе допустимо для конденсаторовъ съ обычными дисками.

Къ предыдущимъ уравненіямъ можно присоединить уравненіе, связывающее измѣненіе электрическаго поля  $h$  съ присутствіемъ въ средѣ свободныхъ зарядовъ.

Это хорошо извѣстное уравненіе слѣдующее:

$$\frac{\partial h_x}{\partial x} + \frac{\partial h_y}{\partial y} + \frac{\partial h_z}{\partial z} = 4\pi\rho,$$

гдѣ  $h_x$ ,  $h_y$  и  $h_z$ —составляющія электрическаго поля по осямъ координатъ и  $\rho$ —плотность заряда въ рассматриваемой точкѣ. Эта

плотность задана здѣсь избыткомъ положительнаго заряда  $n_1 e$  положительныхъ іоновъ, содержащихся въ единицѣ объема, надъ зарядомъ  $n_2 e$  отрицательныхъ іоновъ. Поле притомъ измѣняется только въ направленіи вмѣстѣ съ  $x$ . Поэтому будемъ имѣть уравненіе

$$\frac{\partial h}{\partial x} = 4\pi e (n_1 - n_2), \quad (2)$$

которое вмѣстѣ съ уравненіями (1) даетъ возможность въ принципѣ опредѣлить функции  $n_1$ ,  $n_2$  и  $h$ . Если бы эти функции были извѣстны, можно было бы вычислить плотность  $i$  тока, проходящаго черезъ элементъ рассматриваемой поверхности. Въ самомъ дѣлѣ, этотъ токъ переносится частью положительными іонами, частью отрицательными, и мы имѣемъ:

$$i = eh (k_1 n_1 + k_2 n_2). \quad (3)$$

Соотношеніе (3) позволяетъ вычислить  $i$  въ функции отъ разности потенциаловъ  $V$ , возбужденной между дисками; дѣйствительно, имѣемъ:

$$V = \int h dx,$$

если  $d$  есть разстояніе между дисками.

Задача, вообще, трудна для рѣшенія, потому что поле  $h$  и концентраціи іоновъ  $n_1$  и  $n_2$  не имѣютъ равномернаго распредѣленія между дисками и даже не сохраняютъ такового, если оно было первоначально и если образованіе  $N$  постоянно и равномерно. Въ самомъ дѣлѣ, въ силу прохожденія тока происходитъ накопленіе іоновъ нѣкотораго знака въ смежности съ притягивающимъ ихъ дискомъ; наоборотъ, концентрація іоновъ нѣкотораго рода стремится стать нулевою въ смежности съ отталкивающимъ ихъ дискомъ. Слѣдовательно, образуется избытокъ положительнаго заряда около катода и избытокъ отрицательнаго заряда около анода. Изъ этого вытекаетъ деформація поля, которое перестаетъ быть равномернымъ, но принимаетъ около электродовъ болѣе сплывныя значенія, чѣмъ въ средней части.

Задача упрощается, если ограничиться разсмотрѣніемъ стаціонарнаго состоянія, достигаемаго при  $\frac{\partial n_1}{\partial t} = 0$  и  $\frac{\partial n_2}{\partial t} = 0$ . Уравненія (1) при-



нимаютъ тогда видъ

$$N - \alpha n_1 n_2 - k_1 \frac{d}{dx} (n_1 h) = 0,$$

$$N - \alpha n_1 n_2 + k_2 \frac{d}{dx} (n_2 h) = 0,$$

откуда слѣдуетъ, что

$$\frac{d}{dx} (k_1 n_1 h + k_2 n_2 h) = 0,$$

и, значить, уравненіе (3) даетъ  $\frac{di}{dx} = 0$ .

Итакъ, когда стаціонарное состояніе достигнуто, интенсивность тока одна и та же въ каждомъ сѣченіи между дисками, но этого нѣтъ, если накопленіе зарядовъ въ газѣ не достигло равновѣсія этого состоянія.

Задача распредѣленія по достиженіи стаціонарнаго состоянія даже при постоянномъ и равномерномъ образованіи  $N$  рѣшена вполнѣ только для частнаго случая, когда подвижности іоновъ равны, т. е. когда  $k_1 = k_2$ . Рѣшеніе дано профессоромъ J.-J. Томсономъ (1). Самаго вычисленія воспроизводить мы не будемъ. Можно доказать, что соотношеніе между плотностью тока  $i$  и разностью потенциаловъ  $V$  есть вида

$$Ai^2 + Bi = V,$$

пока токъ не близокъ къ току насыщенія. Такимъ образомъ кривая  $i = f(V)$  имѣетъ почти такой видъ, какъ представлено на *черт. 3*, исключая разностей потенциаловъ, близкихъ къ разности, требуемой для насыщенія. Этотъ типъ кривой хорошо соотвѣтствуетъ опыту, когда образованіе іоновъ приблизительно равномерно въ объемѣ между дисками и когда подвижности іоновъ не очень различны. Эти условія могутъ быть осуществлены съ лучами Рѣнтгена; также приблизительно они могутъ быть получены съ радиоактивнымъ веществомъ. Даже въ случаѣ, гдѣ дискъ  $B$  покрытъ слоемъ такого радиоактивнаго вещества, какъ окись урана, и гдѣ іонизація идетъ, уменьшаясь отъ диска  $B$  къ диску  $A$ , всё-таки находимъ, когда разстояніе между дисками не слишкомъ велико, что кривая  $i = f(V)$  принимаетъ видъ, какъ на *черт. 3*. Мы увидимъ, что можно, однако, получить кривыя другого типа, усиливая измѣненіе іонизаціи въ газовомъ объемѣ.

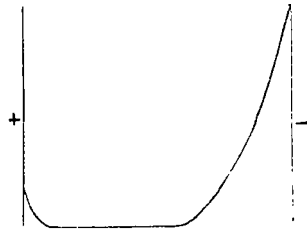
---

(1) *Conduction of Electricity through gases.*

§ 4. Распределение потенциала и электрическаго поля. — Такимъ образомъ, какъ я уже замѣтила, распределение потенциала между дисками не остается равномернымъ во время прохожденія тока, такъ какъ поле болѣе интенсивно вблизи дисковъ, чѣмъ въ средней части. Это распределение послужило предметомъ опытныхъ изслѣдованій Чайльда и Зелена (1). Кривыя, выражающія интенсивность поля въ функции разстоянія отъ положительнаго диска, представлены на *черт.* 6-ыхъ. Чертежъ 6а относится къ случаю, когда подвижности іоновъ однѣ и тѣ же; чертежъ 6б относится къ случаю, когда подвижность отрицательнаго іона значительно больше подвижности положительнаго іона, какъ это случается въ проводности посредствомъ пламенъ.



Черт. 6а



Черт. 6б

Когда поле слабо, прохожденіе тока не вліяетъ замѣтно на концентрацію іоновъ въ газовомъ объемѣ. Эту концентрацію можно тогда предположить такою же, какъ и въ отсутствіи поля. Если, напр., газъ подвергнутъ дѣйствию причины равномернаго образованія іоновъ, концентрація іоновъ въ стационарномъ состояніи будетъ

$$n = \sqrt{\frac{N}{\alpha}},$$

гдѣ  $N$ —образованіе въ единицѣ объема и въ единицу времени, а  $\alpha$ —коэффициентъ возстановленія. Плотность тока дается тогда соотношеніемъ

$$i = eh \sqrt{\frac{N}{\alpha}} (k_1 + k_2),$$

тогда какъ плотность тока насыщенія имѣетъ значеніе

$$I = Nde,$$

если  $d$ —разстояніе между дисками.

(1) Child, *Wied. Ann.*, 1898.—Zeleny, *Phil. Mag.*, 1898.

Можно замѣтить, что для слабыхъ полей токъ измѣняется вмѣстѣ съ полемъ по закону Ома, какъ это имѣетъ мѣсто въ электролитахъ. Если въ первомъ приближеніи рассмотримъ поле какъ равномерное, то, обозначая черезъ  $V$  разность потенциаловъ между дисками и черезъ  $d$  разстояніе между ними, будемъ имѣть:

$$i = e \frac{V}{d} \sqrt{\frac{N}{\alpha}} (k_1 + k_2),$$

$$\frac{i}{I} = \frac{V}{d^2} \frac{1}{\sqrt{N\alpha}} (k_1 + k_2).$$

Для данного значенія  $V$  отношеніе  $\frac{i}{I}$  тѣмъ меньше, чѣмъ разстояніе между дисками больше, образованіе іоновъ интенсивнѣе и ихъ подвижность слабѣе. Кроме того, при прочихъ равныхъ условіяхъ получить токъ насыщенія тѣмъ труднѣе, чѣмъ іонизація интенсивнѣе. Это даетъ намъ возможность представить проводность въ электролитахъ, къ которой законъ Ома остается всегда приложимымъ, начальною частью кривой (*черт.* 3), относящейся къ проводности въ газахъ. Въ электролитѣ іонизація гораздо интенсивнѣе, чѣмъ въ газахъ, а подвижность іоновъ гораздо слабѣе. Вотъ почему даже въ сильныхъ поляхъ не замѣтно ни малѣйшаго признака появленія тока насыщенія.

**§ 5. Поверхностная іонизація.** — Наболѣе важная неправильность въ распредѣленіи іоновъ въ газовомъ объемѣ, содержащемся между дисками, получается при предположеніи, что образованіе іоновъ имѣетъ мѣсто въ очень тонкомъ газовомъ слое въ соприкосновеніи съ однимъ изъ дисковъ. Проводность въ этомъ случаѣ происходитъ посредствомъ іоновъ одного только знака; дѣйствительно, іоны съ зарядомъ, противоположнымъ по знаку заряду диска, въ смежности съ которымъ происходитъ образованіе, непосредственно поглощаются этимъ дискомъ и не участвуютъ въ переносѣ тока черезъ газъ. Этотъ видъ іонизаціи можно было бы получить при помощи тонкой сѣти Рѣнтгеновыхъ лучей, направленныхъ противъ одного изъ дисковъ. То же явленіе происходитъ и тогда, когда дискъ испускаетъ іоны, не обладающіе замѣтной начальною скоростью и несущіе зарядъ того же знака, что и зарядъ диска, какъ это имѣетъ мѣсто для цинковой пластинки, заряженной отрицательно и освѣщенной ультрафіолето-

вымъ свѣтомъ. Уравненія, относящіяся къ этой задачѣ, проще, потому что не приходится принимать въ расчетъ возстановленія іоновъ внутри газа.

Предположимъ сначала, что образованіе іоновъ происходитъ въ соприкосновеніи съ положительнымъ дискомъ  $B$ . Проводность будетъ совершаться только положительными іонами и уравненія (2) и (3) (§ 3) примутъ видъ

$$i = n_1 k_1 h e, \quad \frac{dh}{dx} = 4\pi n_1 e.$$

Если образованіе іоновъ происходитъ въ соприкосновеніи съ отрицательнымъ дискомъ, то будемъ имѣть:

$$i = n_2 k_2 e h, \quad \frac{dh}{dx} = -4\pi n_2 e.$$

Слѣдовательно, въ первомъ случаѣ, будемъ имѣть:

$$\frac{4\pi i}{k_1} = h \frac{dh}{dx}, \quad \frac{4\pi i x}{k_1} = \frac{h^2 - h_0^2}{2},$$

если  $h_0$  есть значеніе поля при  $x=0$ .

Мы видимъ, что  $h$  растетъ вмѣстѣ съ  $x$ , и если іонизація слишкомъ сильна въ смежности съ дискомъ  $B$ , то поле можетъ обратиться въ нуль при  $x=0$ ; тогда будемъ имѣть:

$$h^2 = \frac{8\pi i x}{k_1}, \quad h = \sqrt{\frac{8\pi i x}{k_1}}.$$

Обозначаемъ черезъ  $V$  разность потенциаловъ между дисками, отстоящими другъ отъ друга на  $d$ :

$$V = \int_0^d h dx = \frac{2}{3} \left( \frac{8\pi i}{k_1} \right)^{\frac{1}{2}} d^{\frac{3}{2}},$$

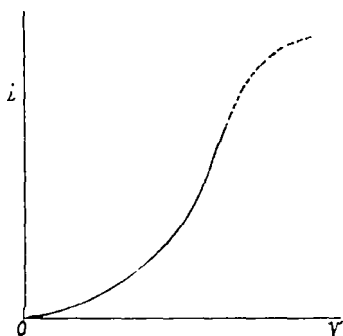
$$V^2 = \frac{32}{9} \frac{\pi i}{k_1} d^3,$$

$$i = \frac{9}{32} \frac{k_1}{d^3 \pi} V^2.$$

Аналогичный результатъ получаемъ въ предположеніи, что образованіе іоновъ происходитъ въ соприкосновеніи съ отрицательнымъ дискомъ и что поле обращается въ нуль для этого диска,

т.-е. при  $x=d$ . Притомъ, въ этомъ вычисленіи не принята въ расчетъ диффузія іоновъ около диска, въ смежности съ которымъ происходитъ ихъ образованіе, и это приближеніе, вообще, незаконно въ настоящемъ случаѣ, потому что роль диффузій гораздо важнѣе здѣсь, чѣмъ въ случаѣ объемной іонизаціи. Можно, однако, использовать приближенное вычисленіе, когда число іоновъ, увлеченныхъ полемъ, слишкомъ ничтожно по сравненію съ числомъ образовавшихся іоновъ.

Мы видимъ, что законъ, связывающій токъ съ разностью потенциаловъ, когда эта послѣдняя слаба, здѣсь другой, чѣмъ въ случаѣ равномерной іонизаціи. Токъ возрастаетъ пропорціонально  $V^2$ , и, кромѣ того, его значеніе зависитъ отъ подвижности пениользованныхъ іоновъ, такъ что интенсивность тока зависитъ отъ характера поля, что, очевидно, не могло бы имѣть мѣста для равномернаго образованія іоновъ въ газовомъ объемѣ.



Черт. 7

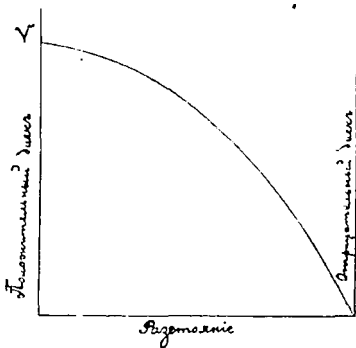
Начальная часть кривой  $i=f(V)$  принимаетъ видъ, указанный на черт. 7. Продолженіе кривой прерывною чертою соответствуетъ большимъ разностямъ потенциала, для которыхъ поле не обращается болѣе въ нуль въ смежности съ дискомъ, на которомъ образуются іоны, и для которыхъ начинается приближеніе къ току насыщенія. Этотъ токъ получаютъ, когда не происходитъ никакой потери іоновъ ни посредствомъ воз-

становленія, ни посредствомъ диффузій; онъ необходимо имѣетъ одно и то же значеніе, каково бы ни было направленіе поля, кромѣ случая, когда образуется только одинъ родъ іоновъ, какъ это имѣетъ мѣсто для освѣщенной цинковой пластинки, и гдѣ, слѣдовательно, проводность существуетъ только для одного направленія поля.

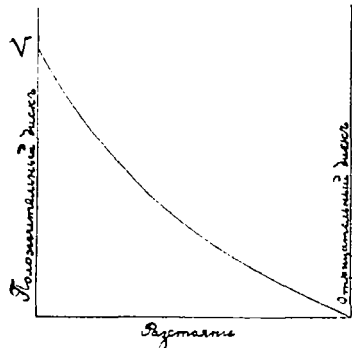
Концентрація іоновъ въ случаѣ поверхностной іонизаціи уменьшается постоянно, начиная отъ области образованія іоновъ до противоположнаго диска. Отсюда вытекаетъ, что поле все время возрастаетъ при такомъ перемѣщеніи. Кривыя, дающія значеніе потенциала  $V$  въ функции отъ разстоянія до положительнаго диска, представлены на черт. 8-ыхъ. Предполагается, что отрицатель-

10/10 10/10

ный дискъ имѣетъ потенциалъ земли. Кривая *8a* относится къ случаю, когда образование идетъ на положительномъ дискѣ; чертѣжъ *8b*—къ случаю, когда образование идетъ на отрицательномъ



Черт. 8a



Черт. 8b

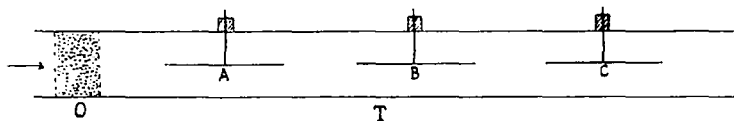
дискѣ. Предполагается, что поле обращается въ нуль для диска, на которомъ происходитъ образование.

Кривая вида (черт. 7) можетъ быть получена посредствомъ такого радиоактивнаго вещества, какъ полоній, когда изолируютъ сѣтъ лучей, скользящую вдоль одного изъ дисковъ. Когда радиоактивное вещество, такое, какъ уранъ, испускающій сильно поглощаемые лучи, помѣщено на одномъ изъ дисковъ конденсатора, диски котораго раздвинуты на значительное разстояніе, получаемыя кривыя имѣютъ видъ, промежуточный между видами, показанными на чертѣжкахъ 3 и 7.

**§ 6. Измѣреніе коэффициента возстановленія.**— Предыдущая теорія предполагаетъ, что возможно опредѣлять такіе коэффициенты, какъ  $k_1$ ,  $k_2$  и  $\alpha$ , играющіе соответственно роль подвижностей и роль коэффициента возстановленія и не зависящіе отъ интенсивности іонизаціи и электрическаго поля, существующаго въ газѣ, также какъ и отъ расположенія приборовъ въ опытѣ, служащемъ для ихъ измѣренія. Но они могутъ зависѣть отъ давленія и температуры газа; въ самомъ дѣлѣ, понятно, что эти условія могутъ измѣнить легкость, съ которою іоны движутся внутри газа. Измѣренія постоянныхъ  $k_1$ ,  $k_2$  и  $\alpha$ , выполненныя по весьма различнымъ методамъ, даютъ повѣрку теоріи, которую можно, вообще, считать удовлетворительною.

Вотъ какъ можно измѣрить коэффициентъ восстановления газовыхъ іоновъ, образующихся подъ дѣйствіемъ лучей Рѣнтгена или лучей радиоактивнаго вещества.

Черезъ металлическую трубку  $T$  (черт. 9) проходитъ быстрый потокъ газа; газъ, поступающій въ трубку, сухъ и освобожденъ отъ пылинокъ, такъ какъ предварительно пропускается черезъ высушивающія вещества и фильтры изъ хлопчатой бумаги. Въ области  $O$  трубки газъ подвергается дѣйствію ионизирующей причины; для этого можно пропустить черезъ трубку пучокъ Рѣнтгеновыхъ лучей параллельно сѣченію; въ такомъ случаѣ нужно, чтобы въ этой области стѣнка трубки была изъ алюминія, металла, наиболѣе прозрачнаго для лучей. Можно также помѣстить въ области  $O$  радиоактивное вещество, такое, какъ порошокъ окиси урана, удерживаемый между двумя сѣченіями трубки двумя металлическими заслонками, которыя снабжены втулками изъ стеклян-



Черт. 9

ной ваты, препятствующими увлеченію вещества. За областью  $O$  находится нѣсколько схожихъ между собою цилиндрическихъ электродовъ, изолированныхъ отъ трубки и размѣщенныхъ по ея оси на равномъ разстояніи другъ отъ друга. Опытъ состоитъ въ возбужденіи между однимъ изъ электродовъ и трубкою электрическаго поля, достаточно интенсивнаго, чтобы всѣ іоны, содержащіяся въ газѣ, проходящемъ въ области, занятой этимъ полемъ, увлекались бы къ электродамъ, т.-е. чтобы токъ насыщенія получался между трубкою и рассматриваемымъ электродомъ; другіе электроды поддерживаются на потенциалѣ трубки. Измѣряютъ токъ, проходящій между трубкою и изолированнымъ электродомъ. За этимъ послѣднимъ газъ долженъ быть лишенъ іоновъ, что можно заключить изъ того, что если также возбудить электрическое поле между трубкою и однимъ изъ слѣдующихъ электродовъ, то никакой токъ не будетъ проходить между трубкою и этимъ электродомъ за использованиемъ всѣхъ іоновъ въ электрическомъ полѣ предыдущаго электрода. Съ каждымъ изъ электродовъ получаютъ токъ насыщенія тѣмъ болѣе слабый, чѣмъ удаленіе электродъ отъ области  $O$ , гдѣ об-

разуются іоны; въ самомъ дѣлѣ, въ теченіе необходимаго времени, чтобы газъ оказался въ близости съ изолированнымъ электродомъ, іоны отчасти возстановляются, и число испытанныхъ возстановленіе тѣмъ больше, чѣмъ длиннѣе пройденный путь. Если трубка не слишкомъ узка, потерю іоновъ черезъ диффузію къ стѣнкамъ можно пренебречь. Концентраціи положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ равны тогда во всякой точкѣ трубки, и токъ насыщенія, измѣренный на каждомъ электродѣ, не зависитъ отъ направленія поля. Для измѣренія этого тока можно, наприм., соединить электродъ съ электрометромъ, а трубку довести до высокаго потенціала, соединяя ее съ однимъ изъ полюсовъ батареей, состоящей изъ большого числа элементовъ, второй полюсъ которой соединенъ съ землею; электродъ въ этомъ случаѣ долженъ быть снабженъ предохранительнымъ кольцомъ. Въ слѣдующей главѣ будутъ даны свѣдѣнія объ электрометрическихъ методахъ измѣренія слабыхъ токовъ, о которыхъ идетъ здѣсь рѣчь.

Обозначаемъ черезъ  $n_A$  концентрацію іоновъ въ сѣченіи трубки, гдѣ находится электродъ  $A$ , и черезъ  $n_B$  концентрацію въ области, занятой электродомъ  $B$ . Въ силу закона возстановленія будемъ имѣть:

$$\frac{1}{n_B} - \frac{1}{n_A} = \alpha t, \quad (1)$$

гдѣ  $\alpha$  — коэффициентъ возстановленія и  $t$  — необходимое время для прохожденія газа отъ одного электрода къ слѣдующему.

Если обозначимъ черезъ  $\Delta$  объемный расходъ газа, т.е. газовый объемъ, проходящій черезъ каждое сѣченіе трубки въ единицу времени, то токъ насыщенія  $I_A$ , полученный посредствомъ электрода  $A$ , дается формулою

$$I_A = n_A e \Delta,$$

гдѣ  $e$  — зарядъ іона.

Итакъ, имѣемъ:

$$\frac{1}{I_B} - \frac{1}{I_A} = \frac{\alpha t}{e \Delta} = \frac{s d \alpha}{\Delta^2 e},$$

гдѣ  $d$  есть разстояніе между двумя послѣдовательными электродами и  $s$  — сѣченіе трубки.

Поэтому, измѣривъ расходъ  $\Delta$  и интенсивность токовъ  $I_A$  и  $I_B$  въ абсолютной величинѣ, мы можемъ отсюда вывести значеніе



отношенія  $\frac{\alpha}{e}$ . Также можно, не дѣлая абсолютныхъ измѣреній, убѣдиться въ законѣ возстановленія изъ того, что токи насыщенія, полученные посредствомъ электродовъ и пропорціональные значеніямъ  $n$  вблизи этихъ самыхъ электродовъ, оказываются согласными съ выведеннымъ соотношеніемъ  $(^1)$ . Значеніе отношенія  $\frac{\alpha}{e}$  было измѣрено какъ указаннымъ способомъ, такъ и способомъ, совершенно отличнымъ отъ этого  $(^1)$ . По этимъ согласнымъ между собою опредѣленіямъ значенія отношенія  $\frac{\alpha}{e}$  для воздуха и для углекислаго газа замѣтно равны между собою и равны въ электро-статическихъ единицахъ 3400. По новѣйшимъ опредѣленіямъ значеніе  $e$  есть около  $4 \cdot 10^{-10}$  э.-ст. единицъ, откуда выводимъ для  $\alpha$  значеніе, близкое къ  $10^{-6}$  э.-ст. единицъ.

Когда іонизированный газъ не освобожденъ отъ пылинокъ, возстановленіе идетъ болѣе ускоренно. Это происходитъ отъ диффузіи іоновъ къ частицамъ пыли, висящимъ въ газѣ. Разность потенциаловъ, необходимая для полученія тока насыщенія, является тогда повышенной.

Время, необходимое, чтобы половина іоновъ, находящихся въ газѣ, подверглась возстановленію, есть  $t = \frac{1}{\alpha n}$ ; это время измѣняется въ отношенія, обратномъ концентраціи іоновъ. То же относится и ко времени, необходимому, чтобы, вслѣдствіе возстановленія, іонизація оказалась приведенною къ данной дроби своего первоначальнаго значенія. Такимъ образомъ, возстановленіе относительно весьма быстро для интенсивныхъ іонизацій, и вотъ почему трудно получить тогда токъ насыщенія.

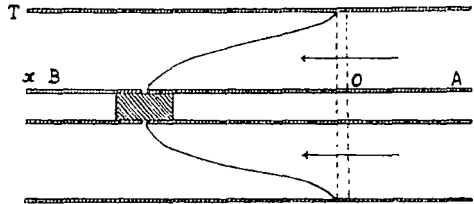
**§ 7. Измѣреніе подвижностей.**—Измѣреніе подвижностей іоновъ можетъ быть выполнено различными методами.

Одинъ изъ этихъ методовъ состоитъ, въ принципѣ, въ сравненіи скорости, приобрѣтенной іонами какого-нибудь одного знака въ электрическомъ полѣ, съ извѣстною скоростью газоваго потока. Вотъ описаніе одного изъ использованныхъ расположеній  $(^2)$ .

$(^1)$  Rutherford, *Phil. Mag.*, 1897 и 1899. — Townsend, *Phil. Trans.*, 1899. — Langevin, *Thèse de doctorat*, Paris, 1902.

$(^2)$  Zeleny, *Phil. Trans.*, 1901.

Через цилиндрическую трубку  $T$  (черт. 10) проходит газовый поток. В области  $O$  трубки газ ионизируется в слое, взятом между двумя прямыми сечениями. На оси трубки помещаются цилиндрический электрод, раздѣленный на двѣ части  $A$  и  $B$ , изолированные одна от другой. Электрическое поле можно возбудить между трубкою и центральным электродомъ; для различныхъ значений этого поля измѣряютъ токъ, проходящій между трубкою и электродомъ  $B$ .



Черт. 10

Ионы, образовавшіеся в области  $O$ , увлекаются газовымъ потокомъ и принимаютъ, притомъ, движеніе по линиямъ поля, направленіе котораго радиально. Тѣ изъ іоновъ, направляющихся къ центральному электроду, которые образовались въ непосредственной близости со стѣнкою трубки, подвергаются наибольшему осевому перемѣщенію. Пусть  $Ox$  будетъ направленіе этого перемѣщенія. Если поле направлено отъ трубки къ электроду, этотъ послѣдній собираетъ положительные ионы. Пусть тогда  $V$  будетъ избытокъ потенциала трубки надъ потенциаломъ электрода. Поле  $h$  на разстояніи  $r$  отъ оси имѣетъ значеніе

$$h = - \frac{V}{r \operatorname{Log}_e \frac{b}{a}},$$

гдѣ  $b$  и  $a$ —радиусы соответственно трубки и электрода.

Пусть  $u$  будетъ скорость газа на разстояніи  $r$  отъ оси; это также осевая скорость увлекаемаго іона. Такимъ образомъ для положительнаго іона будемъ имѣть:

$$\frac{dx}{dt} = u, \quad \frac{dr}{dt} = k_1 h = - \frac{k_1 V}{r \operatorname{Log}_e \frac{b}{a}}.$$

Слѣдовательно,

$$\frac{dx}{dr} = - \frac{ur \operatorname{Log}_e \frac{b}{a}}{k_1 V},$$

и осевое перемѣщеніе на всемъ пути между трубкою и электродомъ выразится формулою

$$x = - \frac{\text{Log}_e \frac{b}{a}}{k_1 V} \int_b^a u r dr.$$

Съ другой стороны, расходъ газа  $\Delta$  выражается соотношеніемъ

$$\Delta = \int_a^b 2\pi u r dr.$$

Слѣдовательно,

$$x = \frac{\Delta \text{Log}_e \frac{b}{a}}{2\pi k_1 V}.$$

Если разность потенциаловъ  $V$  выбрана такъ, что перемѣщеніе  $x$  точно равно длинѣ  $l$  электрода  $A$ , то ни одинъ іонъ не можетъ достигнуть электрода  $B$ , и никакой токъ не пройдетъ между этимъ электродомъ и трубкою; но если немного уменьшить значеніе  $V$ , то начнемъ наблюдать такой токъ. Значить, предѣльное для  $V$  значеніе  $V_1$ , при которомъ токъ все еще нулевой, таково, что

$$l = \frac{\Delta \text{Log}_e \frac{b}{a}}{2\pi k_1 V_1};$$

и если  $V_1$  опредѣлено изъ опыта, то отсюда находимъ

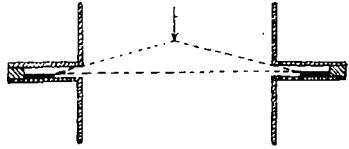
$$k_1 = \frac{\Delta \text{Log}_e \frac{b}{a}}{2\pi l V_1}.$$

Если поле направлено отъ электрода къ трубкѣ, то электродъ собираетъ отрицательные іоны; подвижность этихъ послѣднихъ дается формулою

$$k_2 = \frac{\Delta \text{Log}_e \frac{b}{a}}{2\pi l V_2},$$

гдѣ  $V_2$ —предѣльная разность потенциаловъ между центральнымъ электродомъ и трубкою, при которой электродъ  $B$  не собираетъ болѣе отрицательныхъ іоновъ.

Итакъ, по изложенному способу можно находить значенія  $k_1$  и  $k_2$ . Въ вычисленіи не принята во вниманіе деформація (видоизмѣненіе) поля отъ присутствія іоновъ. Также предполагается, что передній край слоя  $O$  ионизированнаго газа является хорошо опредѣленнымъ по положенію вблизи стѣнки трубки. Это условіе осуществляется приблизительно съ пучкомъ лучей Рѣнтгена, проходящихъ черезъ трубку нормально къ ея длинѣ сквозь алюминіеву стѣнку, не дающую замѣтно мѣста разсѣянному испусканію вторичныхъ лучей. Еще легче осуществить опытъ съ лучами полонія. Кольцеобразная пластинка, покрытая тонкимъ слоемъ полонія, посылаетъ въ трубку весьма узкую сѣть лучей, ограниченную надлежащими экранами (черт. 11), и лучи полонія не допускаютъ никакого испусканія вторичныхъ лучей, способныхъ іонизировать газъ, какъ мы увидимъ это дальше.



Черт. 11

Вотъ для іоновъ, образуемыхъ въ различныхъ газахъ, значенія подвижностей въ  $\frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ , когда значеніе поля выражено въ вольтахъ  $\frac{\text{см.}}{\text{см.}}$ :

	$k_1$	$k_2$
Воздухъ сухой . . . . .	1,36	1,87
Воздухъ влажный . . . . .	1,37	1,51
Углекислый газъ сухой . . . . .	0,76	0,81
» » влажный . . . . .	0,81	0,75
Водородъ сухой . . . . .	6,70	7,95
» влажный . . . . .	5,30	5,60

Изъ этихъ измѣреній вытекаетъ, что въ сухомъ воздухѣ подвижность отрицательнаго іона значительно выше подвижности положительнаго іона. Въ влажномъ воздухѣ подвижности обоихъ іоновъ слабѣе и ближе между собою, чѣмъ въ сухомъ воздухѣ. Эти значенія относятся къ газамъ подъ атмосфернымъ давленіемъ и при окружающей температурѣ.

Методъ газовыхъ потоковъ легокъ для приложенія, но онъ требуетъ нѣкотораго расхода газа и дѣлаетъ затруднительнымъ полное его высушиваніе. Можно использовать съ выгодой различные методы измѣреній, состоящіе въ непосредственномъ опредѣле-

ни времени, необходимаго, чтобы іонъ, содержащійся въ газѣ въ покоѣ и подвергнутый дѣйствию электрическаго поля, могъ бы пройти опредѣленный путь <sup>(1)</sup>.

Вотъ описаніе одного изъ использованныхъ методовъ <sup>(2)</sup>:

Дискъ *A*, окруженный предохранительнымъ кольцомъ, соединенъ съ электрометромъ; противъ этого диска находится металлическая пластинка *B*, параллельная диску *A* и помѣщенная на разстояніи *d* отъ этого послѣдняго; позади пластинки *B* находится дискъ *C*, помѣщенный параллельно пластинкѣ *B* на разстояніи *d* отъ нея. Между пластинкою *B* и дискомъ *C* возбуждаютъ постоянную разность потенциаловъ, направляя поле отъ *C* къ *B*, если желательно измѣрить подвижность положительныхъ іоновъ. Между пластинкою *B* и дискомъ *A* создается соотвѣтственное поле періода *T*; въ теченіе полуперіода разность потенциаловъ *V* производитъ между *A* и *B* поле того же направленія, какъ и поле, постоянно существующее между *B* и *C*; во время слѣдующаго полуперіода разность потенциаловъ *V'*, равная или выше *V*, возбуждаетъ поле, направленное обратно предыдущему.

Въ газѣ между *B* и *C* производятъ іоны при помощи узкаго пучка Рѣнтгеновыхъ лучей, параллельнаго дискамъ; положительные іоны направляются къ пластинкѣ и проходятъ черезъ нее, если поле направлено отъ *B* къ *A*, но задерживаются пластинкою, когда поле направлено въ противоположномъ смыслѣ. Іоны, которые могутъ пройти черезъ пластинку, движутся между *B* и *A* со скоростью  $u_1 = k_1 \frac{V}{d}$ ; нѣкоторые изъ нихъ могутъ достигъ диска *A*, если время, необходимое для прохожденія разстоянія *d*, меньше  $\frac{T}{2}$ ; если, поэтому, заставить расти *V* прогрессивно, электрометръ начинаетъ отклоняться при такомъ значеніи  $V_0$ , когда

$$\frac{d}{u_1} = \frac{T}{2} \quad \text{или} \quad 2d^2 = Tk_1 V_0.$$

Когда *V* растетъ свыше значенія  $V_0$ , число іоновъ, собранныхъ электрометромъ, возрастаетъ; законъ возрастанія, выведенный изъ

<sup>(1)</sup> Rutherford, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 1898.—Langevin, *Comptes rendus*, 1902.—J.-J. Thomson, *Conduction of electricity through gases*.

<sup>(2)</sup> Blanc, *Soc. de Phys.*, 1908. Этотъ методъ аналогиченъ методу, принципъ котораго установленъ Рутерфордомъ для измѣренія подвижности іоновъ, образующихся подъ дѣйствиемъ ультрафіолетоваго свѣта на цинкъ (Rutherford, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 1898).

опыта, таковъ, что если отлагать по оси абсциссъ  $V$  и по оси ординатъ интенсивность  $i$  тока, измѣряемаго электрометромъ, то получается прямая линия; пересѣченіе этой прямой съ осью абсциссъ даетъ точно значеніе  $V_0$ , и отсюда можно вывести подвижность  $k_1$  посредствомъ вышеуказаннаго соотношенія.

Для измѣренія подвижности отрицательныхъ іоновъ поступаютъ аналогичнымъ образомъ. Числа, полученные по этому методу, мало отличаются отъ тѣхъ, которыя получаются по методу газоваго потока.

Опыты съ іонами, получавшимися въ углекисломъ газѣ между  $C$  и  $B$ , но затѣмъ проникавшими въ воздушное пространство между пластинкою  $B$  и дискомъ  $A$ , показали, что подвижность этихъ іоновъ точно такая же, какъ если бы они были созданы прямо въ воздухѣ. Этотъ результатъ легко объяснить, если допустить, подобно тому какъ мы увидимъ это впоследствии, что іоны образуются группировкою молекулъ газа вокругъ заряженнаго центра; эта группировка постоянно обмѣнивается молекулами съ окружающимъ газомъ и разрушается, проходя изъ перваго газа во второй, чтобы вновь возстановиться съ молекулами этого послѣдняго.

Было изслѣдовано измѣненіе коэффициентовъ  $k_1$ ,  $k_2$  и  $\alpha$  съ давленіемъ и температурою газа. Можно предвидѣть, по кинетической теоріи газовъ, что если іоны остаются подобными самимъ себѣ, ихъ подвижность должна измѣняться въ отношеніи, обратномъ давленію газа. Это, дѣйствительно, тотъ законъ измѣненія, который мы такъ же хорошо наблюдаемъ для отрицательныхъ іоновъ, образующихся подѣ дѣйствіемъ ультрафіолетоваго свѣта на цинковую пластинку, какъ и для іоновъ, производимыхъ Рѣнтгеновыми лучами. Однако, этотъ законъ нарушается при низкихъ давленіяхъ, и когда давленіе спускается ниже  $10^{\text{mm}}$  ртутнаго столба, подвижность отрицательнаго іона больше, чѣмъ слѣдуетъ по этому закону, какъ если бы отрицательный іонъ испытывалъ при этихъ слабыхъ давленіяхъ уменьшеніе въ объемѣ (<sup>1</sup>).

Законъ измѣненія коэффициента  $\alpha$  съ давленіемъ болѣе сложенъ. Въ близости къ атмосферному давленію этотъ коэффициентъ для воздуха измѣняется мало съ давленіемъ, но это значеніе есть родъ максимума, и коэффициентъ  $\alpha$  убываетъ, когда давленіе увеличивается или уменьшается, начиная отъ атмосфернаго давленія (<sup>2</sup>).

(<sup>1</sup>) Rutherford, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 1898.—Langevin, *Thèse de doctorat*.

(<sup>2</sup>) Langevin, *Thèse de doctorat*.

Дѣйствіе влажности на подвижность іоновъ и, въ особенности, на подвижность отрицательнаго іона можно истолковать увеличеніемъ объема іоновъ вслѣдствіе притяженія молекулъ воды этими заряженными частицами.

Можно установить, что подвижность газовыхъ іоновъ значительно выше подвижности іоновъ въ электролитахъ. Эта послѣдняя только порядка  $1 \text{ см.}$  въ часъ при полѣ въ  $\frac{1 \text{ вольтъ}}{\text{см.}}$ .

**§ 8. Сгущеніе іонами водяного пара.** — Удалось измѣрить приближенно зарядъ изолированнаго іона посредствомъ весьма острымныхъ опытовъ надъ сгущеніемъ водяного пара въ присутствіи такихъ заряженныхъ частицъ.

Въ приемникѣ, содержащемъ воду и воздухъ при постоянной температурѣ, водяной паръ насыщаетъ пространство. Если объемъ газа рѣзко увеличивается вслѣдствіе расширенія, производимаго посредствомъ надлежащаго расположенія приборовъ, то отъ этого происходитъ временное охлажденіе газа; водяной паръ, содержащійся тамъ, является тѣгда пересыщеннымъ и долженъ испытать частичное сгущеніе. Легкость этого сгущенія зависитъ существенно отъ присутствія въ газѣ *центровъ сгущенія*, т.-е. частицъ, могущихъ служить ядрами для образованія капель. Такимъ именно путемъ легко происходитъ сгущеніе въ воздухѣ, содержащемъ пылинки, при весьма слабомъ расширеніи, и обнаруживается появленіемъ облака. Если, напротивъ, воздухъ освобожденъ отъ пылинокъ, сгущенія внутри газоваго объема не происходитъ при слабомъ расширеніи, и не замѣчается никакого появленія облака. Присутствующія въ воздухѣ пылинки могутъ, очевидно, облегчить сгущеніе водяного пара, притягивая водяныя молекулы по химическому сродству, какъ гигроскопическія вещества. Но даже независимо отъ всякаго химическаго дѣйствія эти пылинки дѣйствуютъ, какъ центры сгущенія, дѣлая возможнымъ образованіе жидкой поверхности со слабою относительно кривизною, тогда какъ капля слишкомъ малыхъ размѣровъ, образовавшаяся въ газѣ, должна, какъ показалъ Лордъ Кельвинъ, испариться въ силу капиллярныхъ дѣйствій.

Также сгущенію пересыщеннаго водяного пара можетъ помочь присутствіе въ газѣ электрическихъ зарядовъ. Всякая заряженная частица дѣйствуетъ, какъ центръ сгущенія, потому что она производитъ на молекулы воды электростатическое притяженіе.

Изученіе условій сгущенія водяного пара въ воздухѣ, лишенномъ пылинокъ и находящемся въ нейтральномъ или въ іонизированномъ состояніи, было сдѣлано С.-Т.-Р. Wilson'омъ<sup>(1)</sup>, который пользовался приборомъ, позволяющимъ осуществить весьма рѣзкое расширеніе, соответствующее увеличенію объема въ известномъ и измѣняемомъ по желанію отношеніи  $\Delta$ .

Вотъ каковы результаты этихъ опытовъ:

1. Въ не іонизированномъ воздухѣ, лишенномъ пылинокъ, никакого сгущенія не происходитъ для значеній  $\Delta$ , низшихъ 1,25. Для значеній  $\Delta$ , содержащихся между 1,25 и 1,38, расширеніе даетъ мѣсто образованію нѣсколькихъ капель; наконецъ, если  $\Delta > 1,38$ , расширеніе даетъ мѣсто образованію темнаго облака.

2. Въ воздухѣ, содержащемъ іоны, произведенные лучами Рѣнтгена или радіоактивнымъ веществомъ, никакого сгущенія не происходитъ, если  $\Delta < 1,25$ ; но для  $\Delta > 1,25$  расширеніе даетъ мѣсто образованію облака тѣмъ болѣе темнаго, чѣмъ сильнѣе іонизація. Центрами сгущенія служатъ тогда іоны, содержащіяся въ газѣ; въ самомъ дѣлѣ, можно воспрепятствовать сгущенію, возбуждая въ газѣ интенсивное электрическое поле, увлекающее іоны къ электродамъ по мѣрѣ ихъ образованія. Въ отсутствіи поля сгущеніе можетъ, притомъ, быть вызвано расширеніемъ, тотчасъ по удаленіи іонизирующей причины.

Отрицательные іоны сгущаютъ водяной паръ легче, чѣмъ положительные іоны. Такъ, необходимое расширеніе для полученія сгущенія отрицательными іонами соответствуетъ  $\Delta = 1,25$ , тогда какъ положительные іоны начинаютъ вызывать сгущеніе только начиная съ расширенія, соответствующаго  $\Delta = 1,31$ .

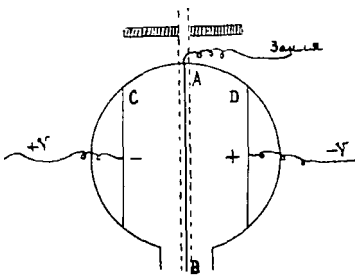
Образованіе немногочисленныхъ капель въ воздухѣ, лишенномъ пылинокъ и подверженномъ, въ отсутствіи всякой іонизирующей причины, расширенію, для котораго отношеніе  $\Delta$  содержится между 1,25 и 1,38, приписывается самопроизвольной слабой іонизаціи атмосфернаго воздуха, дѣйствительность которой поставлена внѣ сомнѣній многочисленными разысканіями, относящимися къ этому предмету; рѣчь о нихъ будетъ дальше.

Слѣдующій опытъ, принадлежащій Вильсону, показываетъ различіе между дѣйствіемъ положительныхъ іоновъ и дѣйствіемъ отрицательныхъ іоновъ.

(1) *Phil. Trans.*, 1897, 1899, 1900.



Сосудъ, въ которомъ наблюдаютъ сгущеніе, имѣетъ форму, показанную на *черт. 12*. Этотъ сосудъ раздѣленъ на двѣ симметрическія части центральной перегородкою, служащею электродомъ. Узкая сѣть Рѣнтгеновыхъ лучей ионизируетъ газъ въ области между двумя плоскостями, параллельными центральному электроду и расположенными съ той и съ другой стороны этого послѣдняго на равныхъ разстояніяхъ. Два электрода, подобныхъ и параллельныхъ центральному, помѣщены симметрично съ той и съ другой стороны этого послѣдняго; они доведены соотвѣтственно до потенциаловъ  $+\text{V}$  и  $-\text{V}$ , тогда какъ центральный электродъ соединенъ съ землею. Вслѣдствіе такого расположенія газъ, находящійся справа отъ центральнаго электрода, содержитъ только положительныя іоны, исключая область непосредственнаго сосѣдства съ этимъ электродомъ; точно также газъ, находящійся слѣва отъ центральнаго электрода, содержитъ только отрицательныя іоны. При этомъ аппаратъ можно регулировать такимъ образомъ, чтобы іонизація была одинаково интенсивною съ обѣихъ сторонъ, что и происходитъ въ томъ



*Черт. 12*

случаѣ, когда токи насыщенія, которые можно получить въ обоихъ конденсаторахъ, одни и тѣ же. Тогда отмѣчаютъ, что минимальное значеніе  $\Delta$ , необходимое, чтобы расширеніе сопровождалось образованіемъ облака, равно 1,25 для газоваго объема, содержащаго отрицательныя іоны, и 1,31 для газоваго объема, содержащаго положительныя іоны. При этомъ, когда сгущеніе получено съ обѣихъ сторонъ, облака имѣютъ подобный между собою видъ. Вызывая ихъ образованіе тотчасъ послѣ пріостановки лучей, наблюдаютъ ихъ паденіе и отмѣчаютъ, что они опускаются съ одинаковою скоростью, что доказываетъ ихъ образованіе изъ капель, имѣющихъ замѣтно одинъ и тотъ же объемъ. Если допустить, что количества сгущенной воды съ обѣихъ сторонъ не очень различны, то отсюда слѣдуетъ, что іоны обоихъ знаковъ находятся въ газѣ, очевидно, въ сравнимыхъ количествахъ, и такъ какъ они образовались въ газѣ, первоначально не заряженномъ, то заряды іоновъ противоположныхъ знаковъ должны имѣть значенія одного и того же порядка.

случаѣ, когда токи насыщенія, которые можно получить въ обоихъ конденсаторахъ, одни и тѣ же. Тогда отмѣчаютъ, что минимальное значеніе  $\Delta$ , необходимое, чтобы расширеніе сопровождалось образованіемъ облака, равно 1,25 для газоваго объема, содержащаго отрицательныя іоны, и 1,31 для газоваго объема, содержащаго положительныя іоны. При этомъ, когда сгущеніе получено съ обѣихъ сторонъ, облака имѣютъ подобный между собою видъ. Вызывая ихъ образованіе тотчасъ послѣ пріостановки лучей, наблюдаютъ ихъ паденіе и отмѣчаютъ, что они опускаются съ одинаковою скоростью, что доказываетъ ихъ образованіе изъ капель, имѣющихъ замѣтно одинъ и тотъ же объемъ. Если допустить, что количества сгущенной воды съ обѣихъ сторонъ не очень различны, то отсюда слѣдуетъ, что іоны обоихъ знаковъ находятся въ газѣ, очевидно, въ сравнимыхъ количествахъ, и такъ какъ они образовались въ газѣ, первоначально не заряженномъ, то заряды іоновъ противоположныхъ знаковъ должны имѣть значенія одного и того же порядка.

Скорость  $v$  въ стационарномъ состояніи, которую принимаетъ маленькая сфера плотности  $d$  и радіуса  $r$ , при свободномъ паденіи внутри газа, коэффициентъ внутренняго тренія котораго есть  $\mu$ , была вычислена Стоксомъ (Stokes). Имѣемъ:

$$v = \frac{2}{9} \frac{dga^2}{\mu}.$$

Эта формула можетъ быть приложена къ паденію капелекъ, образующихъ облако, для которыхъ  $d=1$ . По ней можно вычислить радіусъ  $a$  капли, если все капли предположить равными и если скорость паденія  $v$  ихъ совокупности была наблюдаена; коэффициентъ  $\mu$  извѣстенъ для различныхъ газовъ.

**§ 9. Зарядъ іоновъ.** — Для измѣренія заряда іона *Д.-Д. Томсонъ* принялъ, что когда іонизація не слишкомъ сильна и расширеніе имѣетъ надлежащее значеніе, все іоны служатъ центрами сгущенія; число образовавшихся капель равно тогда числу наличныхъ іоновъ. Газъ былъ іонизированъ либо лучами Рентгена, либо радиоактивнымъ веществомъ; онъ содержался въ приемникѣ, заключавшемъ два параллельныхъ горизонтальныхъ диска, образующихъ конденсаторъ. После пріостановки лучей производятъ расширеніе, наблюдаютъ опусканіе облака и выводятъ отсюда радіусъ капли. Дѣлая нѣкоторыя предположенія относительно условій расширенія и сгущенія, можно вычислить количество воды, которое должно стуститься во время расширенія; слѣдовательно, можно узнать число образовавшихся капель. Съ другой стороны, возможно измѣрить полный зарядъ, несомый іонами. Для этого возбуждаютъ, посредствомъ лучей, слабое поле между дисками конденсатора и измѣряютъ полученный токъ. Плотность  $i$  этого тока находится по формулѣ

$$i = \frac{neV}{l} (k_1 + k_2),$$

гдѣ  $n$  есть концентрація іоновъ того или другого рода,  $e$ —зарядъ одного іона,  $V$ —разность потенциаловъ между дисками,  $l$ —расстояніе между дисками,  $(k_1 + k_2)$ —сумма подвижностей іоновъ.

Если разность потенциаловъ  $V$  слаба, можно допустить, что концентрація  $n$  положительныхъ или отрицательныхъ іоновъ не измѣняется замѣтно отъ прохожденія тока. Тогда можно по предыдущей формулѣ вычислить произведеніе  $ne$ , а съ другой сто-

роны извѣстно число  $2n$  образовавшихся капель. Слѣдовательно, можно вычислить значеніе  $e$ .

Послѣднее и наилучшее значеніе, полученное въ этихъ трудныхъ опытахъ, есть

$$e = 3,4 \cdot 10^{-10} \text{ э.-ст. еднн.}$$

По опытамъ *Л.-Л. Томсона* <sup>(1)</sup> зарядъ іона вышелъ одинъ и тотъ же, подъ дѣйствіемъ лучей Рѣнтгена, какъ въ воздухѣ, такъ и въ водородѣ.

Величину заряда  $e$  можно также вывести изъ наблюденія надъ паденіемъ облака, образуемаго одними отрицательными іонами, между двумя параллельными горизонтальными дисками конденсатора, въ отсутствіи или въ присутствіи электрическаго поля <sup>(2)</sup>. Отношеніе скоростей паденія  $v_1$  и  $v_2$  въ обоихъ случаяхъ опредѣляется соотношеніемъ

$$\frac{v_1}{v_2} = \frac{mg}{mg + eh},$$

гдѣ  $m$  есть масса капли и  $h$  — значеніе поля, дѣйствіе котораго прибавляется къ дѣйствію тяжести.

Это соотношеніе вмѣстѣ съ двумя соотношеніями

$$m = \frac{4}{3} \pi a^3, \quad v_1 = \frac{2ga^2}{9\mu}$$

позволяетъ вычислить значеніе  $e$ , не вводя массы сгущенной воды. Средняя отъ чиселъ, полученныхъ въ воздухѣ, была  $e = 3,1 \cdot 10^{-10}$  э.-ст. еднн.

Въ этихъ опытахъ расхожденія между полученными числами и среднимъ значеніемъ всегда относительно велики. Однако, изложенный методъ *Милликана* (*Millikan*) <sup>(3)</sup> удалось усовершенствовать: онъ замѣнилъ наблюденіе надъ облакомъ наблюденіемъ надъ разобщенными каплями; получилось число  $e = 4,65 \cdot 10^{-10}$  э.-ст. еднн., и точность измѣреній оцѣнена въ 2<sup>0</sup>%.  
 Опытъ сгущенія водяного пара вокругъ газовыми іонами представили весьма большой интересъ. По нимъ впервые можно было

<sup>(1)</sup> *J.-J. Thomson, Conduction of electricity through gases.*

<sup>(2)</sup> *H.-A. Wilson, Phil. Mag., 1903.*

<sup>(3)</sup> *Millikan, Amer. Phys. Soc., 1909.*

доказать весьма ясно разрывную структуру электричества, и наблюдать отдѣльно эффекты, производимые разобитными электрическими зарядами крайней малости.

Значеніе заряда отрицательнаго іона есть весьма важная постоянная; въ самомъ дѣлѣ, мы увидимъ, что этотъ зарядъ представляетъ, при настоящемъ состояніи нашихъ знаній, наименьшее количество электричества, которое можно уединить, или *атомъ отрицательнаго электричества*. Этотъ зарядъ получилъ названіе *элементарнаго заряда*.

Весьма дѣльный методъ для сравненія зарядовъ іоновъ въ электролитахъ и въ газахъ вытекаетъ изъ ученія о подвижности и диффузіи газовыхъ іоновъ.

**§ 10. Диффузія іоновъ.**—Когда концентрація іоновъ не равномерна въ нѣкоторомъ объемѣ, іоны подвержены силѣ, порождающей диффузионное движеніе, стремящееся возстановить равномерность концентраціи. Такое диффузионное движеніе можетъ, напр., произойти отъ притяженія іоновъ на весьма маломъ разстояніи проводящею стѣнкою; подобная стѣнка относительно іоновъ играетъ роль поглощающей стѣнки.

Іоны могутъ быть уподоблены частицамъ газа, который былъ бы смѣшанъ въ весьма слабой пропорціи съ не іонизированнымъ газомъ. Дѣйствительно, концентрація іоновъ всегда очень слаба по отношенію къ концентраціи не іонизированныхъ молекулъ газа. Опытъ показываетъ, что съ нашими настоящими средствами воздѣйствія концентрація іоновъ въ  $10^9$  іоновъ каждаго знака на кубическій сантиметръ газа должна считаться, какъ исключительно большая.

По даннымъ же кинетической теоріи число молекулъ въ кубическомъ сантиметрѣ газа, при нормальныхъ условіяхъ температуры и давленія, есть около  $3 \times 10^{19}$ ; такимъ образомъ, число іонизированныхъ молекулъ представляетъ практически только малую дробь отъ числа паличныхъ молекулъ.

Коэффициентъ диффузіи іоновъ въ содержащемъ ихъ газѣ былъ измѣренъ Тоунсендомъ (Townsend) для различныхъ газовъ и съ различными іонизирующими источниками, въ томъ числѣ для газовъ, іонизированныхъ лучами Рѣнтгена и радиоактивными веществами (<sup>1</sup>).

(<sup>1</sup>) Townsend, *Phil. Trans.*, 1899.

Опытъ состоялъ въ пропусканіи іонизированнаго газа черезъ рядъ узкихъ трубокъ, стѣнки которыхъ поглощаютъ іоны посредствомъ диффузіи. Эти трубки были вставлены внутрь болѣе широкой металлической трубки параллельно оси этой послѣдней и въ одной и той же части ея длины. При выходѣ узкихъ трубокъ измѣряютъ токъ насыщенія, который можно получить между широкою трубкою и центральнымъ электродомъ, помѣщеннымъ по ея оси. Это измѣреніе можно произвести, наблюдая зарядъ, который принимаетъ прогрессивно электродъ, когда послѣ соединенія съ землею онъ изолируется, а трубка доводится до высокаго, положительнаго или отрицательнаго, потенциала; можно такимъ образомъ измѣрить отдѣльно число положительныхъ и число отрицательныхъ іоновъ, которые остаются въ газѣ послѣ его прохожденія въ рядѣ узкихъ трубокъ. Потерю іоновъ во время этого прохожденія почти пѣбликомъ надо отнести на счетъ диффузіи къ стѣнкамъ; однако, можно также считать, что небольшая часть іоновъ восстанавливается во время пути.

Для построенія математической теоріи задачи разсматриваютъ іоны каждаго рода, какъ газъ, содержащійся въ очень слабой пропорціи въ не іонизированномъ газѣ и увлекаемый вмѣстѣ съ этимъ послѣднимъ въ его осевомъ движеніи вдоль узкой трубки. Сверхъ того, іоны обладаютъ, въ силу поглощающаго дѣйствія стѣнки, радіальнымъ движеніемъ по направленію къ этой послѣдней; это движеніе совершается по законамъ диффузіи, т.-е. такимъ образомъ, что число  $q$  іоновъ, проходящихъ въ единицу времени черезъ единицу поверхности, нормальной къ радіусу трубки, пропорціонально градиенту концентрации іоновъ въ этой точкѣ трубки и въ направленіи радіуса. Если, поэтому, обозначить черезъ  $n$  концентрацію іоновъ и черезъ  $r$  разстояніе, отсчитанное по радіусу отъ оси трубки, то будемъ имѣть:

$$q = -D \frac{\partial n}{\partial r},$$

гдѣ  $D$ —коэффициентъ, не зависящій отъ  $n$  и отъ координатъ; его называютъ *коэффициентомъ диффузіи*. Если тогда разсмотрѣть въ трубкѣ бесконечно-малый объемъ, ограниченный двумя прямыми сѣченіями и двумя цилиндрическими поверхностями, ось которыхъ совпадаетъ съ осью трубки, то можно написать, что по достиженіи

длительнаго стаціонарнаго состоянія число іоновъ, входящихъ въ этотъ объемъ, равно числу іоновъ, выходящихъ изъ него въ теченіе того же времени. Пусть  $r$  и  $r + dr$  будутъ радіусы обоихъ цилиндровъ; обозначаемъ черезъ  $Ox$  осевое направленіе и черезъ  $dx$  разстояніе между двумя прямыми сѣченіями; пусть, наконецъ,  $u$  будетъ скорость газа на разстояніи  $r$  отъ оси, скорость, предполагаемая постоянною въ направленіи  $Ox$ . Числа іоновъ одного рода, проходящихъ въ единицу времени въ направленіи  $Ox$  черезъ оба сѣченія, соотвѣтственно равны

$$2\pi r dr \cdot nu$$

и

$$2\pi ru dr \left( n + \frac{\partial n}{\partial x} dx \right).$$

Числа іоновъ одного рода, которые въ единицу времени проходятъ въ направленіи радіуса черезъ оба элемента цилиндрическихъ поверхностей, соотвѣтственно равны

$$-2\pi r dx D \frac{\partial n}{\partial r}$$

и

$$-2\pi D dx \left[ r \frac{\partial n}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial n}{\partial r} \right) dr \right].$$

Такимъ образомъ имѣемъ соотношеніе

$$\begin{aligned} & 2\pi r nu dr - 2\pi r D \frac{\partial n}{\partial r} dx = \\ & = 2\pi ru \left( n + \frac{\partial n}{\partial x} dx \right) dr - 2\pi D dx \left[ r \frac{\partial n}{\partial r} + \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial n}{\partial r} \right) dr \right], \end{aligned}$$

откуда получается слѣдующее дифференціальное уравненіе:

$$ru \frac{\partial n}{\partial x} - D \frac{\partial}{\partial r} \left( r \frac{\partial n}{\partial r} \right) = 0.$$

Кромѣ того извѣстно, что когда газъ протекаетъ по узкой трубкѣ, его скорость  $u$  по достиженіи стаціонарнаго состоянія на разстояніи  $r$  отъ оси такова, что

$$u = \frac{2\Delta}{\pi a^4} (a^2 - r^2),$$

если  $\Delta$  есть объемный расходъ газа и  $a$ —радіусъ трубки.

Слѣдовательно, уравненіе принимаетъ видъ

$$r \frac{\partial^2 n}{\partial r^2} + \frac{\partial n}{\partial r} - \frac{2\Delta r}{\pi D a^4} (a^2 - r^2) \frac{\partial n}{\partial x} = 0.$$

Это уравненіе опредѣляетъ  $n$  въ функціи отъ  $r$  и отъ  $x$ , если присоединить къ нему условія для предѣловъ, по которымъ  $n$  должно обращаться въ нуль при  $r = a$ , каково бы ни было  $x$  и принимать въ началѣ трубки при  $x = 0$  опредѣленное значеніе  $n_0$ , не зависящее отъ  $r$ . Рѣшеніе уравненія получается подъ видомъ сходящагося ряда; значитъ, можно знать значеніе  $n$  въ каждой точкѣ конечнаго сѣченія трубки, для котораго  $x = l$ , если  $l$  есть длина трубки. Число іоновъ  $Q$ , проходящее черезъ конечное сѣченіе, вычисляется затѣмъ по формулѣ

$$Q = \int_0^a 2\pi n u r dr;$$

отношеніе  $R$  этого числа къ числу іоновъ, проходящихъ черезъ начальное сѣченіе трубки, дается слѣдующею приближенною формулою:

$$R = 4 (0,195 e^{-3,65 \frac{\pi l D}{\Delta}} + 0,024 e^{-92,28 \frac{\pi l D}{\Delta}} + \dots).$$

Эта формула позволяетъ вычислить  $D$ , когда измѣрено  $R$ , потому что  $l$  и  $\Delta$  извѣстны.

Вотъ значенія коэффициентовъ диффузій, полученные для іоновъ, образующихся въ различныхъ газахъ подѣйствіемъ лучей Рѣнтгена и лучей радиоактивныхъ веществъ:

	Ионы (+)	Ионы (-)
Воздухъ сухой . . . . .	0,028	0,043
» влажный . . . . .	0,032	0,035
Кислородъ сухой . . . . .	0,025	0,0396
Углекислый газъ сухой . . . . .	0,023	0,026
Водородъ сухой . . . . .	0,123	0,190

Скорость диффузій отрицательнаго іона во всѣхъ случаяхъ больше скорости положительнаго іона, и этотъ результатъ согласуется съ результатомъ, по которому подвижность отрицательнаго іона также превышаетъ подвижность положительнаго іона. Это различіе въ скорости диффузій имѣетъ слѣдствіемъ тотъ фактъ,

что газъ, первоначально не заряженный, обладаетъ при выходѣ изъ узкой трубки слабымъ положительнымъ зарядомъ; дѣйствительно, отрицательные іоны отложились на стѣнкѣ въ болѣе сильной пропорціи, чѣмъ положительные іоны.

Когда іонизированный газъ диффундируетъ черезъ хлопчатобумажную втулку, іоны поглощаются втулкою, и газъ, проходящій черезъ нее, вполнѣ ихъ лишенъ. Ионизированный газъ, пропущенный сквозь воду, также отдаетъ жидкости всѣ содержаемыя имъ іоны.

Коэффициенты диффузіи іоновъ значительно меньше коэффициентовъ взаимной диффузіи газовъ; такъ, напр., коэффициентъ диффузіи углекислаго газа въ воздухѣ равенъ 0,14. Извѣстно, что коэффициентъ диффузіи одного газа въ другомъ измѣняется приблизительно въ обратномъ отношеніи квадратныхъ корней изъ молекулярныхъ вѣсовъ; если бы этотъ законъ прилагался къ іонамъ, то ихъ молекулярная масса соотвѣтствовала бы массѣ отъ 20 до 30 молекулъ углекислаго газа. Этотъ результатъ показываетъ, что іоны, образуемые въ газахъ лучами Рентгена, не только не могутъ быть дробями молекулы, но скорѣе представляютъ молекулярные аггломераты. Однако, можно замѣтить, что такъ какъ іоны заряжены, ихъ движеніе замедляется притяженіемъ, которое они оказываютъ на молекулы газа, и что влѣдствіе этого происходитъ уменьшеніе ихъ коэффициента диффузіи.

Коэффициентъ диффузіи іоновъ въ газѣ измѣняется въ отношеніи, обратномъ давленію, какъ предусматриваетъ это теорія диффузіи.

**§ 11. Элементарный зарядъ.** — Измѣренія коэффициентовъ диффузіи вмѣстѣ съ измѣреніями подвижностей дали возможность вывести важный результатъ относительно заряда іоновъ. Разсмотримъ элементъ поверхности  $s$ , помѣщенный въ области, гдѣ концентрація іоновъ есть  $n$ , нормально къ направленію  $Ox$  паденія maximum'a концентраціи въ этой точкѣ. Число іоновъ, проходящихъ черезъ этотъ элементъ въ единицу времени, есть

$$-sD \frac{\partial n}{\partial x};$$

слѣдовательно, ихъ скорость равна

$$-s \frac{D}{n} \frac{\partial n}{\partial x}.$$



Сила же, производящая диффузію, есть измѣненіе парціального давленія іоновъ, когда происходитъ перемѣщеніе въ направленіи  $Ox$ . Если обозначить черезъ  $p$  это парціальное давленіе, то разность давленій, испытываемыхъ двумя сторонами объемнаго элемента, имѣющаго основаніемъ элементъ поверхности  $s$  и высоту  $dx$ , равна

$$-\frac{\partial p}{\partial x} dx,$$

и каждый іонъ, содержащійся въ элементѣ объема, испытываетъ силу, равную

$$-\frac{1}{n} \frac{\partial p}{\partial x}.$$

Съ другой стороны, электрическая сила  $eh$ , возникающая подъ дѣйствіемъ поля  $h$  на іонъ, зарядъ котораго есть  $e$ , сообщаетъ ему по достиженіи стаціонарнаго состоянія скорость  $kh$ . Допуская, что силы пропорціональны скоростямъ въ стаціонарномъ состояніи, находимъ:

$$D \frac{\partial n}{\partial x} = \frac{kh}{eh} \frac{\partial p}{\partial x}.$$

Если іоны уподобляемы молекуламъ газа, то ихъ давленіе то же, что и давленіе газа при равной концентраціи; поэтому мы должны имѣть:

$$\frac{n}{p} = \frac{N}{P},$$

гдѣ  $N$  — число молекулъ газа, содержащихся въ 1 куб. сант. газа подъ атмосфернымъ давленіемъ  $P$  и при обыкновенной температурѣ.

Слѣдовательно, находимъ:

$$\frac{\partial n}{\partial x} = \frac{N}{P} \frac{\partial p}{\partial x} \quad \text{и} \quad Ne = P \frac{k}{D}.$$

Если составить частныя  $\frac{k}{D}$  для отрицательныхъ іоновъ, образующихся въ различныхъ газахъ, то найдемъ, что эти частныя не очень различны, въ особенности, если принять во вниманіе, что измѣренія относятся къ газамъ, вообще, не при одинаковыхъ

давленіи и температурѣ и что высушиваніе газовъ можетъ выйти не полнымъ. Если допустить, что для газовыхъ іоновъ, подобно какъ для іоновъ, образующихся въ электролитахъ, зарядъ всегда есть кратное нѣкотораго элементарнаго заряда, мы должны заключить отсюда, что изслѣдованные отрицательные газовые іоны всѣ имѣютъ одинъ и тотъ же зарядъ и что нѣтъ ихъ съ различною валентностью (valence), какъ въ электролитахъ.

Дѣлая

$$P = 10^6,$$

находимъ для значенія произведенія  $Ne$ :

Отрицательный іонъ въ сухомъ воздухѣ . . . . .	1,31.10 <sup>10</sup>	э.-ст. един		
» » въ кислородѣ . . . . .	1,36		»	»
» » въ водородѣ . . . . .	1,25		»	»

Обозначаемъ, съ другой стороны, черезъ  $e'$  зарядъ атома водорода при электролизѣ; зарядъ, переносимый 1 кб. сант. водорода подъ атмосфернымъ давленіемъ и при 0°, выражается, какъ извѣстно, черезъ

$$2Ne' = 96500 \times 3 \times 10^9 \times 0,0013 \times 0,069,$$

т.-е.

$$2,6.10^{10} \text{ э.-ст. един.}$$

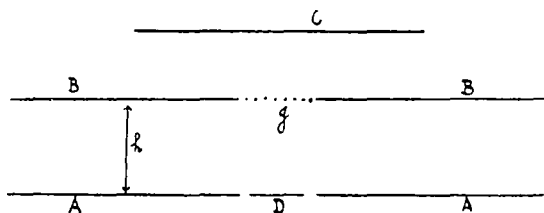
Для 1 кб. сант. водорода подъ нормальнымъ атмосфернымъ давленіемъ и при температурѣ въ 15° этотъ зарядъ былъ бы немного слабѣе, и мы имѣли бы  $Ne' = 1,225.10^{10}$  э.-ст. един. Итакъ, мы видимъ, что зарядъ отрицательнаго іона весьма близокъ къ заряду атома водорода при электролизѣ.

Для положительныхъ іоновъ полученныя частныя  $\frac{k}{D}$  показываютъ, вообще, болѣе сильный зарядъ, но не достигающій удвоеннаго значенія. Такъ напр., значенія, найденныя для произведеній  $Ne$  въ воздухѣ и въ водородѣ, будутъ соотвѣтственно 1,46.10<sup>10</sup> и 1,63.10<sup>10</sup> э.-ст. един.

Въ виду исключенія невѣрностей, относящихся къ отдѣльному опредѣленію коэффиціентовъ подвижности и диффузіи, Тоунсендъ<sup>(1)</sup> использовалъ расположеніе приборовъ въ опытѣ, основанное на слѣ-

(1) Townsend, *Proc. Roy. Soc.*, 1908.

дующемъ принципѣ: двѣ горизонтальныя пластинки  $A$  и  $B$  (черт. 13) помѣщены параллельно на надлежащемъ разстояніи; въ пластинкахъ прорѣзаны круговыя отверстія одинаковаго радіуса, при чемъ центры круговъ прпходятся на одной вертикали. Тонкая металлическая сѣтка закрываетъ верхнее отверстие, а дискъ  $D$  почти цѣликомъ заполняетъ нижнее отверстие, оставаясь совершенно изолированнымъ отъ пластинки  $A$  узкимъ воздушнымъ пространствомъ. Надъ пластинкою  $B$  находится пластинка  $C$ , параллельная пластинкамъ  $A$  и  $B$ . Электрическое поле возбуждается между  $C$  и  $B$  и поле того же знака между  $B$  и  $A$ . Ионы образуются въ воздушномъ объемѣ между  $C$  и  $B$ ; ионы только одного знака проходятъ черезъ металлическую сѣтку и проникаютъ подъ нею въ равномерное поле. Перемѣщаясь подъ дѣйствіемъ этого поля  $h$ , они одновременно



Черт. 13

диффундируютъ въ боковомъ направленіи, такъ что нѣкоторые изъ нихъ собираются дискомъ  $D$ , другіе же—кольцевою пластинкою  $A$ . Количество іоновъ, собранныхъ дискомъ  $D$ , растетъ вмѣстѣ съ интенсивностью поля  $h$  и можетъ быть опредѣлено точно. Вычисленіе при этомъ показываетъ, что упомянутое количество зависитъ только отъ произведенія  $Ne h$  и что можно изъ него вывести значеніе этого произведенія. Этимъ путемъ находятъ, для отрицательнаго іона въ воздухѣ,

$$Ne = 1,23 \cdot 10^{10} \text{ э.-ст. едн.}$$

Слѣдовательно, законно допустить, что *зарядъ отрицательнаго іона равенъ заряду одновалентнаго атома при электролизѣ*. Этотъ зарядъ, будучи наименьшимъ изъ измѣренныхъ, носитъ названіе *элементарнаго заряда*.

Результаты для положительныхъ іоновъ зависятъ отъ расположенія приборовъ въ опытѣ. Положительные іоны могутъ быть всѣ

двувалентными, или же всё одновалентными, или, наконецъ, частію одновалентными, частію двувалентными.

Фактъ, что заряды положительнаго и отрицательнаго іоновъ не необходимо равны, можетъ внести измѣненія въ уравненія, входящія въ теорію электрической проводимости газовъ. Эти измѣненія могутъ совершиться безъ труда, если всё іоны имѣютъ одинъ и тотъ же зарядъ, но если это не такъ, результаты будутъ сложнѣе.

Можно думать, что элементарный зарядъ, опредѣленный по методамъ сгущенія, вообще, слишкомъ слабъ, потому что капельки, падая, испаряются, вслѣдствіе чего средняя скорость паденія ниже той, которая соотвѣтствуетъ ихъ первоначальной толщинѣ. Рутерфордъ вывелъ изъ своихъ опытовъ надъ лучами  $\alpha$ , что значеніе элементарнаго заряда равно  $4,65 \cdot 10^{-10}$  э.-ст. едн. (§ 133). Это число весьма хорошо согласуется съ числомъ  $4,69 \cdot 10^{-10}$ , выведеннымъ Планкомъ изъ теоріи лучеспусканія (1).

Наконецъ, опыты Перрэнна (2) надъ коллоидальными эмульсіями ведутъ также къ опредѣленію элементарнаго заряда непрямымъ путемъ, въ хорошихъ условіяхъ точности. Найденное число есть

$$e = 4,1 \cdot 10^{-10} \text{ э.-ст. едн.}$$

Вѣроятно, что значеніе  $e$  выше  $4 \cdot 10^{-10}$  э.-ст. едн. Въ этомъ трудѣ я приму значеніе  $4,7 \cdot 10^{-10}$ , вытекающее изъ опытовъ надъ лучами  $\alpha$  (§ 133).

**§ 12. Источники возникновенія іоновъ и ихъ природа.** — На всемъ протяженіи этого изложенія я, вообще, допустила, что получаютъ іоны одной и той же природы при употребленіи для іонизированія газа лучей ли Рѣнтгена, или лучей радиоактивнаго вещества. Тождество іоновъ, получаемыхъ въ этихъ двухъ случаяхъ, доказано измѣреніемъ ихъ подвижностей и ихъ коэффициентовъ диффузіи (Рутерфордъ, Зеленой и Тоунсендъ). Эти іоны, которые мы преимущественно будемъ разсматривать, названы *малыми іонами* въ противоположность іонамъ гораздо большихъ размѣровъ, которые могутъ быть также получены въ газахъ при обыкновенной температурѣ. Какъ вытекаетъ изъ различныхъ изслѣдованій,

(1) Planck, *Ann. der Phys.*, 1901.

(2) Perrin, *Comptes rendus de l'Académie des Sciences*, 1908.

возникновеніе малыхъ іоновъ въ газахъ можетъ имѣть мѣсто еще и въ другихъ случаяхъ. Если, напр., пропустить колебательный разрядъ въ видѣ кисти между остриемъ и плоскостью, проводность электричества черезъ газъ будетъ совершаться посредствомъ іоновъ, образующихся вблизи острия, и эти іоны—той же природы, что и малые іоны, опредѣленіе которыхъ дано выше<sup>(1)</sup>. Точно такъ же, когда цинковая пластинка, заряженная отрицательно, освѣщена ультра-фіолетовымъ свѣтомъ, мы знаемъ, что эта пластинка прогрессивно разряжается въ силу *истеченія ея отрицательнаго электричества*, что имѣетъ мѣсто въ ея электрическомъ полѣ, какъ если бы газъ, омывающій эту пластинку, былъ слабымъ проводникомъ. Проводимость газа въ этомъ случаѣ *односторонняя*; она происходитъ только въ присутствіи отрицательнаго заряда на освѣщенномъ тѣлѣ, тогда какъ въ присутствіи положительнаго заряда газъ сохраняетъ свое изолирующее свойство. Изученіе этого явленія доказало, что подъ дѣйствіемъ ультрафіолетоваго свѣта образованіе отрицательныхъ іоновъ только имѣетъ мѣсто въ соприкосновеніи съ освѣщенной поверхностью; послѣ отдѣленія іоновъ пластинкою они ею отталкиваются, и въ этомъ состоитъ механизмъ разряда. Измѣреніе подвижности этихъ отрицательныхъ іоновъ и ихъ коэффициента диффузіи доказало, что іоны, о которыхъ идетъ здѣсь рѣчь, одни и тѣ же съ малыми іонами, создаваемыми въ воздухѣ лучами Рѣнтгена.

Извѣстны, напротивъ, случаи проводности черезъ газы при обыкновенной температурѣ, гдѣ проводимость равнымъ образомъ іонической природы, но гдѣ іоны отличны отъ тѣхъ, о которыхъ мы только-что говорили. Такъ, въ присутствіи влажнаго бѣлаго фосфора воздухъ является проводникомъ; заряженный электро-скопъ разряжается, когда приближаютъ къ его шарикѣ кусочекъ этого тѣла. Причиною проводимости газа въ этомъ случаѣ являются заряженные частицы, подвижность которыхъ почти въ 1000 разъ меньше подвижности малыхъ іоновъ<sup>(2)</sup>. Въ силу своей слабой подвижности эти частицы диффундируютъ лишь весьма медленно въ газахъ и не поглощаются вполне, когда пропускаютъ газъ сквозь хлопчатобумажную втулку или промываютъ его въ водѣ.

(1) *Ions, electrons, corpuscules*, стран. 97, 951.

(2) *Ions, electrons, corpuscules*, стран. 82.

Аналогичные іоны возникаютъ въ газахъ, выдѣляющихся при различныхъ химическихъ реакціяхъ или при электролизѣ.

Эти *іоны большой массы* (*gros ions*) обладаютъ свойствомъ сгущать насыщающій водяной паръ. Вслѣдствіе ихъ слабой подвижности трудно получить съ ними токъ насыщенія, хотя ихъ коэффициентъ возстановленія гораздо меньше такого же коэффициента малыхъ іоновъ.

Слѣдуетъ также отмѣтить случай горячихъ газовъ или газовъ пламени. Эти газы — проводники и своею проводимостью обязаны іонизационному состоянію. Природа іоновъ существенно зависитъ отъ температуры газа. Если эта послѣдняя очень высока, іоны имѣютъ весьма большую подвижность, въ особенности, отрицательный іонъ, подвижность котораго достигаетъ  $1000 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ , при чемъ поле измѣрено въ  $\frac{\text{вольтгахъ}}{\text{см.}}$ . Напротивъ, изучая охлажденный газъ, находимъ болѣе слабыя подвижности, которыя могутъ даже спуститься ниже подвижностей обыкновенныхъ малыхъ іоновъ (<sup>1</sup>).

Раскаленные до-бѣла тѣла испускаютъ въ пустотѣ весьма подвижные отрицательные іоны. Въ газахъ подъ нормальнымъ давленіемъ они испускаютъ положительные и отрицательные іоны; эти послѣдніе начинаютъ преобладать по мѣрѣ повышенія температуры. Измѣренія отношенія заряда къ массѣ, выполненныя надъ этими іонами, приводятъ къ вѣроятному заключенію, что масса отрицательнаго іона — порядка  $\frac{1}{1000}$  массы атома водорода, тогда какъ масса положительнаго іона — того же порядка, что и масса атома (<sup>2</sup>).

Можно, наконецъ, отмѣтить, что если въ газѣ подъ атмосфернымъ давленіемъ цинковая пластинка, освѣщенная ультра-фіолетовымъ свѣтомъ и заряженная отрицательно, выбрасываетъ обыкновенные малые іоны, то эта же самая пластинка въ сильной пустотѣ выбрасываетъ гораздо меньшіе и гораздо болѣе подвижные отрицательные іоны, масса которыхъ — порядка  $\frac{1}{1000}$  массы атома водорода (<sup>3</sup>).

(<sup>1</sup>) *Ions, électrons, corpuscules*, стр. 513.

(<sup>2</sup>) J.-J. Thomson, *Conduction of Electricity through gases*.

(<sup>3</sup>) Lenard, *Ions, électrons*, стр. 362.

Общія заключенія, какія можно извлечь изъ предыдущихъ результатовъ, добытыхъ опытнымъ путемъ, слѣдующія: хотя въ различныхъ случаяхъ электрическаго переноса (convection) іоны могутъ быть различныхъ размѣровъ и различной подвижности, однако, отрицательный іонъ способенъ, повидимому, принимать размѣры гораздо ниже размѣровъ атома, съ массою, не превосходящею  $\frac{1}{1000}$  массы атома водорода. Это сокращеніе размѣровъ происходитъ для отрицательнаго іона, когда онъ получается посредствомъ какого-нибудь процесса въ сильной пустотѣ или при весьма высокой температурѣ; ему также благоприятствуетъ существованіе интенсивнаго электрическаго поля въ области, гдѣ происходитъ іонизація (§ 13).

Итакъ, образованіе этихъ отрицательныхъ корпускулъ крайнею малости облегчается созданіемъ условій, стремящихся поставить ихъ въ состояніе сильнѣйшаго движенія или помѣщать ихъ встрѣчѣ съ газовыми молекулами. Когда эти условія не выполнены, происходитъ образованіе болѣе крупныхъ отрицательныхъ іоновъ; тогда допускають, что каждый изъ этихъ іоновъ содержитъ въ себѣ, какъ ядро, крайне малую корпускулу или *электронъ*, образовавшійся въ пустотѣ, и что такой наблюденный іонъ является результатомъ матеріальнаго скопленія (аггломерата) вокругъ этого ядра.

Опытъ показываетъ, что положительный іонъ не испытываетъ такого значительнаго сокращенія размѣровъ, какое можетъ имѣть мѣсто для отрицательнаго іона. Его масса, вѣроятно, высшая массы молекулы въ холодныхъ газахъ подъ атмосфернымъ давленіемъ, является сравнимою съ массою атома въ условіяхъ, благоприятствующихъ распаденію аггломератовъ. Можно, поэтому, допустить, что самое ядро аггломерата—атомныхъ размѣровъ.

Такимъ образомъ мы приходимъ къ слѣдующей мысли образованія іоновъ, идя отъ молекулы:

Подъ дѣйствіемъ лученспусканія или нѣкоторыхъ другихъ причинъ молекула раскалывается на двѣ неравныя части: на заряженную отрицательно корпускулу, или электронъ, и на остаточную часть молекулы, заряженную положительно. Эти два ядра могутъ или существовать въ этомъ состояніи, если позволяютъ условія, или могутъ окружиться болѣе или менѣе значительными матеріальными аггломератами, образованіе которыхъ надо отнести на счетъ электро-

статического притяжения, проявляемого ядрами. Въ случаѣ обыкновенныхъ малыхъ іоновъ эти аггломераты, по всей вѣроятности, состояются изъ небольшого числа не іонизированныхъ молекулъ газа, въ которомъ возникли ядра. Въ случаѣ іоновъ большой массы природа аггломератовъ мало извѣстна и можетъ оказаться сложнѣе.

Опытъ показываетъ, что подъ давленіемъ  $10^{\text{mm}}$  ртутнаго столба аггломератъ, образовавшійся вокругъ отрицательнаго іона, начинаетъ испытывать распаденіе.

Электронъ, или корпускула, масса котораго ниже  $\frac{1}{1000}$  массы атома водорода, играетъ весьма важную роль въ современныхъ теоріяхъ, касающихся электричества и матеріи. Онъ представляетъ атомъ электричества, т.-е. наименьшее его количество, какое можетъ быть изолировано, а также наименьшій матеріальный элементъ, какой мы признаемъ входящимъ въ строеніе атома. Его зарядъ равенъ около  $4 \cdot 10^{-10}$  э.-ст. един. и отношеніе заряда къ массѣ есть около  $1,73 \cdot 10^7$  электромагнитныхъ единицъ, какъ увидимъ дальше. Зарядъ отрицательнаго или положительнаго іона можетъ оставаться равнымъ по абсолютной величинѣ заряду электрона, каковы бы ни были размѣры аггломерата, но существуютъ также іоны и съ болѣе высокимъ зарядомъ<sup>(1)</sup>.

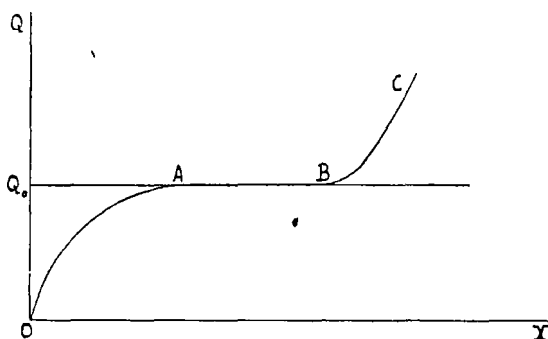
**§ 13. Теорія іонизаціи отъ столкновенія іоновъ и теорія колебательнаго разряда.** — Мы видѣли, что въ газѣ подъ атмосфернымъ давленіемъ, іонизированномъ лучами Рѣнтгена или радиоактивнымъ веществомъ въ пространствѣ между двумя электродами, кривая, представляющая зависимость между токомъ  $i$ , проходящимъ между электродами, и разностью потенциаловъ  $V$ , установленною между ними, принимаетъ направленіе, характеризуемое главнымъ образомъ возможностью получить токъ насыщенія, т.-е. предѣльный токъ, который уже не можетъ быть превзойденъ возрастающими значеніями  $V$  до наступленія колебательнаго разряда. Однако, когда оперируютъ подъ уменьшеннымъ давленіемъ, кривая  $i = f(V)$  можетъ представить другой видъ, какъ это вытекаетъ изъ опытовъ Тоунзенда по этому предмету.

Отмѣчаютъ въ этомъ случаѣ, что для слабыхъ полей токъ растетъ все менѣе и менѣе быстро при возрастаніи разности потенциаловъ,

(1) *Ions, électrons, corpuscules*, стр. 881 и 1005.



что указывает такимъ образомъ на стремленіе его къ насыщенію; однако, послѣ достиженія токомъ  $i$  замѣтно постояннаго значенія, или даже до этого, кривая снова подымается: это значитъ, что токъ начинаетъ быстро увеличиваться при возрастаніи разности потенциаловъ (черт. 14).



Черт. 14

Тоунзендъ предложилъ слѣдующее объясненіе. Ионы, приведенные въ движеніе дѣйствіемъ электрическаго поля, испытываютъ столкновенія съ молекулами. Скорость и, слѣдовательно, кинетическая энергія іона въ моментъ столкновенія тѣмъ больше, чѣмъ больше работа, выполненная электрическимъ полемъ во время перемѣщенія іона по его свободному пробѣгу между двумя послѣдовательными столкновеніями. Притомъ, эта работа въ среднемъ равна  $eV$ , если  $e$  есть зарядъ іона и  $V$  — паденіе потенциала вдоль свободного средняго пробѣга іона. Когда значеніе  $V$  достаточно велико, кинетическая энергія іона въ моментъ столкновенія можетъ оказаться такою, что іонъ явится какъ бы летящимъ снарядомъ, который, встрѣчая молекулу, можетъ вызвать образованіе двухъ новыхъ іоновъ. Тогда говорятъ, что имѣется *ионизація отъ столкновенія іоновъ*. Понятно, что если іонъ даетъ такимъ образомъ мѣсто образованію новыхъ іоновъ и, притомъ, въ количествѣ тѣмъ большемъ, чѣмъ интенсивнѣе поле, токъ можетъ быстро увеличиваться вмѣстѣ съ разностью потенциаловъ. Явленію ионизаціи отъ столкновенія благоприятствуетъ уменьшенное давленіе, удлиняя свободный пробѣгъ; тогда легче на длинѣ этого послѣдняго достигнуть паденія потенциала, достаточнаго для возникновенія явленія. Урав-

неніе, связывающее кинетическую энергію іона съ эквивалентною электрическою работою, есть

$$\frac{mv^2}{2} = eV;$$

должно, однако, замѣтить, что это уравненіе приложимо только къ тому случаю, когда скорость  $v$  не очень велика. Въ самомъ дѣлѣ, мы увидимъ, что для частицы, электризуемой въ весьма быстромъ движеніи, масса есть функція отъ скорости частицы, и обычныя уравненія Механики не приложимы. Теорія показываетъ, что предыдущее соотношеніе является замѣтно точнымъ для скоростей, не превышающихъ  $\frac{1}{10}$  скорости свѣта.

Необходимъ минимумъ разности потенциаловъ  $V$  на длинѣ свободного пробѣга іона для возникновенія явленія. Эта разность потенциаловъ меньше для отрицательнаго іона, чѣмъ для положительнаго; значитъ, отрицательный іонъ сильнѣе въ созданіи іонизаціи посредствомъ столкновенія. Минимумъ значенія  $V$  для отрицательнаго іона есть около 25 вольтъ. Изъ соотношенія

$$\frac{mv^2}{2} = eV$$

вытекаетъ, что

$$v = \sqrt{\frac{2e}{m} V}.$$

Можно при этомъ признать, что отрицательный іонъ въ очень быстромъ движеніи имѣетъ весьма малые размѣры и является, вѣроятно, приведеннымъ къ электрону. Дѣйствительно, при достаточномъ значеніи поля всѣ столкновенія іона съ встрѣчными молекулами, повидимому, дѣйствительны; число іоновъ одного рода, образующихся на длинѣ въ одинъ сантиметръ, равно, въ такомъ случаѣ, числу столкновеній, т.-е. обратной величинѣ средняго свободного пробѣга іона. Находимъ, что въ воздухѣ подъ давленіемъ въ  $1^{\text{мм}}$  ртутнаго столба отрицательный іонъ можетъ, для сильныхъ полей, произвести максимально 15 новыхъ іоновъ на сантиметръ; отсюда выводимъ для свободного пробѣга отрицательнаго іона подъ этимъ давленіемъ и въ интенсивномъ электрическомъ полѣ значеніе въ  $\frac{1}{15}$  сантиметра. Это значеніе почти въ десять разъ больше

значенія среднего свободнаго пробѣга молекулы при тѣхъ же условіяхъ, и можно отсюда заключить, что размѣры отрицательнаго іона, въ указанныхъ условіяхъ, весьма малы по сравненію съ размѣрами молекулы. Если отрицательный іонъ можно уподобить тогда электрону, то отношеніе заряда къ массѣ будетъ для него равно  $1,7 \cdot 10^7$  э.-магн. един. (§ 16); отсюда вытекаетъ, что minimum скорости, достаточный для приданія ему іонизирующей силы, равенъ

$$\sqrt{2 \times 1,7 \times 10^7 \times 25 \times 10^8},$$

т.-е. около  $3 \cdot 10^8 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ .

Эта скорость какъ разъ того же порядка, что и скорость весьма медленныхъ катодныхъ лучей, способныхъ произвести іонизацію газа; катодные лучи сами, впрочемъ, представляютъ электроны въ движеніи.

Для полей ниже нѣкотораго предѣла одни только отрицательные іоны функционируютъ, какъ летящіе снаряды или іонизирующіе лучи; для полей еще болѣе интенсивныхъ начинаютъ играть ту же роль положительные іоны. Наконецъ, когда поле принимаетъ достаточное значеніе, возникновеніе новыхъ іоновъ отъ столкновенія уже существующихъ увеличивается весьма быстро, и наступаетъ моментъ, когда токъ можетъ поддерживаться только однимъ этимъ источникомъ безъ помощи посторонняго лучеспусканія. Тогда получается колебательный разрядъ. По этой теоріи колебательный разрядъ долженъ всегда вызываться начальнымъ присутствіемъ нѣсколькихъ іоновъ; извѣстно, притомъ, что разныя причины могутъ породить эти необходимые для начала іоны.

**§ 14. Катодные лучи.**—Весьма драгоценнымъ средствомъ для полученія свѣдѣній о размѣрахъ заряженной частицы служитъ опредѣленіе для этой частицы отношенія заряда къ массѣ. Для этого изучаютъ движеніе частицы въ электрическомъ и въ магнитномъ полѣ. Въ обоихъ случаяхъ заряженная частица отклоняется отъ своего первоначальнаго пути, и величина отклоненія зависитъ отъ отношенія  $\frac{e}{m}$  заряда къ массѣ и отъ скорости  $v$  частицы.

Первые опыты этого рода относятся къ катоднымъ лучамъ. Когда заставляютъ проходить электрической разрядъ въ газѣ подъ очень слабымъ давленіемъ, напр.,  $\frac{1}{1000}$  миллиметра ртутнаго столба,

содержащимся въ стеклянной трубкѣ, снабженной двумя электродами отрицательный электродъ, или катодъ, испускаетъ лучи, называемые *катодными лучами*. Эти лучи исходятъ нормально изъ поверхности катода и слѣдуютъ въ газѣ по прямолинейному пути, отмѣчаемому по временамъ флуоресценціею газа во время ихъ прохожденія. Прибытіе лучей на стеклянную стѣнку, противоположную катоду, сопровождается яркой флуоресценціею, и если на пути пучка этихъ лучей вставить для нихъ темную преграду, то эта послѣдняя дастъ отчетливую тѣнь, появленіе которой доказываетъ прямолинейное распространеніе лучей. Катодные лучи имѣютъ весьма замѣтную энергію; ударяясь въ препятствіе, они могутъ повысить его температуру до точки бѣлаго каленія и, въ случаѣ стекла, произвести плавленіе. Они отклоняются отъ своего прямолинейнаго пути дѣйствіемъ электрическаго или магнитнаго поля; это отклоненіе совершается тѣмъ же манеромъ, какъ и отклоненіе, которое можно предвидѣть, уподобляя катодный лучъ матеріальной частицѣ, заряженной отрицательно и пущенной катодомъ съ весьма большою скоростью. Фактъ переноса катодными лучами отрицательнаго электричества былъ къ тому же доказанъ непосредственно опытами Перрена (Perrin)<sup>(1)</sup>. Предыдущая теорія природы катодныхъ лучей, первоначально высказанная Круксомъ, въ настоящее время стала общепринятою.

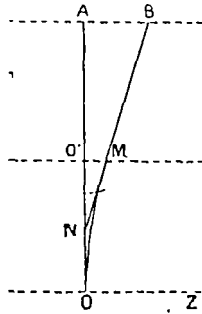
Ленару (Lenard) удалось наблюдать катодные лучи вѣтъ Круксовой трубки, въ которой они образуются, направляя ихъ на весьма тонкое алюминиевое окно, составляющее часть стѣнки трубки. Если толщина этого окна всего нѣсколько тысячныхъ миллиметра, то лучи могутъ пройти сквозь окно и распространятся за нимъ, сохраняя свой зарядъ. Однако, распространиться на значительное разстояніе они могутъ только въ томъ случаѣ, если проникаютъ при выходѣ изъ окна въ камеру, не содержащую воздуха; въ воздухѣ подъ атмосфернымъ давленіемъ они тотчасъ поглощаются и могутъ пройти разстояніе только отъ 1<sup>мм</sup> до 2<sup>мм</sup>. Получая катодные лучи въ газѣ, можно констатировать, что они производятъ въ немъ интенсивную іонизацію.

**§. 15. Дѣйствіе магнитнаго и электрическаго поля на катодные лучи.** — Сила, дѣйствующая въ равномѣрномъ магнитномъ полѣ интенсивности  $H$  на катодную частицу, пущенную въ направле-

(1) *Ions, électrons, corpuscules*, стран. 558.

ни, нормальномъ къ полю, со скоростью  $v$ , равна  $Hev$ , если  $e$  есть зарядъ частицы. Эта сила нормальна къ плоскости, проходящей черезъ направленіе скорости и направленіе поля; ея направленіе дается по правилу Ампера, относящемуся къ дѣйствию магнитнаго поля на электрическій токъ.

Посредствомъ діафрагмъ, надлежащимъ образомъ расположенныхъ въ трубкѣ, гдѣ образуются катодные лучи, возможно выдѣлить узкій и замѣтно цилиндрическій лучокъ этихъ лучей. Пусть  $OA$  (черт. 15) будетъ направленіе распространенія такого пучка, и предположимъ, что равномерное магнитное поле интенсивности  $H$ , нормальное къ плоскости чертежа и направленное къ задней сторонѣ этой плоскости, возбуждено въ области, заключенной между



Черт. 15

$O$  и  $O'$  первоначальнаго пути пучка. Сила  $Hev$ , обязанная этому полю, содержится въ плоскости чертежа, и траекторія пучка остается въ этой плоскости. Такъ какъ сила нормальна къ траекторіи, скорость какой-либо изъ заряженныхъ частицъ, составляющихъ пучокъ, остается постоянною по величинѣ; если эта скорость не слишкомъ близка къ скорости свѣта, можно приложить къ движению частицы уравненія Механики, и если пустота достаточно полная, чтобы присутствіе газа не могло вліять на движеніе летящаго ядра, то получаемъ соотношеніе

$$\frac{mv^2}{R} = Hev,$$

гдѣ  $m$  есть масса частицы и  $R$  — радиусъ кривизны траекторіи. Такъ какъ  $v$  постоянно,  $R$  также постоянно; значить, частица описываетъ круговую траекторію, касательную въ  $O$  къ направле-

нiю  $OA$  и имѣющую радиусомъ значенiе  $R$ , выводимое изъ написанной формулы.

Можно вычислить значенiе бокового перемѣщенiя частицы, соответствующаго длинѣ  $OO' = l$  поля. Это перемѣщенiе  $O'M = \delta$  представляетъ магнитное отклоненiе; оно связано съ радиусомъ кривизны  $R$  траекторiи соотношенiемъ

$$\delta = (2R - \delta) = l^2.$$

При слабомъ отклоненiи можно воспользоваться приближеннымъ соотношенiемъ

$$2R\delta = l^2,$$

откуда

$$\delta = \frac{e}{mv} \frac{l^2}{2} H.$$

Если частица продолжитъ свой путь внѣ магнитнаго поля, она пойдетъ отъ точки  $M$  по касательной въ  $M$  къ дугѣ круга  $OM$ . Пусть  $A$  будетъ точка, гдѣ первоначальное направленiе частицы встрѣчаетъ плоскость, нормальную къ этому направленiю; послѣ магнитнаго отклоненiя частица встрѣтитъ ту же плоскость въ  $B$ , и, значитъ,  $AB = z$  представитъ значенiе конечнаго отклоненiя. Когда отклоненiе мало, касательная  $MB$  встрѣчаетъ направленiе  $OA$  въ точкѣ  $N$ , служащей замѣтно серединою  $OO'$ . Тогда, обозначая черезъ  $D$  разстоянiе  $OA$ , имѣемъ:

$$2R \cdot \overline{O'M} = l^2,$$

откуда

$$z = \frac{2\delta}{\rho} \left( D - \frac{l}{2} \right) = \left( D - \frac{l}{2} \right) \frac{leH}{mv}.$$

Пучокъ можно принять на экранъ, флуоресцирующiй подѣ дѣйствiемъ лучей, и наблюдать на этомъ экранѣ перемѣщенiе свѣтлагося пятна, отмѣчающаго точку прибытiя пучка. Можно также экранъ замѣнить фотографическою пластинкою, на которой лучи производятъ оттискъ; тогда мы получимъ одинъ оттискъ, соответствующiй первоначальному направленiю пучка, и другой, соответствующiй направленiю отклоненнаго пучка. Въ обоихъ случаяхъ можно измѣрить отклоненiе и вывести изъ него значенiе отношенiя  $\frac{e}{mv}$ , если извѣстно  $H$ .

На практикѣ предыдущій методъ измѣреніи можетъ быть измѣненъ и усовершенствованъ, но принципъ, однако, остается тотъ же самый.

Когда наэлектризованная частица перемѣщается со скоростью  $v$  въ равномерномъ магнитномъ полѣ интенсивности  $H$ , направленіе котораго образуетъ уголъ  $\alpha$  съ направленіемъ начальной скорости частицы, легко показать, что траекторіей будетъ винтовая линія, касательная въ началѣ къ направленію начальной скорости и накрученная на прямой круговой цилиндръ съ производящими, параллельными полю, и съ радіусомъ, равнымъ  $R \sin \alpha$ , гдѣ  $R$  есть радіусъ окружности, описываемой частицею, когда она пущена съ тою же скоростью нормально къ полю. Въ самомъ дѣлѣ, сила, дѣйствующая на частицу, равна тогда  $Hev \sin \theta$ , гдѣ  $\theta$  есть уголъ, образуемый касательною къ траекторіи съ направленіемъ поля; притомъ, эта сила нормальна къ плоскости, проходящей черезъ направленія скорости и поля. Слѣдовательно, скорость  $v$  остается постоянною по величинѣ, также какъ и ея слагающая  $v \cos \theta$  по направленію поля. Отсюда вытекаетъ, что уголъ  $\theta$  постояненъ и равенъ  $\alpha$ , т.-е. что траекторія образуетъ постоянный уголъ съ направленіемъ поля и, значитъ, представляетъ винтовую линію, накрученную на цилиндръ съ производящими, параллельными этому направленію.

На плоскость, нормальную къ полю, сила  $Hev \sin \alpha$  проектируется въ настоящую величину, въ направленіи, перпендикулярномъ къ направленію проекціи скорости, и если писать для движенія въ проекціи на эту плоскость уравненія движенія, то будемъ имѣть:

$$\frac{mv^2 \sin^2 \alpha}{\rho} = Hev \sin \alpha,$$

гдѣ  $\rho$  есть радіусъ кривизны проекціи траекторіи. Значитъ, этотъ радіусъ постояненъ и равенъ

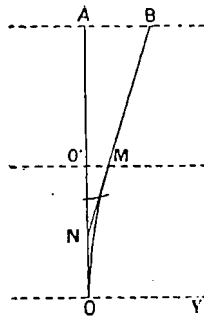
$$\frac{mv}{He} \sin \alpha.$$

Когда магнитное поле не равномерно, видъ траекторіи лучей болѣе сложенъ, но можно всегда его предвидѣть, уподобляя лучъ отрицательно заряженной частицѣ, находящейся въ быстромъ движеніи. Тогда частица считается эквивалентною въ каждой

точкѣ своей траекторіи элементу тока длины  $l$ , помѣщеннаго въ этой точкѣ по касательной; интенсивность тока  $i$  такова, что  $il = ev$ , и его направленіе противоположно направленію движенія частицы, если эта послѣдняя заряжена отрицательно, и одинаково съ направленіемъ движенія частицы, если она заряжена положительно.

Заряженная частица, находящаяся въ электрическомъ полѣ интенсивности  $h$ , подвергается силѣ величиною  $eh$ , направленной одинаково съ полемъ, если зарядъ  $e$  положителенъ, и обратно полю, если этотъ зарядъ отрицателенъ. При равномерномъ полѣ сила постоянна, и если скорость частицы не слишкомъ приближается къ скорости свѣта, можно къ движенію приложить уравненія Механики. При сильной пустотѣ присутствіе газа въ расчетъ не принимается.

Пусть тогда  $OA$  (черт. 16) будетъ первоначальное направленіе пучка и  $OO'$  — область, въ которой находится возбужденное



Черт. 16

электрическое поле направленія, противоположнаго  $OY$ ; отклоненіе будетъ происходить по этому направленію. Если отклоненіе все время слабое, можно допустить, что сила остается нормальною къ траекторіи и что частица описываетъ съ постоянною скоростью  $v$  дугу  $OM$  параболы, вершина которой помѣщается въ  $O$ ; перемѣщеніе  $O'M = \delta'$  равно  $\gamma \frac{t^2}{2}$ , гдѣ  $\gamma$  — ускореніе силы  $eh$  и  $t$  — время пробѣга дуги  $OM$ . Такимъ образомъ имѣемъ:

$$\gamma = \frac{eh}{m}, \quad t = \frac{l}{v}, \quad \delta' = \frac{eh}{2m} \frac{l^2}{v^2}.$$



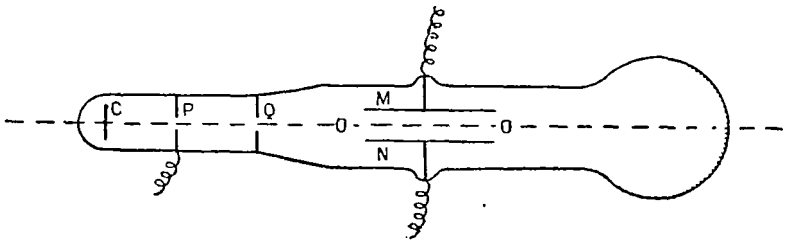
Выйдя из области электрическаго поля, частица продолжает свой путь по касательной въ  $M$  къ параболѣ; эта касательная встрѣчаетъ линію  $OO'$  въ ея серединѣ  $N$ . Если не отклоненный пучокъ встрѣчаетъ въ  $A$  плоскость, нормальную къ его направлению, то отклоненный пучокъ встрѣтитъ ту же плоскость въ  $B$ , и  $AB=y$  будетъ электрическимъ отклоненіемъ. Слѣдовательно, имѣемъ:

$$y = \left( D - \frac{l}{2} \right) \frac{leh}{mv^2},$$

гдѣ  $D$  есть разстояніе  $OA$  и  $l$ —длина поля. Измѣривъ  $y$ , можемъ изъ него вывести значеніе отношенія  $\frac{e}{mv^2}$ , если извѣстно  $h$ .

Вотъ расположеніе, позволяющее сдѣлать приближенное измѣреніе магнитнаго и электрическаго отклоненій.

Черт. 17 представляетъ трубку, производящую лучи.  $C$  есть катодъ;  $P$  и  $Q$ —двѣ діафрагмы, первая изъ которыхъ служитъ



Черт. 17

анодомъ;  $M$  и  $N$ —два диска конденсатора, между которыми можно установить высокую разность потенциаловъ для созданія электрическаго поля. Магнитное поле, нормальное къ плоскости чертежа, можетъ быть возбуждено въ области  $OO'$  двумя совершенно одинаковыми катушками, симметрично расположенными съ обѣихъ сторонъ трубки, при чемъ оси ихъ направлены по одной и той же линіи, нормальной къ оси трубки. Отклоненія  $z$  и  $y$  измѣряются по шкалѣ, помѣщенной въ трубкѣ, и свѣтящійся слѣдъ пучка служитъ указателемъ. Можно получить отклоненіе въ обратную сторону, измѣняя направленіе поля на противоположное.

Между электрическимъ и магнитнымъ отклоненіями существуетъ простое соотношеніе

$$\frac{z^2}{y} = \left( D - \frac{l}{2} \right) \frac{lH^2 e}{h m}.$$

Зная отношеніе  $\frac{z^2}{y}$ , находимъ значеніе  $\frac{e}{m}$ .

При одновременномъ дѣйствіи обонхъ полей можно ихъ интенсивность и ихъ направленіе такъ регулировать, что оба отклоненія будутъ взаимно уничтожаться и пучокъ будетъ сохранять свое первоначальное направленіе. Разъ это условіе осуществлено,  $\delta = \delta'$ , откуда  $v = \frac{h}{H}$ .

Можно еще установить третье соотношеніе между отношеніемъ  $\frac{e}{m}$  и скоростью  $v$ . Для этого допускаютъ, что кинетическая энергія частицы, составляющей катодный лучъ, сообщена этой частицѣ дѣйствіемъ электрическаго поля, существующаго въ производящей трубкѣ.

Это поле въ особенности интенсивно въ непосредственной близости съ катодомъ. При такихъ расположеніяхъ, какъ на *черт* 17, электрическое поле, приводящее въ движеніе частицу, ограничено областью  $CP$ , содержащеюся между электродами, и не существуетъ болѣе за діафрагмою  $P$ ; слѣдовательно, скорость лучей можно считать постоянною въ области, гдѣ они подвергаются дѣйствію магнитнаго или электрическаго поля, предназначеннаго произвести отклоненіе пучка. Если предположить, что каждая частица изъ самой поверхности катода исходитъ съ нулевою скоростью, и если окончательно достигнутая скорость  $v$  не слишкомъ велика (менѣе  $\frac{1}{10}$  скорости свѣта), то можно написать соотношеніе

$$\frac{mv^2}{2} = eV,$$

гдѣ  $V$  разность потенциаловъ между электродами; значитъ, всѣ катодные лучи имѣютъ тогда одну и ту же конечную скорость.

**§ 16. Измѣреніе отношенія  $\frac{e}{m}$  и скорости для электрона въ движеніи.**—Измѣреніе магнитнаго и электростатическаго отклоненій катоднаго пучка, а также измѣреніе разности потенциаловъ между электродами, даютъ намъ, такимъ образомъ, три соотношенія между отношеніемъ  $\frac{e}{m}$  и скоростью  $v$  для катодной частицы. Соединяя вмѣстѣ два изъ этихъ соотношеній, мы можемъ опредѣлить от-

дѣльно значенія  $\frac{e}{m}$  и  $v$ . Это опредѣленіе послужило предметомъ многочисленныхъ работъ, приведшихъ къ важнымъ результатамъ.

Первыми опредѣленіями мы обязаны Ж.-Ж. Томсону, пользовавшемуся магнитнымъ и электростатическимъ отклоненіями лучей.

Найденное для  $\frac{e}{m}$  значеніе равнялось  $0,8 \cdot 10^6$  э.-магн. един.; оно было замѣтно одно и то же въ воздухѣ, въ водородѣ и въ углекисломъ газѣ и оказалось независимымъ отъ природы электродовъ и отъ степени пустоты. Соответственная скорость была порядка  $10^9 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ .

Извѣстно, съ другой стороны, что въ электролитическихъ явленіяхъ опредѣленный зарядъ сопровождаетъ извѣстную матеріальную массу; отношеніе заряда къ массѣ для элемента зависитъ отъ природы элемента; максимумъ этого отношенія достигнуть для водорода и оказывается равнымъ 9650, т.-е. около  $10^4$  э.-магн. един. Такимъ образомъ мы видимъ непосредственно, что заряженные частицы, составляющія катодные лучи, весьма отличаются отъ электролитическихъ іоновъ; онѣ характеризуются отношеніемъ  $\frac{e}{m}$  гораздо большимъ, чѣмъ для этихъ послѣднихъ, и независимымъ отъ природы газа, въ которомъ происходитъ разрядъ.

Аналогичное значеніе для  $\frac{e}{m}$  наблюдалось Ленаромъ для катодныхъ лучей, прошедшихъ черезъ алюминіево окно.

Болѣе точныя измѣренія отношенія  $\frac{e}{m}$  для катодныхъ лучей были сдѣланы Кауфманомъ (Kaufmann) и Симономъ (Simon), измѣрявшими магнитное отклоненіе и разность потенциаловъ между электродами. Этотъ методъ принимаетъ во вниманіе, что магнитное поле не можетъ быть равномернымъ вдоль пути пучка. Найденное для  $\frac{e}{m}$  число есть  $1,865 \cdot 10^7$  э.-магн. един. Это число, болѣе высокое, чѣмъ число Ж.-Ж. Томсона и Ленара, было подтверждено Класеномъ<sup>(1)</sup>, который оперировалъ въ весьма простыхъ съ теоретической точки зрѣнія условіяхъ. Катодные лучи производились въ области равномернаго магнитнаго поля, полученнаго посредствомъ

(1) Classen, *Phys. Zeit.*, 1908 г.

двухъ соленидовъ. Употреблялся катодъ, поверхность котораго имѣла въ серединѣ очень небольшое круговое пятно изъ окиси кальція; когда такой катодъ раскалялся добѣла, происходило изобильное выбрасываніе отрицательныхъ электроновъ. Противъ катода находилась въ качествѣ анода пластинка изъ платины съ небольшимъ отверстіемъ, приходившимся какъ разъ противъ пятна изъ окиси. Между катодомъ и анодомъ, отстоявшими другъ отъ друга всего на  $1^{\text{мм}}$ , устанавливалась разность потенциаловъ въ 1000 вольтъ. Узкій пучокъ катодныхъ лучей, нормальный къ поверхности анода, проходилъ тогда черезъ упомянутое отверстіе. Въ равномерномъ магнитномъ полѣ, нормальномъ къ первоначальному направленію пучка, этотъ послѣдній, описавъ круговую траекторію, давалъ изображеніе на кольцообразной фотографической пластинкѣ, помѣщенной на анодѣ. Разстояніе между двумя изображеніями, полученными обращеніемъ поля въ противоположную сторону, равно удвоенному діаметру описанной окружности. Значеніе отношенія  $\frac{e}{m}$  было выведено изъ измѣренія этого діаметра при данной разности потенциаловъ  $V$ , сообщившей электронамъ ихъ скорость; для означеннаго вывода послужили формулы

$$\frac{mv}{e} = RH, \quad \frac{mv^2}{2} = eV.$$

При полѣ  $H = 56$  ед. Гаусса діаметръ  $2R$  получается равнымъ приблизительно  $37^{\text{см}}$ .

Согласные результаты многихъ опытовъ приводятъ къ среднему значенію

$$\frac{e}{m} = 1,773 \cdot 10^7 \text{ э.-магн. едн.},$$

при чемъ возможная ошибка исчисляется въ нѣсколько единицъ послѣдней цифры.

Попытка прямого измѣренія скорости катодныхъ лучей посредствомъ сравненія со скоростью электромагнитныхъ волнъ была сдѣлана Wiechert'омъ <sup>(1)</sup> и привела къ числу того же порядка, какъ и число, вытекающее изъ предыдущихъ методовъ.

§ 17. Электроны.—Въ окончательномъ выводѣ, отношеніе  $\frac{e}{m}$  для катодныхъ лучей, которые можно получить, пропуская коле-

(1) Wiechert, *Ions, electrons, corpuscles*, стран. 1029.

бательный разрядъ сквозь разрѣженный газъ, почти въ 1800 разъ больше такого же отношенія для водорода, выдѣляющагося при электролизѣ. Притомъ весьма вѣроятно, что зарядъ частицы, образующей катодный лучъ, равенъ заряду одновалентнаго атома при электролитической проводности. Дѣйствительно, мы видѣли, что этотъ послѣдній зарядъ такой же, какъ и зарядъ газоваго іона. По сравнительному же изученію іоновъ, получаемыхъ въ разныхъ случаяхъ, кажется вѣроятнымъ, что отрицательный іонъ всегда имѣетъ ядромъ электронъ или корпускулу, которому принадлежитъ вся сумма заряда и размѣры котораго ничтожны по сравненію съ размѣрами атома, но который способенъ окружаться газовыми молекулами и этимъ образовывать довольно значительную аггломерацию (скопленіе). Этой аггломерации, повидному, не происходитъ, когда разрѣженный газъ подвергнутъ дѣйствию довольно интенсивнаго поля, чтобы могла возникнуть іонизація отъ столкновенія іоновъ; значитъ, весьма вѣроятно, что аггломерации нѣтъ, когда сквозь газъ проходитъ колебательный разрядъ. Тогда естественно разсматривать частицы, образующія катодные лучи, какъ тѣ же электроны, которые во всѣхъ случаяхъ служатъ ядрами отрицательныхъ іоновъ и которые образуются на поверхности катода отъ столкновенія положительныхъ іоновъ съ молекулами газа. Это предположеніе можетъ считаться доказаннымъ опытами Ленара, по которымъ можно получать лучи, вполне тождественные съ катодными, пользуясь стеклянною трубкою, снабженною двумя электродами, однимъ изъ которыхъ служитъ цинкъ, производя въ этой трубкѣ сильную пустоту и освѣщая затѣмъ ультрафіолетовымъ свѣтомъ цинковый электродъ, доведенный до отрицательнаго потенциала, въ то время какъ другой электродъ соединенъ съ землею. Цинковый катодъ является тогда источникомъ испусканія катодныхъ лучей, и скорость ихъ тѣмъ больше, чѣмъ выше разность потенциаловъ между электродами. Въ газѣ подъ атмосфернымъ давленіемъ цинковый катодъ даетъ, напротивъ, отрицательные іоны сравнительно большой массы, ядромъ у которыхъ является именно отрицательный электронъ, или наименьшій извѣстный матеріальный элементъ, связанный съ наименьшимъ количествомъ отрицательнаго электричества, какое можно изолировать.

Изъ этихъ соображеній выводять, что проявленія электрона свойственны массѣ, почти въ 1800 разъ меньшей массы атома

водорода. Понятно, что частица столь малыхъ размѣровъ можетъ въ извѣстныхъ случаяхъ отколоться отъ атома, не разрушая этого послѣдняго.

Скорость катодныхъ лучей растетъ вмѣстѣ съ разностью потенциаловъ, расходуемой на приведеніе электроновъ въ движеніе.

Практически эта скорость содержится между  $10^8 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ , соответствующей наиболѣе медленнымъ лучамъ, которые можно получить въ пустотѣ подѣ дѣйствіемъ ультрафіолетоваго свѣта на цинкъ, и  $10^{10} \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ , соответствующей наиболѣе быстрымъ катоднымъ лучамъ, которые можно получить при разрядныхъ потенциалахъ около 40000 вольтъ. Такимъ образомъ здѣсь дѣло идетъ о весьма большихъ скоростяхъ по сравненію со скоростями обыкновенныхъ металлическихъ снарядовъ, но въ среднемъ гораздо низшихъ скорости свѣта.

Электронъ, надѣленный одною изъ этихъ большихъ скоростей, можетъ, благодаря малости своихъ размѣровъ, пройти сквозь очень тонкій твердый экранъ.

По новѣйшимъ теоріямъ электричества соотношеніе  $\frac{mv^2}{2} = eV$  приложимо только къ частицамъ, скорость которыхъ не слишкомъ велика и не достигаетъ, напр.,  $\frac{1}{10}$  скорости свѣта. Соотношеніе не прилагается болѣе во всей точности къ быстрѣйшимъ катоднымъ лучамъ. Какъ увидимъ дальше, отношеніе  $\frac{e}{m}$  должно оставаться независающимъ отъ скорости для сравнительно слабыхъ скоростей, но затѣмъ все быстрѣе и быстрѣе должно уменьшаться съ увеличеніемъ скорости. Опытъ показалъ, что отношеніе  $\frac{e}{m}$  остается замѣтно постояннымъ для лучей, скорость которыхъ ниже  $4 \cdot 10^9 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ , но что оно имѣетъ значительно низшее значеніе для лучей, скорость которыхъ превосходитъ  $10^{10} \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ .

Теперь извѣстны различныя явленія, истолкованіе которыхъ требуетъ гипотезы существованія отрицательныхъ электроновъ. Такъ, напр., испусканіе отрицательнаго электричества раскаленными добѣла тѣлами связано съ выбрасываніемъ корпускулъ, ко-

торые входятъ въ составъ этихъ тѣлъ и отдѣленію которыхъ благоприятствуетъ повышеніе температуры. Произведенное Л.-Л. Томсономъ опредѣленіе отношенія  $\frac{e}{m}$  для выброшенныхъ корпускулъ привело къ уподобленію этихъ послѣднихъ электронамъ.

Точно такъ же, рассматривая источникъ свѣта, дающій спектръ испусканія, и помѣщая его въ магнитномъ полѣ, констатируемъ измѣненіе вида этого спектра, доказанное опытами Зеемана (Zeeman). Это измѣненіе вида объясняется допущеніемъ, что центры испусканія свѣта въ источникѣ представляютъ отрицательные электроны, для которыхъ отношеніе  $\frac{e}{m}$  имѣетъ значеніе порядка  $10^7$  э.-магн. еднн.

Новѣйшія теоріи электричества приписываютъ металлическую проводимость и проводимость тепловую присутствію въ металлахъ свободныхъ электроновъ, которые участвуютъ въ тепловомъ молекулярномъ волненіи и способны перемѣщаться въ металлѣ подъ дѣйствіемъ электрическаго поля, испытывая отъ столкновеній съ молекулами сопротивление, аналогичное тренію. Обмѣнъ этихъ свободныхъ электроновъ не достаточенъ для измѣненія химическихъ свойствъ металловъ.

Точно такъ же молекулы газа могутъ въ извѣстномъ числѣ оказаться іонизированными лучами Рѣнтгена, не вызывая въ то же время замѣтнаго химическаго измѣненія въ природѣ газа.

Электроны входятъ въ составъ всѣхъ атомовъ. Они разнообразными способами участвуютъ въ явленіяхъ радиоактивности. Часть лучеспусканія радиоактивныхъ тѣлъ состоитъ въ выбрасываніи электроновъ большой скорости, названныхъ *лучами  $\beta$* .

**§ 18. Положительные лучи.**—Помимо катодныхъ лучей, или лучей, составляемыхъ электронами въ движеніи, существуютъ также положительные лучи, образуемые частицами, заряженными положительно и надѣленными большою скоростью. Эти лучи равнымъ образомъ возникаютъ во время прохожденія колебательнаго разряда въ разряженномъ газѣ; они существуютъ въ пространствѣ передъ катодомъ, и если сквозь этотъ послѣдній просверленъ каналъ, они проходятъ черезъ него и могутъ быть наблюдаемы въ области за катодомъ по отношенію къ аноду; иногда ихъ называютъ *закачодными лучами (rayons cathodes)* отъ устройства опыта

для ихъ полученія). Исслѣдованія разныхъ экспериментаторовъ <sup>(1)</sup> доказали, что положительныя лучи проявляютъ себя совершенно такъ же, какъ положительно заряженныя частицы, что ихъ отклоненіе въ магнитномъ или электрическомъ полѣ точно такое, какое вытекаетъ изъ этого предположенія, и что они переносятъ положительное электричество. Методы, аналогичныя въ принципѣ тѣмъ, которыми пользовались для катодныхъ лучей, дали возможность измѣрить отношеніе  $\frac{e}{m}$  и скорость  $v$  для положительныхъ лучей. Находимъ, что величина отношенія  $\frac{e}{m}$  — того же порядка, что и величина, наблюдаемая для атомовъ при электролизѣ. Максимумъ этого отношенія есть  $10^4$  э.-магн. едн., какъ для водорода при электролизѣ, но равнымъ образомъ наблюдались и гораздо низшія значенія. Скорость лучей—порядка  $10^8 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ ; значитъ, она значительно ниже скорости катодныхъ лучей.

Положительныя лучи вызываютъ флуоресценцію газа, черезъ который они проходятъ, и стекла, о которое они ударяются; они производятъ въ газахъ сильную іонизацію. Ихъ корпускулярная природа подтверждается наблюденіемъ свѣта, исходящаго изъ ихъ пучка. Въ спектрѣ этого свѣта, наблюдаемомъ либо нормально къ направленію пучка, либо въ направленіи самого пучка, нѣкоторыя линіи не занимаютъ точно одного и того же положенія въ двухъ случаяхъ, но представляютъ относительное перемѣщеніе, аналогичное перемѣщенію, наблюдавшемуся при сравненіи спектра свѣтящагося источника въ быстромъ движеніи къ наблюдателю со спектромъ того же свѣтящагося источника въ покоѣ. Изученіе этого явленія, называемаго *явленіемъ Доплера*, ведетъ къ допущенію, что положительныя лучи могутъ состояться атомами различной природы, могущими происходить или изъ газа, черезъ который проходитъ разрядъ, или изъ металла, употребляемаго на электроды.

Положительныя лучи, образуемыя колебательнымъ разрядомъ въ разряженныхъ газахъ, являются весьма мало проникающими, и невозможно выпустить ихъ изъ разрядной трубки черезъ окно, какъ бы тонко оно ни было.

(1) *Ions, electrons, corpuscles.*



Когда раскаленные добѣла тѣла испускаютъ положительное электричество, переносящія его частицы аналогичны, какъ измѣренія, положительнымъ лучамъ, сопровождающимъ колебательный разрядъ; это слѣдуетъ изъ опредѣленія величины отношенія  $\frac{e}{m}$ , выполненнаго *Дж. — Дж. Томсономъ*.

Частицы, заряженные положительно и надѣленные большою скоростью, выбрасываются также радиоактивными тѣлами. Онѣ составляютъ часть лучеспусканія этихъ тѣлъ, называемую *лучами  $\alpha$* , и мы увидимъ, что въ этомъ случаѣ также размѣры частицъ — порядка атомныхъ размѣровъ.

Итакъ, нѣтъ, повидимому, симметрин между элементами отрицательнаго электричества, или электронами, и элементами положительнаго электричества. Волѣ извѣстный отрицательный элементъ есть единственный; это электронъ, гораздо меньшій атома. Положительные элементы могутъ быть различныхъ родовъ и скорѣе оказались бы атомной природы. Матерію можно было бы разсмотрѣть, какъ собраніе положительныхъ и отрицательныхъ элементовъ, имѣющихъ соотвѣтственно одинъ и тотъ же элементарный зарядъ.

**§ 19. Лучи Рѣнтгена.**—Помимо катодныхъ и положительныхъ лучей можно наблюдать, въ трубкѣ, содержащей разрѣженный газъ, черезъ который проходитъ электрическій разрядъ, образованіе лучеспусканія, открытаго Рѣнтгеномъ и извѣстнаго подъ именемъ *лучей Рѣнтгена* или *лучей X*.

Лучи X находятся въ тѣсной связи съ катодными лучами; источникъ ихъ испусканія находится на всякомъ препятствіи, встрѣчаемомъ катодными лучами; чаще всего для этого явленія запаиваютъ въ пузырекъ металлическую пластинку, помѣщаемую противъ катода и называемую *антикатодомъ*. Лучи X легко выходятъ изъ пузырька сквозь стекло этого послѣдняго; ихъ распространеніе въ воздухѣ совершенно прямолинейное. Они проходятъ чрезъ всякое вещество и тѣмъ легче, чѣмъ это вещество менѣе плотно. Лучи X дѣйствуютъ на фотографическія пластинки, производятъ фосфоресценцію разныхъ веществъ и ионизируютъ газы, черезъ которые проходятъ. Они не испытываютъ правильнаго отраженія, но разсѣиваются препятствіями; они не подвергаются сколько-нибудь замѣтной ни рефракціи ни диффракціи. Большое различіе ихъ проникающей способности сквозь вещества

различныхъ плотностей позволяетъ ими пользоваться для радіографій, видъ которыхъ хорошо извѣстенъ; эти изображенія получаются при помѣщеніи источника лучей противъ радіографируемаго предмета, позади котораго въ соприкосновеніи съ нимъ находится фотографическая пластинка, обернутая въ черную бумагу.

Доказано, что лучи Рѣнтгена, встрѣчая матеріальныя препятствія, могутъ породить катодные лучи, т.-е. вызывать выбрасываніе электроновъ большой скорости веществомъ препятствія.

Лучи Рѣнтгена обладаютъ проникающею способностью тѣмъ бѣльшею, чѣмъ больше скорость порождающихъ ихъ катодныхъ лучей. Мало проникающіе, или *мягкіе*, лучи образуются Круксовыми трубками, функционирующими подъ умѣренной разностью потенциаловъ; проникающіе, или *твердые*, лучи образуются трубками, въ которыхъ пустота весьма сильная и которыя функционируютъ подъ очень высокою разностью потенциаловъ.

**§ 20. Электромагнитное поле, вызываемое заряженною частицею.**—  
 Всякая точка пространства, въ которой находится электрическій зарядъ, представляетъ точку отправленія или точку прибытія линій электрическаго поля; эти послѣднія берутъ начало въ областяхъ, гдѣ находятся положительные заряды, и оканчиваются въ областяхъ, гдѣ находятся отрицательные заряды. Частица малыхъ размѣровъ, удаленная отъ всякой матеріи и несущая электрическій зарядъ, есть центръ испусканія линій электрическаго поля, другой конецъ которыхъ весьма удаленъ. Если частица—сферическая съ равномернымъ распредѣленіемъ заряда и, притомъ, находится въ покоѣ, линіи электрическаго поля радіальны, и интенсивность поля измѣняется въ отношеніи, обратномъ квадрату разстоянія до центра сферы. Если частица испытала перемѣщеніе и вновь находится въ покоѣ, электрическое поле, вызываемое ею въ ея новомъ положеніи, сохраняетъ по отношенію къ частицѣ то же самое относительное расположеніе; все происходитъ такъ, какъ если бы частица, перемѣщаясь, увлекла съ собою вызванное ею электрическое поле.

Во время перемѣщенія частицы зарождаются болѣе сложныя явленія. Теорія этихъ явленій была развита J.-J. Thomson'омъ, Heaviside'омъ, Searle'емъ, Lorentzo'мъ, Larmor'омъ, M. Abraham'омъ.

Наэлектризованную частицу, въ прямолинейномъ и равномерномъ движеніи съ не очень большою скоростью, можно уподобить въ каж-

дый моментъ элементу электрическаго тока. Если обозначить через  $e$  и через  $v$  зарядъ и скорость частицы, через  $l$  и  $i$  длину элемента соотвѣтственнаго тока и интенсивность этого тока, то эти количества будутъ связаны формулою  $ev = li$ , при условіи, что скорость движенія не слишкомъ велика. Слѣдовательно, частица вызываетъ вокругъ себя магнитное поле, линіи котораго окружности, имѣющія осью траекторію частицы, и интенсивность котораго  $H$  въ точкѣ, находящейся на разстояніи  $r$  отъ центра частицы, въ направленіи, образующемъ уголъ  $\theta$  съ направленіемъ скорости, дается формулою

$$H = \frac{ev \sin \theta}{r^2}.$$

Возникновеніе этого магнитнаго поля можно усмотрѣть также и другимъ образомъ. По теоріямъ, допускаемымъ въ настоящее время, всякое перемѣщеніе линіи электрическаго поля влечетъ за собою созданіе магнитнаго поля. Если въ точкѣ пространства электрическое поле интенсивности  $h$  перемѣщается со скоростью  $v$ , то въ этой точкѣ существуетъ магнитное поле, направленіе котораго нормально къ плоскости, проходящей черезъ направленія электрическаго поля и скорости, и интенсивность котораго  $H$  дается формулою

$$H = Khv \sin \theta,$$

гдѣ  $\theta$  есть уголъ между направленіемъ электрическаго поля и направленіемъ его скорости, а  $K$ —индукціонная способность пустоты. Если электрическое поле создано разсматриваемою заряженною сферою, находящеюся въ движеніи, обѣ формулы, дающія значенія  $H$ , тождественны, такъ какъ  $h = \frac{1}{K} \frac{e}{r^2}$  и уголъ  $\theta$  одинъ и тотъ же въ обоихъ случаяхъ. Можно сказать, пользуясь обычнымъ обозначеніемъ, что магнитное поле  $H$  есть векторіальное произведеніе электрическаго поля на скорость перемѣщенія этого самого поля.

Подобно электрическому полю и магнитное поле увлекается вмѣстѣ съ частицею. Такимъ образомъ, эта послѣдняя сопровождается въ своемъ движеніи электромагнитнымъ полемъ, которое называютъ также *потоккомъ частицы* (*le sillage de la particule*).

Когда скорость частицы велика, сопровождающій ее потокъ принимаетъ болѣе сложную конфигурацію. Тогда должно принять

во вниманіе видопзмѣненіе электрическаго и магнитнаго полей вслѣдствіе движенія потока. Подобно тому какъ перемѣщеніе линій электрическаго поля влечетъ за собою образованіе магнитнаго поля, точно такъ же перемѣщеніе линій магнитнаго поля влечетъ за собою образованіе электрическаго поля. Это послѣднее явленіе, если его разсматривать въ проводникахъ, представляетъ хорошо извѣстное явленіе индукціи; въ настоящее время допускаютъ вмѣстѣ съ Maxwell'омъ, что въ пустотѣ электрическое поле индукціи образуется по тѣмъ же законамъ, какъ и въ проводящей матеріи, т.-е. что вся электродвижущая сила вдоль замкнутого контура равна производной по времени отъ магнитнаго потока индукціи сквозь этотъ контуръ. Кромѣ того доказывается, что, при всякой скорости, магнитное поле остается равнымъ векторіальному произведенію скорости и электрическаго поля. Эти двѣ теоремы опредѣляютъ распредѣленіе обонхъ полей: электрическаго и магнитнаго. Оказывается, что электрическое поле сохраняетъ радіальное распредѣленіе на большихъ разстояніяхъ по сравненію съ размѣрами частицы, но его интенсивность, измѣняющаяся въ данномъ направленіи всегда въ отношеніи, обратномъ квадрату разстоянія, не одна и та же во всѣхъ направленіяхъ; она достигаетъ максимума въ перпендикулярныхъ къ скорости направленіяхъ, содержащихся въ экваторіальной плоскости, и уменьшается съ отклоненіемъ отъ этой плоскости. Значитъ, электрическое поле деформируется такимъ образомъ, что линіи поля, вполнѣ оставаясь прямолинейными, сосредоточиваются вблизи экваторіальной плоскости тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше скорость. Интенсивность электрическаго поля  $h$  на разстояніи  $r$  отъ частицы и въ направленіи, образующемъ уголъ  $\theta$  со скоростью  $v$ , дается формулою

$$h = \frac{e}{Kr^2} \frac{1 - \beta^2}{(1 - \beta^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}},$$

гдѣ  $\beta = \frac{v}{V}$ , при чемъ  $V$  есть скорость свѣта.

Магнитное поле остается распредѣленнымъ по круговымъ линіямъ, имѣющимъ осью траекторію, и его значеніе дается формулою

$$H = Khv \sin \theta = \frac{ev \sin \theta}{r^2} \frac{1 - \beta^2}{(1 - \beta^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}}.$$

Дополнительный (correctif) множитель  $\frac{1 - \beta^2}{(1 - \beta^2 \sin^2 \theta)^{\frac{3}{2}}}$  отличается от единицы меньше, чѣмъ на 0,01, когда отношеніе  $\beta$  ниже 0,1. Слѣдовательно, при всякой скорости, низшей  $\frac{1}{10}$  скорости свѣта, можно допустить съ точностью до 1%, что электрическое поле—то же самое, какъ если бы частица находилась въ покоѣ, и что магнитное поле можетъ быть вычислено, какъ показано выше, при помощи формулы Лапласа.

Если движеніе не является равномернымъ и прямолинейнымъ, т.-е. если имѣется ускореніе, болѣе полныя формулы сами не строго точны; въ этомъ случаѣ должно принять во вниманіе образованіе излученія, связаннаго съ ускореніемъ частицы. Однако можно показать, что для ускореній, какія можно усмотрѣть, распредѣленіе поля вблизи частицы зависитъ, съ большою степенью приближенія, только отъ дѣйствительной скорости; движенія, удовлетворяющія этому условію, называются *quasi-стационарными*.

§ 21. Инерція и электромагнитная масса. — Электромагнитный потокъ, сопровождающій заряженную частицу, находящуюся въ движеніи, представляетъ нѣкоторое количество электромагнитной энергіи, при чемъ энергія въ элементѣ объема  $du$  равна суммѣ энергіи электрическаго поля  $\frac{Kh^2 du}{8\pi}$  и энергіи магнитнаго поля  $\frac{\mu H^2 du}{8\pi}$  ( $\mu$  — проницаемость среды). Притомъ мы видѣли, что для слабыхъ скоростей электрическое поле—такое же, какъ и въ состояніи покоя, такъ что приведеніе въ движеніе частицы требуетъ расхода энергіи, равной одной только магнитной энергіи; эта же послѣдняя пропорціональна квадрату скорости, потому что  $H$  пропорціонально  $v$ , и легко показать, что для сферической частицы радіуса  $a$ , несущей поверхностный зарядъ  $e$ , распредѣленный равномерно, значеніе магнитной энергіи есть

$$\int \frac{\mu H^2 du}{8\pi} = \frac{\mu e^2}{3a} v^2.$$

Эта энергія—того же вида, какъ и кинетическая энергія  $\frac{1}{2}mv^2$ . Значитъ, все происходитъ такъ, какъ если бы, въ силу своего заряда, частица обладала дополнительной инерціею, иначе говоря,

дополнительною массою, которымъ даютъ названіе *инерціи* или *электромагнитной массы*. Въ только-что разсмотрѣнномъ случаѣ электромагнитная масса  $m_0$  равна  $\frac{2}{3} \frac{p.e^2}{a}$ . Такимъ образомъ мы видимъ, что инерція наэлектризованной частицы, по крайней мѣрѣ отчасти, электромагнитнаго происхожденія, и вопросъ сводится къ тому, можетъ ли инерція, вообще, получить подобное истолкованіе. Эта мысль, повидимому, подтверждается, по крайней мѣрѣ, по скольку это касается электроновъ, теоретическими и опытыми изслѣдованіями относительно инерціи электроновъ, скорости которыхъ сравнимы со скоростью свѣта. Въ самомъ дѣлѣ, мы видѣли, что для такихъ скоростей электрическое поле уже не будетъ такимъ, какъ въ покой; отъ этого происходитъ въ потокѣ дополнительная электрическая энергія, представляющая довольно сложную функцію отъ скорости частицы; въ то же время магнитное поле перестаетъ быть пропорціональнымъ скорости. По этимъ двумъ причинамъ энергія, которая должна быть сообщена потоку во время приведенія въ движеніе частицы, или электромагнитная кинетическая энергія, уже не пропорціональна квадрату скорости. Электромагнитную массу тогда нельзя болѣе опредѣлять такъ же просто, какъ въ случаѣ слабыхъ скоростей, и приходится различать, въ отдѣльности, *продольную массу*  $m_1$ , соответствующую измѣненію величины скорости, т.-е. тангенціальному ускоренію, и *поперечную массу*  $m_2$ , соответствующую измѣненію скорости только по направлению, т.-е. нормальному ускоренію. Опредѣленіе этимъ массамъ даютъ уравненія, присущія движенію частицы,

$$m_1 \frac{dv}{dt} = F_t, \quad \frac{m_2 v^2}{\rho} = F_n.$$

Въ этихъ уравненіяхъ  $F_t$  и  $F_n$  — тангенціальная и нормальная слагающія силы, дѣйствующей на частицу, и  $\rho$  — радіусъ кривизны траекторіи.

Можно вычислить  $m_1$  и  $m_2$  въ предположеніи, что инерція всецѣло электромагнитнаго происхожденія. Для выполненія вычисленія мы обязаны задать видъ частицы и распредѣленія ея электрическаго заряда. По одному изъ такихъ допущеній частица обладает неизмѣнною сферическою формою и поверхност-

нымъ зарядомъ равномернаго распредѣленія. Въ этомъ случаѣ находимъ:

$$m_1 = \frac{\mu e^2}{2a\beta^2} \left( \frac{2}{1-\beta^2} - \frac{1}{\beta} \text{Log}_e \frac{1+\beta}{1-\beta} \right),$$

$$m_2 = \frac{\mu e^2}{2a\beta^2} \left( \frac{1+\beta^2}{2\beta} \text{Log}_e \frac{1+\beta}{1-\beta} - 1 \right).$$

Въ этихъ формулахъ  $\text{Log}_e$  обозначаетъ натуральный логарифмъ.

По второму допущенію частица, обладающая равномернымъ поверхностнымъ зарядомъ, не оконченѣлая, но могущая деформироваться. Лоренцъ допустилъ, что равномерное перенесеніе (translation) со скоростью  $v$  влечетъ за собою въ дѣйствительности деформацію частицы и что эта деформація заключается въ сжатіи въ направленіи движенія. Сферическая частица радіуса  $a$  является сплюснутымъ эллипсоидомъ вращенія, малая ось котораго совпадаетъ съ траекторіею, экваторіальный и полярный радіусы котораго равны соотвѣтственно  $a$  и  $a\sqrt{1-\beta^2}$  и зарядъ котораго остается тотъ же, что и въ состояніи покоя. Соображенія, приведенія Лоренца къ гипотезѣ сжатія, имѣли цѣлью согласить электромагнитную теорію съ опытными результатами, стремящимися доказать, что невозможно обнаружить вліянія перемѣщенія (translation) земли на оптическія и электромагнитныя явленія, производимыя съ земными источниками. Гипотеза сжатія въ состояніи объяснить неуспѣшность предпринятыхъ по этому предмету попытокъ, приводящихъ къ заключенію о невозможности, вообще, обнаружить абсолютное перемѣщеніе (translation). Сказанная теорія *относительности*, недавно приложенная къ электромагнитнымъ явленіямъ, принимаетъ это заключеніе, какъ принципъ; эта теорія приводитъ къ теоретическимъ и опытнымъ результатамъ, находящимся въ согласіи съ тѣми, которые выведены изъ теоріи Лоренца. Въ такомъ случаѣ получаемъ, для электромагнитной массы, слѣдующія формулы:

$$m_1 = \frac{2\mu e^2}{3a} (1-\beta^2)^{-\frac{3}{2}}, \quad m_2 = \frac{2\mu e^2}{3a} (1-\beta^2)^{-\frac{1}{2}}.$$

Эти формулы отличаются отъ формулъ для недеформирующей частицы. Однако, въ обоихъ случаяхъ, констатируемъ, что для слабыхъ скоростей (тогда  $\beta$  ничтожно по сравненію съ единицею) про-

дольная и поперечная массы стремятся къ общему значенію, которое является однимъ и тѣмъ же въ обѣихъ теоріяхъ и равно  $m_0$ . Констатируемъ также, что въ обоихъ случаяхъ электромагнитная масса есть функція отъ скорости, возрастающая вначалѣ медленно, потомъ очень быстро, по мѣрѣ того какъ растетъ отношеніе  $\beta$ , и обращающаяся въ безконечность, когда это отношеніе принимаетъ значеніе 1, т.-е. когда скорость частицы дѣлается равною скорости свѣта. Отсюда вытекаетъ, что понадобилась бы безконечно-большая энергія, чтобы сообщить частицѣ скорость свѣта, и что поэтому такая скорость не можетъ быть осуществлена. Однако, какъ мы увидимъ при изученіи лучей  $\beta$  радія, могутъ быть получены скорости, чрезвычайно близкія къ скорости свѣта.

Вотъ таблица, указывающая, согласно формулѣ Лоренца, какъ со скоростью частицы измѣняется поперечная масса:

$\beta \dots 0$	0,01	0,1	0,25	0,5	0,75	0,9	0,99	0,999
$\frac{m_2}{m_0} \dots 1$	1,00005	1,005	1,032	1,155	1,513	2,3	7,08	22,4

Мы видимъ, что для  $\beta = 0,1$  масса  $m_2$  отличается еще только на 0,5% отъ массы  $m_0$ , соответствующей покою, и что для  $\beta = 0,99$  отношеніе  $\frac{m_2}{m_0}$  все еще ниже 10. Лишь для значеній  $\beta$ , весьма близкихъ къ единицѣ, возрастаніе массы дѣлается очень быстрымъ.

Зная зависимость между массою частицы и ея скоростью, можно знать движеніе частицы подѣ дѣйствіемъ внѣшнихъ силъ. Можно, въ частности, изучить движеніе заряженной частицы въ электрическомъ или магнитномъ полѣ и изслѣдовать, можно ли это движеніе истолковать гипотезою, что частица обладаетъ массою, измѣняющеюся со скоростью по одной изъ указанныхъ выше формулъ, съ прибавленіемъ или безъ прибавленія постоянной массы не электромагнитнаго происхожденія. Заряженные частицы, чрезвычайно малыя и несущія отрицательные заряды, равные, вѣроятно, элементарному заряду, доставляются лучами  $\beta$  радія, и скорость этихъ частицъ достаточна для повѣрки теоріи. Подобная повѣрка привела къ заключенію, что масса такой частицы или отрицательный электронъ — всецѣло электромагнитнаго происхожденія, при чемъ предѣльное значеніе  $m_0$ , соответствующее слабымъ скоростямъ, можно разсматривать какъ массу въ томъ смыслѣ, какой придается этому слову въ Механикѣ. Съ другой стороны, мы предвидимъ воз-



возможность приписать электромагнитное происхождение всякой материальной массѣ, рассматривая матерію, какъ собраніе заряженныхъ частицъ, имѣющихъ, каждая, чистую электромагнитную массу. Съ этой точки зрѣнія современная Механика составила бы только первое приближеніе болѣе общей Механики, въ которой масса, рассматриваемая какъ коэффициентъ инерціи, была бы функціею отъ скорости и ускоренія. Теорія этого рода далеко еще не построена. Однако, мы видимъ, что идея неизмѣнной массы оставалась бы правильною съ ошибкою менѣе 1% для скоростей, низшихъ одной десятой скорости свѣта, и что обычныя формулы Механики приложимы въ этихъ предѣлахъ даже къ электронамъ въ движеніи.

**§ 22. Излученіе энергіи электрономъ, подвергнутымъ ускоренію.**— Когда заряженнойъ частицѣ сообщено равномерное поступательное движеніе, электромагнитная энергія ея потока снова уходитъ въ окружающее пространство и оказывается ограниченою почти всегдѣ непосредственною близостью къ частицѣ; этотъ фактъ вытекаетъ изъ закона быстрого убыванія, въ отношеніи, обратномъ квадрату разстоянія, обонхъ полей, электрическаго и магнитнаго. Энергія потока сопровождаетъ частицу въ ея движеніи, и такъ какъ конфигурація системы остается неизмѣнною, то нѣтъ излученной энергіи на разстояніи. Этотъ же результатъ можно предугадать и инымъ образомъ, становясь на точку зрѣнія Лоренца.

Извѣстно, что волненіе электромагнитнаго поля не можетъ почувствоваться на разстояніи мгновенно, но распространяется все далѣе и далѣе въ пространствѣ со скоростью  $v$  свѣта. Согласно этой мысли, Лоренцъ рассматриваетъ электромагнитное поле, производимое заряженною частицею, какъ опредѣленное не настоящимъ состояніемъ частицы, а совокупностью предшествующихъ состояній.

Состояніе движенія частицы, находящейся въ  $O$  въ моментъ  $t$ , опредѣляетъ въ моментъ  $t + \tau$  состояніе середины во всѣхъ точкахъ сферы радіуса  $V\tau$  съ центромъ въ  $O$ . Точно такъ же состояніе частицы между моментами  $t$  и  $t + dt$  опредѣляетъ въ моментъ  $t + \tau$  состояніе середины въ слое между двумя сферами, радіусы которыхъ  $V\tau$  и  $V(\tau + dt)$ , а центры являются положеніями частицы въ моменты  $t$  и  $t + dt$ . Электромагнитное поле внутри этого слоя можно рассмотретьъ, какъ вызванное частицею въ промежутокъ между временами  $t$  и  $t + dt$  и распространенное подъ видомъ сферической волны до настоящаго момента  $t + \tau$ .

Во всякой точкѣ пространства за причину поля въ настоящій моментъ можно принять прохожденіе слоя, вызваннаго раньше. Если скорость  $v$  частицы ничтожна по сравненію со скоростью свѣта, то разстояніе  $vdt$  между центрами двухъ сферъ, ограничивающихъ слой, ничтожно по сравненію съ разностью  $Vdt$  ихъ радіусовъ, такъ что толщина слоя тогда замѣтно постоянна въ каждой точкѣ и равна  $Vdt$ ; эта толщина остается притомъ, постоянною во все время распространенія слоя.

Когда частица находится въ равномерномъ поступательномъ движеніи, электрическое и магнитное поля измѣняются въ отношеніи, обратномъ квадрату разстоянія, и энергія, распространенная по объему слоя радіуса  $r=Vt$  и толщины  $Vdt$ , является въ отношеніи, обратномъ  $r^2$ ; такимъ образомъ, эта энергія стремится къ нулю по мѣрѣ удаленія слоя отъ центра испусканія; иначе говоря, излученная энергія въ безконечности равна нулю.

Другое дѣло, когда движеніе сопровождается ускореніемъ. Рассмотримъ случай, когда измѣненіе скорости продолжается въ теченіи очень короткаго времени  $dt$ . Слой, вызванный въ теченіи времени  $dt$ , раздѣляетъ двѣ области пространства: область, внѣшняя по отношенію къ слою, занята волнами, вызванными до измѣненія скорости, и электромагнитное поле въ ней соотвѣтствуетъ первоначальной скорости; во внутренней области положеніе соотвѣтствуетъ новой скорости. Отъ одной поверхности слоя до другой магнитное поле представляетъ измѣненіе, происшедшее отъ измѣненія скорости, что предполагаетъ въ слоѣ существованіе поды потока перемѣщенія, т.-е. существованіе тангенціального электрическаго поля, вызваннаго ускореніемъ и пропорціональнаго ему. Вычисленіе показываетъ, что интенсивность этого поля измѣняется въ отношеніи, обратномъ радіусу слоя. Въ то же время слоѣ есть мѣстонахожденіе магнитнаго поля также тангенціального, перпендикулярнаго къ электрическому полю, о которомъ только-что шла рѣчь, и измѣняющагося, подобно послѣднему, пропорціонально ускоренію и въ отношеніи, обратномъ разстоянію до центра. На большемъ разстояніи отъ центра испусканія новое электромагнитное поле, обязанное ускоренію, является значительнымъ по отношенію къ полю, обязанному скорости, которое убываетъ гораздо быстрѣе въ функціи отъ разстоянія. Энергія, содержащаяся въ слоѣ, обязана тогда единственно волнѣ ускоренія, и можно при этомъ показать, что въ единицу времени значеніе этой энергіи  $W$  конечно и пропорціо-

нально квадрату ускоренія  $\gamma$ . Это  $W$  и представляет *излученную* *энергію*; она дается формулою

$$W = \frac{2\mu e^2 \gamma^2}{3V}.$$

Можно, кромѣ того, показать, что въ точкѣ  $M$  волны электрическое и магнитное поля, соответствующія этому излученію, пропорціональны, каждое, слагающей ускоренія, перпендикулярнаго къ радіусу  $OM$ , такъ что эти поля обращаются въ нуль въ направленіи ускоренія и достигаютъ своего максимума въ перпендикулярныхъ направленіяхъ.

Волненіе краткой продолжительности, распространяющееся такимъ образомъ въ видѣ слоя, получило названіе *пульсаціи*.

Если ускореніе продолжается въ теченіи конечнаго времени, то получается непрерывное излученіе, представляемое рядомъ налегающихъ другъ на друга слоевъ, вызываемыхъ въ послѣдовательные моменты.

Когда наэлектризованная частица, надѣленная быстрымъ движеніемъ, подвергается внезапной пріостановкѣ, получается пульсація, энергія которой представляетъ часть первоначальной энергіи частицы. Точно такъ же метаніе или внезапное приведеніе въ движеніе заряженной частицы производитъ пульсацію, энергія которой заимствуется отъ ви́шнихъ силъ, вызывающихъ метаніе.

Такимъ образомъ мы предвидимъ, что внезапная задержка катодныхъ лучей на препятствіи должна быть причиною пульсацій, распространяющихся во всѣхъ направленіяхъ, и весьма вѣроятно, что эти пульсаціи составляютъ лучи Рѣнтгена. Мы видѣли, что эти лучи не испытываютъ ни отраженія, ни рефракціи, ни диффракціи; эти свойства могутъ быть объяснены, по Стоксу, для пульсацій, толщина которыхъ мала по сравненію съ длиною волны свѣта, а для этого достаточно, чтобы задержка катодной частицы длилась краткое время по сравненію со свѣтовыми періодами.

Когда распространяющаяся пульсація встрѣчаетъ матеріальное препятствіе, матерія оказывается подверженною электромагнитному полю пульсаціи. Если матерія содержитъ электроны, они подвергаются дѣйствію электрическаго поля, и сообщенная имъ скорость можетъ оказаться достаточною, чтобы нѣкоторые изъ нихъ были выброшены въ окружающее пространство. Такимъ образомъ можно объяснить образованіе катодныхъ лучей на препятствіи, встрѣченномъ лучами Рѣнтгена.

Точно такъ же измѣненіе со скоростью катодныхъ лучей проникающей способности лучей Рѣнтгена, въ производящемъ пузырькѣ, можно предвидѣть по теоріи, уподобляющей лучи Рѣнтгена электромагнитнымъ пульсаціямъ, происходящимъ отъ пріостановки катодныхъ лучей. Можно допустить, что измѣненіе скорости первичной катодной частицы происходитъ въ моментъ прохожденія этой послѣдней въ непосредственной близости къ электрону, содержащемуся въ матеріи; это прохожденіе, продолжительность котораго опредѣляетъ толщину излученной пульсаціи, тѣмъ быстрѣе, чѣмъ больше скорость катодной частицы; значитъ, наиболѣе быстрымъ катоднымъ лучамъ соотвѣтствуютъ наиболѣе тонкія пульсаціи. Съ другой стороны, легко видѣть, что прохожденіе пульсаціи сквозь матерію влечетъ для пульсаціи относительную потерю энергіи, которая тѣмъ больше, чѣмъ пульсація толще. Пусть, въ самомъ дѣлѣ,  $h$  будетъ среднее значеніе электрическаго поля въ пульсаціи, толщина которой  $V\tau$  соотвѣтствуетъ продолжительности испусканія  $\tau$ ; энергія пульсаціи на единицу поверхности пропорціональна  $h^2\tau$ . Электронъ, по которому проходитъ пульсація, подвергается силѣ, пропорціональной  $h$ , и получаетъ скорость, пропорціональную  $h\tau$ ; значитъ, онъ заимствуетъ отъ пульсаціи кинетическую энергію, пропорціональную  $h^2\tau^2$ . Такимъ образомъ, отношеніе энергіи, потерянной пульсаціею, къ первоначальной энергіи пропорціонально  $\tau$ , т.-е. толщинѣ пульсаціи.

Когда ускореніе длится, потеря энергіи заряженной частицы непрерывна. Электронъ въ періодическомъ движеніи по замкнутой орбитѣ излучаетъ такимъ образомъ энергію постояннаго вида; такое излученіе свойственно свѣту, періодъ котораго равенъ періоду вращенія. Если электронъ составляетъ часть атома, излученная такимъ образомъ энергія должна быть заимствована отъ внутренней энергіи атома.

На весьма вѣроятное существованіе періодическихъ движеній электроновъ въ атомахъ указываютъ признаки свѣтового испусканія. Хотя энергія атома, вѣроятно, весьма велика, можно, однако, допустить, что потеря энергіи, вслѣдствіе движеній составныхъ электроновъ атома, можетъ оказаться причиною неустойчивости атомическаго зданія. Мы увидимъ, что эта идея можетъ входить въ теорію радиоактивныхъ преобразованій.

Теорія электромагнитнаго излученія, опредѣляемая ускореніями электроновъ и имѣющая въ пространствѣ непрерывное распредѣ-

леніе, имѣетъ весьма стройный видъ. Тѣмъ не менѣе, эта теорія сталкивается съ серьезными затрудненіями, когда идетъ дѣло о вычисленіи величины энергіи испусканія вторичныхъ катодныхъ лучей, или вторичныхъ лучей  $\beta$  отъ лучей  $\gamma$  (§ 139). Аналогичныя трудности встрѣчаются въ истолкованіи фото-электрическаго явленія (образованіе катодныхъ лучей металлами, получающими ультра-фіолетовый свѣтъ), подобно какъ въ теоріи теплового лучеспусканія. Для устраненія этихъ трудностей нѣкоторые физики прибѣгли къ гипотезѣ разрывнаго строенія лучеспусканія<sup>(1)</sup>, по которой это послѣднее составляется изъ элементовъ энергіи, съ величиною для періодическаго лучеспусканія, по Планку, пропорціо-нальною частотѣ. Съ этой точки зрѣнія излученная энергія не без-конечно дѣлима, и выбрасываніе вторичной катодной частицы со-отвѣтствуетъ израсходованію одного или нѣсколькихъ излученныхъ элементовъ энергіи. Эта теорія получила довольно точный видъ для періодическихъ излученій. Однако она еще не приспособлена для объясненія всѣхъ свѣтовыхъ явленій (интерференцій, диффрак-ціи, и проч.).

---

(1) Planck, *Ann. d. Phys.*, 1901 г. — Einstein, *Ann. d. Phys.*, 1905 г. — J.-J. Thomson, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 1907 г.

## ГЛАВА ВТОРАЯ

### Приемы изучения и измерения радиоактивности.

§ 23. Методы наблюдения.—Лучи, испускаемые радиоактивными веществами, обладают способностью действовать на фотографические пластинки, возбуждать флуоресценцию различных тел и делать газы проводниками электричества. Все эти свойства лучей были использованы для изучения радиоактивности, и происходящие отсюда методы исследования могут быть названы для сокращения методами: радиографическим, флуороскопическим и электрическим.

Радиографическим методом пользовался Г. Беккерель (Н. Becquerel) в своих исследованиях над соединениями урана, приведших его к открытию явления радиоактивности; таким образом, этот метод представляет большой интерес с исторической точки зрения. Он состоит в том, что подвергают фотографическую пластинку действию лучей, испускаемых радиоактивным телом при полном устранении действия света. Таким образом можно констатировать радиоактивные свойства разных веществ; время, необходимое для получения оттиска, разнообразится в широких пределах: несколько секунд достаточно при употреблении радия и не один день может понадобиться для слабо действующей руды. Следует избегать некоторых поводов к ошибкам, особенно при действии с веществами, требующими значительного времени для экспозиции. В самом деле, известно, что фотографическая пластинка может быть восприимчивою к разным веществам, не обладающим, однако, заметною радиоактивностью. Таковы, напр., воск и разные эссенции; некоторые металлы, такие, как цинк, также подъ

концы производятъ оттиски. Въ этихъ опытахъ оттискъ является результатомъ химическаго дѣйствія на фотографическую пластинку выдѣляющихся паровъ или газовъ съ восстанавливающими свойствами (1). Органическія тѣла могутъ прямо испускать такіе пары, и ихъ дѣйствіе иногда очень энергично; металлы, окисляясь на счетъ водяного пара, могутъ служить причиною выдѣленія водорода; ихъ дѣйствіе весьма медленно.

При стараніи избавиться отъ этихъ причинъ, ведущихъ къ ошибкамъ, а также устранить обыкновенный свѣтъ, радіографическій методъ можетъ оказать услуги, давая возможность осуществить накопленіе слабыхъ воздѣйствій при достаточномъ времени на экспозицію. Этотъ методъ особенно пригоденъ для испытанія радиоактивности минераловъ. Можно, напр., положить кусокъ вещества, подлежащаго испытанію, на фотографическую пластинку, обернутую въ черную бумагу, при чемъ чувствительный слой является отдѣленнымъ отъ вещества только одною толщиной этой бумаги. По истеченіи времени, назначеннаго на экспозицію, которое, вообще, составляетъ отъ одного до нѣсколькихъ дней, приступаютъ къ обнаженію пластинки обычными средствами. Такимъ образомъ получаютъ, если вещество активно, черное пятно на мѣстѣ, приходившемся во время экспозиціи противъ активного вещества, при чемъ контуръ пятна напоминаетъ форму этого вещества. Не однородная руда даетъ изображеніе, черныя части котораго соотвѣтствуютъ активнымъ частямъ руды. Таблица I представляетъ изображеніе, полученное съ кускомъ смоляной урановой руды изъ Корнваллисса; активная руда образуетъ жилы среди неактивной матеріи, состоящей изъ сѣрнистыхъ металловъ.

Радіографическій методъ также весьма полезенъ для полученія при надлежащихъ расположеніяхъ опыта изображенія пути лучевыхъ пучковъ въ разныхъ условіяхъ. Онъ былъ использованъ для изученія отраженія, преломленія и поляризаціи лучей, для изученія ихъ распространенія въ магнитномъ или электрическомъ полѣ, для измѣренія отношенія  $\frac{e}{m}$  и скорости лучей  $\alpha$  и  $\beta$ , природа которыхъ корпускулярна.

Однако этотъ методъ имѣетъ большое неудобство: онъ не можетъ дать никакого достаточно точнаго численнаго указанія отно-

---

(1) Russell, *Proc. Roy. Soc.*, 1896 г.



Оттискъ, полученный съ пластинкою изъ руды (смоляная урановая руда изъ Корнваллиса).



нительно интенсивности радиоактивныхъ явленій, и потому его въ большинствѣ случаевъ замѣняютъ электрическимъ методомъ.

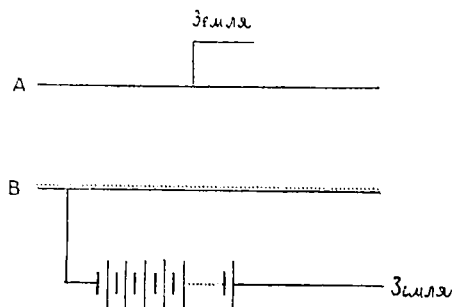
Флуороскопическій методъ основанъ на свойствѣ радиоактивныхъ тѣлъ вызывать своими лучами флуоресценцію разныхъ веществъ, такихъ, какъ сѣрнистый цинкъ или баритовая платиново-синеродистая соль. Явленіе легко наблюдать только съ сильно радиоактивными веществами; правда, при хорошихъ условіяхъ, можно его констатировать съ такимъ веществомъ, какъ уранъ; однако, чувствительность метода, вообще, весьма ограничена. Такъ какъ, къ тому же, трудно получить этимъ путемъ численные результаты, то приложенія означеннаго метода остаются ограниченными главнымъ образомъ качественными опытами, видъ которыхъ часто весьма блестящъ и пользованіе которыми очень удобно на лекціяхъ и въ публичныхъ сообщеніяхъ.

Должно, однако, отмѣтить важное приложеніе фосфоресцирующихъ экрановъ. Опытъ показываетъ, что только частица  $\alpha$  можетъ производить на экранѣ свѣтовой эффектъ. Это свойство было использовано для исчисленія частицъ  $\alpha$ , выброшенныхъ радиоактивными тѣлами.

Электрический методъ наипаче употребляется въ изслѣдованіяхъ надъ радиоактивностью и принесъ здѣсь неоцѣнимыя услуги. Онъ даетъ численные результаты, которые можно сравнивать между собою. Этотъ методъ основанъ на измѣреніи проводимости, сообщаемой газамъ, главнымъ образомъ воздуху, радиоактивными веществами, какъ показалъ это Г. Беккерель. Съ перваго шага нашихъ изслѣдованій надъ радиоактивностью мы, П. Кюри и я, употребляли точный методъ электрометрическихъ измѣреній для изученія новаго свойства. Такимъ образомъ мы могли опредѣлять съ точностью сравнительную радиоактивность химическихъ элементовъ, ихъ соединений и природныхъ минераловъ; эти работы привели къ открытію новыхъ радиоактивныхъ веществъ, въ особенности радія. Отдѣленіе чистыхъ солей радія было возможно только благодаря тому же методу, который постоянно служилъ для констатированія успѣховъ концентраціи, начиная съ состоянія крайняго разжиженія въ минералахъ, гдѣ радій ускользаетъ цѣлкомъ отъ контроля химическаго и даже спектральнаго анализа.

Электрический методъ состоитъ, вообще, въ измѣреніи тока слабой интенсивности, проходящаго черезъ газъ, ставшій подѣйствіемъ лучей проводникомъ.

Предположимъ, напр., что радиоактивное вещество покрываетъ въ видѣ порошка одинъ изъ дисковъ конденсатора (*черт.* 18). Этотъ дискъ *B* доводимъ до высокаго потенциала и для этой цѣли соединяемъ его съ однимъ изъ полюсовъ баттарей, состоящей изъ большого числа элементовъ; другой полюсъ баттарей связанъ съ



*Черт.* 18

землю. Противоположный дискъ *A* поддерживается на потенциалѣ земли. При этихъ условіяхъ электрическій токъ протекаетъ по цѣпи, образуемой конденсаторомъ, баттареей и землею, и этотъ токъ можно измѣрить. Если токъ постояненъ, говорятъ, что вещество обладаетъ постоянною радиоактивностью. При достаточной разности потенциаловъ между дисками токъ достигаетъ максимальнаго значенія; это—токъ насыщенія.

Можно допустить, что порядокъ величины интенсивности токовъ, которые могутъ подлежать измѣренію въ явленіяхъ радиоактивности, содержится между  $10^{-12}$  и  $10^{-5}$  амперъ. Для нѣкоторыхъ очень тонкихъ изслѣдованій можетъ оказаться необходимымъ измѣрять токи порядка  $10^{-15}$  амперъ. При средствѣ  $1^{\text{мк}}$  радія можно осуществить черезъ воздухъ токъ около  $10^{-8}$  амперъ. Изъ этого мы видимъ, что токи, подлежащіе измѣренію, всегда слабы, но что ихъ интенсивность можетъ колебаться въ широкихъ предѣлахъ. Легко измѣрить гальванометромъ токи интенсивности выше  $10^{-6}$  амперъ; однако, чаще всего измѣряютъ токи гораздо слабѣйшіе и съ выгодою прибѣгаютъ къ употребленію методовъ электрометрическихъ измѣреній.

Значеніе тока насыщенія, полученнаго въ опредѣленныхъ условіяхъ, даетъ самую надлежащую и наилучше установленную мѣру радиоактивности вещества. Можно использовать расположеніе, ана-

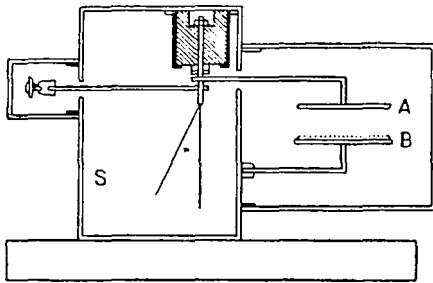
логичное расположению чертежа 18. Чемъ больше расстояние между дисками и чемъ активнѣе вещество, тѣмъ труднѣе получить токъ насыщения. Когда конденсаторъ наполненъ газомъ подъ атмосфернымъ давленіемъ и ионизація не слишкомъ сильна, приближенное насыщение можно получить съ расстояніями въ нѣсколько сантиметровъ между дисками, безъ образованія колебательнаго разряда или ионизаціи отъ столкновения іоновъ.

Электрометрической приборъ для измѣренія интенсивности тока можетъ быть типа электроскопа или типа квадрантнаго электрометра. Въ первомъ случаѣ пзбѣгаютъ, вообще, употребленія зарядной батареи, тогда какъ во второмъ случаѣ она неизбѣжна.

**§ 24. Электроскопы.**—Электроскопы съ золотымъ или алюминиевымъ листкомъ, употребляемые въ изслѣдованіяхъ надъ радиоактивностью, разнообразно приспособлены для этой цѣли. Наиболѣе часто аппаратъ составляется изъ двухъ отдѣленій: клѣтки въ собственномъ смыслѣ и ионизаціонной камеры.

Помѣщаемые ниже чертежи представляютъ различныя употребляемые расположенія.

На *черт.* 19 мы видимъ модель электроскопа, устроеннаго П. Кюри для измѣреній радиоактивности. Электроскопъ состоитъ изъ непо-



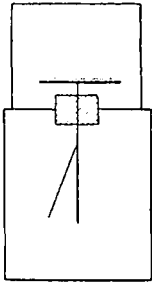
*Черт.* 19

движной вертикальной металлической пластинки, къ которой прикрѣпленъ легкій подвижной листокъ. Пластинка поддерживается стержнемъ, который проходитъ черезъ изолирующую пробку, укрѣпленную въ верхней стѣнкѣ металлической клѣтки *S*, соединенной съ землею. Стержень оканчивается внѣ клѣтки шарикомъ, служащимъ для заряженія электроскопа и защищеннымъ металлическою крышкою. Другой стержень, прикрѣпленный подъ прямымъ угломъ къ

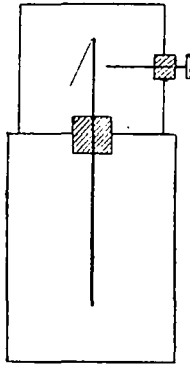
стержню электроскопа, проходитъ черезъ отверстіе въ боковой стѣнкѣ клѣтки и проникаетъ въ іонизаціонную камеру. Эту послѣднюю образуетъ металлическій цилиндръ, насаженный на боковой выступѣ клѣтки. Іонизаціонная камера содержитъ два диска *A* и *B*. Дискъ *A* соединенъ со стержнемъ электроскопа; дискъ *B*, соединенный съ клѣткою, служитъ подставкою радиоактивному веществу. Когда электроскопъ заряженъ, возбуждается поле между дисками *A* и *B*; если воздухъ между дисками дѣлается проводникомъ отъ присутствія радиоактивнаго вещества, электроскопъ постепенно разряжается, и подвижной листокъ приближается къ неподвижной пластинкѣ. Движеніе листка наблюдается при помощи микроскопа съ небольшимъ увеличеніемъ, снабженнаго глазнымъ микрометромъ, и скорость движенія позволяетъ измѣрить интенсивность разряднаго тока въ относительныхъ единицахъ. Электроскопъ обычной чувствительности обыкновенно заряжается до потенциала въ нѣсколько сотенъ вольтъ, и разность потенциаловъ этой величины, вообще, достаточна для полученія тока насыщенія. Однако, интенсивность тока не пропорціональна скорости движенія листка, даже когда потенциалъ остается достаточнымъ для обезпеченія насыщенія, и это потому, что электроемкость и чувствительность электроскопа зависятъ отъ положенія листка. Пусть  $q$  будетъ зарядъ электроскопа и  $V$  — его потенциалъ; его зарядъ будетъ  $q = CV$ , если  $C$  есть электроемкость, относящаяся къ настоящему моменту въ положеніи листка. Если измѣрить время  $t$ , необходимое для передвиженія листка отъ одного даннаго дѣленія до другого даннаго дѣленія, то потеря-заряда электроскопа во время  $t$  будетъ одна и та же во всякомъ опытѣ; слѣдовательно, среднее значеніе разряднаго тока въ каждомъ случаѣ обратно пропорціонально  $t$ , такъ что опыты сравнимы.

Въ модели *чертежа* 20 іонизаціонная камера установлена непосредственно наверху клѣтки электроскопа и содержитъ только одинъ дискъ, соединенный съ электроскопомъ и служащій подставкою активному веществу; разрядъ происходитъ между этимъ дискомъ и стѣнкою камеры. Въ модели *чертежа* 21 клѣтка электроскопа возвышается наверху іонизаціонной камеры, которая содержитъ въ качествѣ изолированнаго электрода стержень, соединенный съ неподвижною пластинкою электроскопа. Эту модель можно употреблять для измѣренія радиоактивности газа, вводимаго въ іонизаціонную камеру.

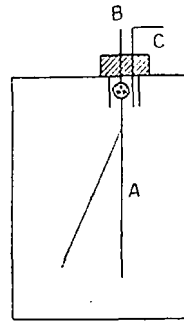
Электроскопъ тѣмъ чувствительнѣе къ потерѣ заряда, чѣмъ слабѣе его емкость. Можно уменьшить емкость электроскопа, упраздняя ионизаціонную камеру и электродъ, вышній по отношенію къ клѣткѣ. Расположеніе этого рода показано на *черт. 22*. Пластика *A* съ золотымъ листкомъ удерживается изолирующею частью прибора, прикрѣпленною къ стержню *B*, который проходитъ въ клѣтку сквозь изолирующую пробку. Электроскопъ заряжаютъ при помощи другого изолированного стержня, который также



Черт. 20



Черт. 21



Черт. 22

пропущенъ въ клѣтку и можетъ совершать вращеніе, приводящее его въ соприкосновеніе съ неподвижною пластинкою электроскопа. Клѣтка служитъ одновременно и ионизаціонною камерою. Радиоактивное вещество находится, вообще, внѣ клѣтки и дѣйствуетъ на воздухъ, содержащійся въ этой послѣдней, посредствомъ лучей, проходящихъ черезъ металлъ. Стѣнку клѣтки, принимающей лучи, часто въ этомъ случаѣ образуетъ тонкій листъ алюминія, наиболѣе изъ металловъ прозрачнаго для лучей. Электроскопомъ этого вида пользовался С.-Т.-В. Wilson въ своихъ изслѣдованіяхъ надъ самопроизвольною іонизаціею воздуха. Можно уменьшить дѣйствіе изоляціонной ошибки, поддерживая стержень *B* на потенциалѣ золотого листка.

Вотъ примѣръ, дающій представленіе о функционированіи аппарата этого рода (<sup>1</sup>). Емкость электроскопа равнялась приблизительно одной э.-ст. единицѣ при длинѣ стержня и листка около 4<sup>см</sup>; объемъ

(<sup>1</sup>) Rutherford, *Radioactivity*.

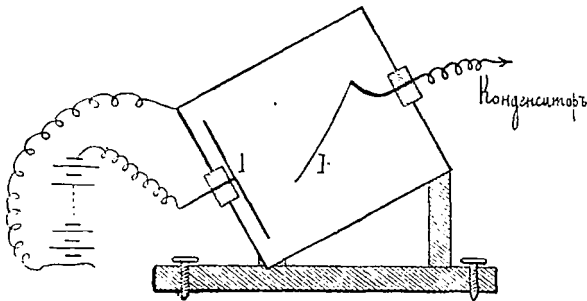
клетки былъ равенъ  $1^{тр}$ . Потеря заряда отъ самопроизвольной ионизации воздуха соответствовала падению потенциала 6 вольтъ въ часъ. Такимъ образомъ, среднее значеніе тока было

$$i = \frac{CV}{t} = \frac{1 \times 6}{3600 \times 300} \text{ э.-ст. едн.} = 1,9 \cdot 10^{-15} \text{ амперъ.}$$

Съ другой стороны, токъ равенъ  $Nve$ , гдѣ  $N$ —число іоновъ каждаго рода, образуемыхъ кубическимъ сантиметромъ газа,  $v$ —объемъ клетки и  $e$ —зарядъ іона. Принимая значеніе  $e$  равнымъ приблизительно  $4 \cdot 10^{-10}$  э.-ст. едн., находимъ, что въ приведенномъ примѣрѣ  $N$  имѣло значеніе, близкое къ 15, т.-е. что въ секунду образовывалось 15 іоновъ въ каждомъ кубическомъ сантиметрѣ разсматриваемаго объема.

Очень тонкими приборами возможно обнаружить образованіе даже нѣсколькихъ іоновъ кубическимъ сантиметромъ въ секунду.

Электроскопъ, основанный на мало отличающемся принципѣ, былъ построенъ С.-Т.-Р. Wilson'омъ<sup>(1)</sup>. Онъ представленъ на черт. 23. Этотъ



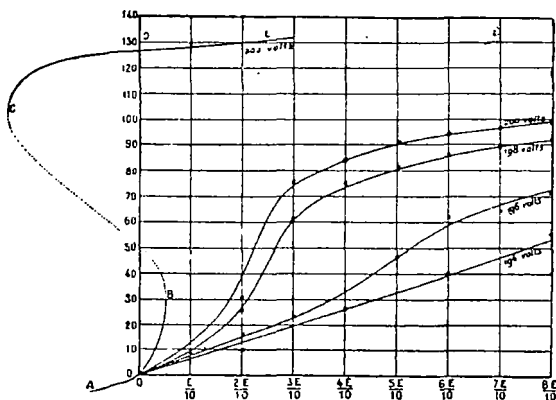
Черт. 23

электроскопъ состоитъ изъ клетки, содержащей металлическую пластинку  $P$ , расположенную очень близко къ одной изъ стѣнокъ, но изолированную отъ клетки. Эту пластинку можно зарядить до высокаго потенциала при помощи батареи изъ большого числа элементовъ. Въ противоположной стѣнкѣ укрѣплена изолирующая пробка, сквозь которую проходитъ изогнутый стержень, несущій подвижной листокъ. Клетка помѣщена въ наклонномъ положеніи, какъ указываетъ чертежъ. Подъ дѣйствіемъ тяжести и притяже-

(1) С.-Т.-Р. Wilson, *Proc. Camb. Phil. Soc.*, 1903 г.

нія, оказываемаго пластинкою, листокъ принимаетъ положеніе, отклоненное отъ вертикали. Если тогда начать заряжать листокъ, онъ станетъ отклоняться отъ своего положенія равновѣсія, и приборъ можно такъ регулировать, что листокъ будетъ чувствителенъ къ весьма слабому заряду. Этимъ электроскопомъ пользуются для измѣренія весьма слабаго электрическаго тока, заряжающаго листокъ весьма медленно. Такой токъ получается, напр., въ томъ случаѣ, если листокъ соединенъ съ изолированнымъ электродомъ, погруженнымъ въ газъ, содержащійся въ металлической камерѣ, доведенной до высокаго потенциала, при чемъ этотъ газъ подвергнутъ дѣйствию слабаго ионизирующаго источника. Чувствительность прибора зависитъ отъ потенциала заряда пластинки  $P$  и отъ наклона клѣтки.

Кривыя *чертежа* 24 представляютъ перемѣненіе листка въ функціи отъ его потенциала  $v$ , для различныхъ потенциаловъ  $V$



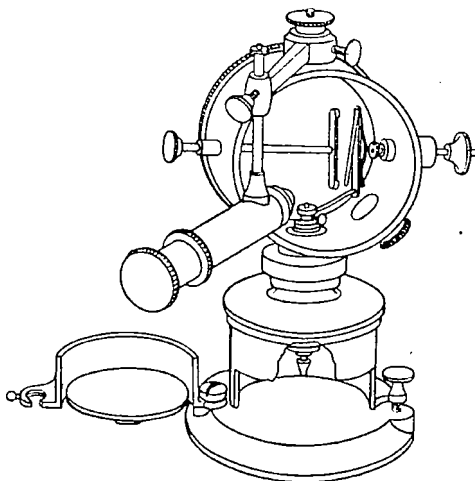
Черт. 24

пластинки  $P$ ; для каждаго значенія  $V$  былъ взятъ такой наклонъ, что чувствительность прибора достигала максимума для  $v$ , близкаго къ нулю<sup>(1)</sup>; потенциалъ  $v$ , такого же знака, какъ  $V$ , измѣренъ въ дробяхъ электродвижущей силы  $E$  элемента батареев. Мы видимъ, что для нѣкотораго значенія  $V$  (202 вольта) кривая представляетъ точку перегиба въ вертикальной касательной; въ этой точкѣ чувствительность является бесконечно-огромною. Для значеній  $v$  ниже этого критическаго значенія листокъ можетъ имѣть два по-

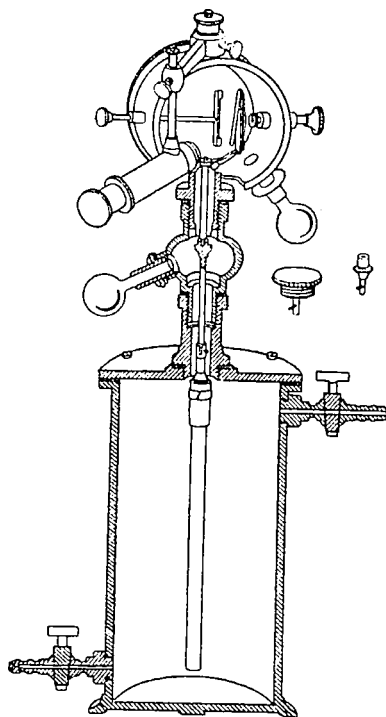
<sup>(1)</sup> Bruhat, *Le Radium*, 1909 г.

положенія устойчиваго равновѣсія. Для измѣренія очень слабыхъ токовъ необходимо какъ можно болѣе приблизиться къ положенію неустойчиваго равновѣсія.

Чертежи 25 и 26 представляютъ электроскопъ типа *чертежа 21*, приспособленнаго для измѣренія активности твердыхъ или газообразныхъ тѣлъ, при чемъ ионизаціонная камера, приложенная снизу, разнаго вида въ обоихъ случаяхъ. Изолирующая часть — изъ янтаря,



Черт. 25



Черт. 26

и отсчетъ производится при помощи микроскопа, снабженнаго микрометрическимъ окуляромъ <sup>(1)</sup>.

**§ 25. Электрометры. Методъ скорости отклоненія.**—Квадрантный электрометръ представляетъ, въ большинствѣ случаевъ, приборъ, наиболѣе приспособленный къ измѣреніямъ радиоактивности въ лабораторіи. Къ потенциалу онъ чувствительнѣе электроскопа, но за то, имѣя болѣе высокую емкость, онъ, вообще, не такъ чув-

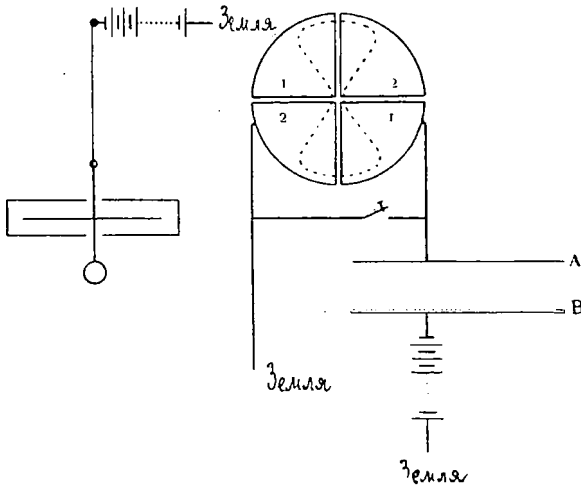
(1) Chénaveau и Laborde, *Journal de Physique*, 1909 г.



ствителенъ къ заряду, какъ деликатный электроскопъ. Принципъ этого прибора принадлежитъ Лорду Кельвину; первоначальный инструментъ подвергся многочисленнымъ усовершенствованіямъ, сдѣлавшимъ его употребленіе весьма практичнымъ (1).

Вотъ какъ можно пользоваться квадрантнымъ электрометромъ для измѣренія тока слабой интенсивности, такого, какой можетъ быть полученъ подъ дѣйствіемъ радиоактивнаго вещества.

Пусть *A* и *B* (черт. 27) будутъ два диска конденсатора, взятаго для измѣренія. Дискъ *B* содержитъ радиоактивное вещество



Черт. 27

и доведенъ до высокаго потенціала. Дискъ *A* соединенъ съ парюю квадрантовъ 1, которую, по желанію, можно также соединить съ землею или изолировать. Пара квадрантовъ 2 все время соединена съ землею. Стрѣлка, подвѣшенная на нити, обладающей нѣкоторою парюю крученія, доведена до высокаго потенціала; предположимъ, что этотъ потенціалъ остается постояннымъ и равнымъ *V*. Когда оба квадранта соединены съ землею, заряженная стрѣлка

(1) P. Curie, *Oeuvres*, Paris, 1908 г.—Dolezalck, *Instrumentenkunde*, 1901 г.

Употребляемая нынѣ модели—электрометръ Кюри и электрометръ Дозезалека. Приготовленіе электрометровъ Кюри имѣеть уже исторію. Модель электрометра Кюри, изготовленная Bourbouze'омъ, была выставлена въ Парижѣ на Электрической Выставкѣ въ 1885 г., а описаніе прибора было сдѣлано Ledebour'омъ въ *Lumière électrique*, 1886 г.

находится въ равновѣсїи, располагаясь симметрично относительно секторовъ. Когда изолируемъ секторъ 1, онъ начинаетъ заряжаться отъ дѣйствїя тока, проходящаго черезъ конденсаторъ  $AB$ , и стрѣлка начинаетъ отклоняться отъ своего положенїя равновѣсїя. Обозначимъ черезъ  $v$  потенциалъ, принимаемый въ данный моментъ изолированнымъ квадрантомъ. Чтобы на чемъ-нибудь остановиться, предполагаемъ  $V > 0$  и  $v > 0$ ; тогда стрѣлка отклоняется въ направленїи движенїя часовыхъ стрѣлокъ. По элементарной теорїи квадрантнаго электрометра движущая электрическая пара равна  $AVv$ , гдѣ  $A$ —постоянная прибора; эта постоянная представляетъ измѣненїе емкости стрѣлки по отношенїю къ одному изъ секторовъ, при единичѣ угла отклоненїя. Если задержать притокъ электричества къ изолированному квадранту, стрѣлка принимаетъ такое положенїе равновѣсїя, что пара, происходящая отъ крученїя нити и пропорціональная углу поворота  $\alpha$ , компенсируетъ электрическую пару. Тогда, обозначая черезъ  $B$  пару крученїя при единичѣ угла поворота, имѣемъ:

$$AVv = B\alpha.$$

Чувствительность электрометра къ потенциалу измѣняется отношенїемъ  $\frac{\alpha}{v}$ , которую мы обозначимъ черезъ  $K$ . Такимъ образомъ имѣемъ:

$$K = \frac{\alpha}{v} = \frac{AV}{B}.$$

Чувствительность увеличивается вмѣстѣ съ длиною стрѣлки, но не зависитъ отъ ея ширины; она тѣмъ больше, чѣмъ меньше разстоянїе между стрѣлкою и секторами, и по предыдущей формулѣ пропорціональна потенциалу стрѣлки. Однако эта формула не безусловно правильна; она получена посредствомъ элементарнаго вычисленїя, въ которомъ принята въ расчетъ емкость иглы по отношенїю къ квадрантамъ, но не обращено вниманїя на измѣненїе обратной емкости этихъ послѣднихъ во время перемѣщенїя иглы. Теорїю квадрантнаго электрометра дополнили Норкинсон и Гоу (<sup>1</sup>). Какъ предсказываетъ вычисленїе, чувствительность къ потенциалу можетъ пройти черезъ максимумъ для нѣкотораго значе-

(<sup>1</sup>) Норкинсон, *Phil. Mag.*, 1885 г.—Гоу, *Journal de Phys.*, 1888 г.

нія  $V$ , вообще, довольно высокаго (<sup>1</sup>). Я ограничусь здѣсь приложеніемъ элементарной теоріи, такъ какъ видъ окончательныхъ выводовъ не страдаетъ отъ такого упрощенія.

Разные методы могутъ служить для измѣренія заряднаго тока, притекающаго къ изолированному квадранту. Простѣйшій изъ нихъ состоитъ въ наблюденіи скорости движенія стрѣлки посредствомъ обыкновеннаго оптическаго устройства, а именно, когда къ стержню несущему стрѣлку, прикрѣпляется вогнутое зеркало, предназначенное давать на горизонтальной шкалѣ, помѣщенной на нѣкоторомъ разстояніи отъ электрометра, изображеніе подходящаго свѣтящагося источника. При отклоненіи стрѣлки на шкалѣ наблюдаютъ перемѣщеніе изображенія. Это перемѣщеніе тѣмъ быстрѣе, чѣмъ интенсивнѣе токъ. Методъ наблюденія называется *методомъ скорости отклоненія*.

Потенціалъ изолированнаго квадранта остается всегда очень слабымъ въ предѣлахъ наблюденія; если, поэтому, при такомъ расположеніи, какъ на *черт. 27*, потенциаль диска  $B$  достаточно высокъ для достиженія тока насыщенія, то можно допустить, что этотъ токъ  $i$  не измѣняется, когда потенциаль диска  $A$  и изолированнаго квадранта переходитъ отъ первоначальнаго нулевого значенія къ значенію  $v$ . Значитъ, мы можемъ считать  $i$  постояннымъ, если взятое вещество само есть постоянный источникъ радиоактивности, что мы и будемъ предполагать при вычисленіи.

Пусть  $q_0$  будетъ зарядъ системы, составляемой квадрантомъ 1 и дискомъ  $A$ , когда эта система соединена съ землею, и пусть  $q$  будетъ зарядъ той же системы, когда по изолированіи она приметъ потенциаль  $V$ . Имѣемъ:

$$q - q_0 = it,$$

гдѣ  $t$ —время, въ теченіи котораго получился зарядный токъ. Съ другой стороны, зарядъ  $q_0$  составляется изъ заряда, соответствующаго емкости квадранта по отношенію къ стрѣлкѣ, и изъ заряда, соответствующаго емкости диска  $A$  по отношенію къ диску  $B$ , доведенному до потенциала  $V'$ , который мы предположили положительнымъ. Такимъ образомъ будемъ имѣть:

$$q_0 = -c_1 V - c_2 V',$$

---

(<sup>1</sup>) Весьма полное ученіе, теоретическое и практическое, о функціонированіи квадрантныхъ электрометровъ было опубликовано Moulin'омъ (*Le Radium*, 1907 г.).

гдѣ  $c_1$ —емкость квадранта по отношенію къ стрѣлкѣ, когда эта послѣдняя находится въ своемъ положеніи равновѣсія, и  $c_2$  — емкость диска  $A$  по отношенію къ диску  $B$ . Пусть такъ же  $c_3$  будетъ емкость квадранта и нити, связывающей его съ дискомъ  $A$ , по отношенію къ проводникамъ, связаннымъ съ землею и образующимъ защитную коробку, и  $c_1'$ —емкость квадранта по отношенію къ стрѣлкѣ, когда эта послѣдняя отклонена на уголъ  $\alpha$  отъ своего положенія равновѣсія. Если тогда потенциалъ изолированной системы есть  $v$ , то будемъ имѣть:

$$q = -c_1'(V - v) - c_2(V' - v) + c_3v,$$

и, слѣдовательно,

$$q - q_0 = -(c_1' - c_1)V + c_1'v + (c_2 + c_3)v;$$

кромѣ того, мы обозначили черезъ  $A$  такую постоянную, что

$$c_1' - c_1 = -A\alpha;$$

значитъ,

$$q - q_0 = A\alpha(V - v) + (c_2 + c_3 + c_1')v.$$

Пренебрегая членомъ  $A\alpha v$  по отношенію къ остальнымъ и полагая

$$c_1 + c_2 + c_3 = c,$$

получаемъ:

$$q - q_0 = A\alpha V + cv = it;$$

отсюда

$$v = \frac{it}{c} - \frac{AV}{c} \alpha,$$

и такъ какъ  $\frac{\alpha}{v} = K$ , то также имѣемъ:

$$v = \frac{it}{c + KAV},$$

$$\frac{\alpha}{it} = \frac{K}{c + KAV}.$$

Отношеніе  $\frac{\alpha}{it}$  измѣряетъ чувствительность электрометра къ заряду. Мы видимъ, что къ емкости  $c$  изолированной системы прибавляется дополнительная емкость, которая растетъ вмѣстѣ съ потенциаломъ стрѣлки; эта емкость соответствуетъ измѣненію, ко-

тому подвергается потенциалъ изолированнаго квадранта во время перемѣщенія стрѣлки, несущей электрической зарядъ. Легко видѣть, что чувствительность къ заряду проходитъ черезъ максимумъ при такомъ потенциалѣ стрѣлки, при которомъ имѣется равенство между постоянною емкостью  $c$  и емкостью прибавочною.

Предположимъ, что движеніе стрѣлки равномерно, т.-е. что отклоненіе возрастаетъ пропорціонально времени; можно писать, что движущая пара равна сопротивляющейся парѣ. Пусть  $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$  будетъ угловая скорость отклоненія. Помимо движущей пары  $AVv$  и противоположной ей пары крученія  $B\alpha$  мы имѣемъ еще сопротивляющуюся пару замедленія, происходящую отъ треній и равную  $\epsilon\omega$ , гдѣ  $\epsilon$  есть коэффициентъ замедленія. Такимъ образомъ, при постоянномъ  $\omega$  будемъ имѣть:

$$AVv = B\alpha + \epsilon\omega,$$

откуда

$$AV \frac{dv}{dt} = B\omega = \frac{AVi}{c} - \frac{A^2V^2}{c} \omega$$

и

$$\omega = \frac{AVi}{Bc + A^2V^2}.$$

Слѣдовательно, если скорость отклоненія постоянна, она пропорціональна интенсивности тока и можетъ служить для измѣренія.

Кромѣ того, мы видѣли, что чувствительность  $K$  электрометра къ потенциалу равна  $\frac{AV}{B}$ . Значитъ, исключая  $B$  изъ соотношенія между  $\omega$  и  $i$ , имѣемъ:

$$i = \left( \frac{c}{K} + AV \right) \omega.$$

Если изъ наблюдаемой скорости отклоненія желательно вывести интенсивность тока въ абсолютномъ значеніи, то нужно исключить также и количество  $A$ , которое нельзя знать точно. Для этого можно присоединить къ изолированной системѣ извѣстную прибавочную емкость  $C$ . Если зарядный токъ остается одинъ и тотъ же,

скорость отклоненія окажется уменьшенною; называя ее через  $\omega'$ , будемъ имѣть:

$$i = \left( \frac{c + C}{K} + AV \right) \omega',$$

и, значить,

$$i \left( \frac{1}{\omega'} - \frac{1}{\omega} \right) = \frac{C}{K}.$$

Абсолютное опредѣленіе значенія  $i$  потребуетъ, такимъ образомъ, измѣренія  $\omega$  и  $\omega'$ , а также измѣренія емкости и чувствительности электрометра къ потенциалу. Разъ такое опредѣленіе выполнено, приборъ является эталонированнымъ. Однако эталонированіе можетъ служить только для одного и того же прибора, производящаго токъ, и кромѣ того необходимо, чтобы чувствительность электрометра оставалась постоянною. Если  $\omega$  измѣрено въ секундахъ,  $K$ —въ вольтахъ и  $C$ —въ фарадахъ,  $i$  будетъ дано въ амперахъ.

Для регулированія чувствительности прибора можно варьировать емкость; уменьшаютъ чувствительность, вводя прибавочныя емкости.

Посмотримъ теперь, можно ли постоянную скорость отклоненія, которую мы должны осуществить для измѣренія тока, получить на самомъ дѣлѣ и при какихъ условіяхъ. Чтобы отдать себѣ въ этомъ отчетъ, полезно изслѣдовать законъ движенія электрометра. Пишемъ уравненіе движенія стрѣлки, обозначая черезъ  $J$  моментъ инерціи вокругъ оси вращенія и принимая одно и то же положительное направленіе для угла отклоненія, для угловой скорости и для углового ускоренія. Уравненіе будетъ слѣдующее:

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} = -B\alpha - \varepsilon \frac{d\alpha}{dt} + AVv;$$

замѣняя же  $v$  его значеніемъ въ функціи отъ  $i$ , находимъ:

$$J \frac{d^2\alpha}{dt^2} + \varepsilon \frac{d\alpha}{dt} + \left( B + \frac{A^2 V^2}{c} \right) \alpha = \frac{AVi}{c}.$$

Это уравненіе показываетъ, что къ парѣ крученія прибавляется электрическая направляющая пара, пропорціональная углу поворота; эта пара происходитъ отъ измѣненія потенциала изолированнаго квадранта, вслѣдствіе перемѣщенія стрѣлки, и стремится при-

вести эту послѣднюю къ ея положенію равновѣсія. Когда потенциалъ стрѣлки есть тотъ, при которомъ чувствительность къ заряду достигаетъ максимума, электрическая направляющая пара равна парѣ крученія.

Полагая

$$\frac{\varepsilon}{J} = 2a, \quad \frac{1}{J} \left( B + \frac{A^2 V^2}{c} \right) = b^2,$$

получаемъ:

$$\frac{d^2 \alpha}{dt^2} + 2a \frac{d\alpha}{dt} + b^2 \alpha = \frac{AVi}{Jc} t,$$

и уравненіе оказывается приведеннымъ къ классическому виду.

Уравненіе безъ второй части есть весьма извѣстное дифференціальное уравненіе съ постоянными коэффициентами безъ свободнаго члена, характеризующее замедленное движеніе, съ парюю, пропорціальною углу поворота и стремящуюся привести систему къ ея положенію равновѣсія. Таково, напр., движеніе вращенія тѣла, подвѣшеннаго на нити, обладающей нѣкоторою парюю крученія, и испытывающаго со стороны окружающей среды сопротивление, пропорціальное скорости. Видъ рѣшенія зависитъ существенно отъ значенія постоянныхъ  $a$  и  $b$ . Обозначаемъ черезъ  $\alpha_1$  это рѣшеніе.

При  $a^2 > b^2$

$$\alpha_1 = e^{-at} \left( Me^{\sqrt{a^2 - b^2}t} + Ne^{-\sqrt{a^2 - b^2}t} \right);$$

При  $a^2 < b^2$

$$\alpha_1 = Me^{-at} \left( \sin \sqrt{b^2 - a^2}t - N \right);$$

При  $a^2 = b^2$

$$\alpha_1 = e^{-at} (Mt + N).$$

Во всѣхъ случаяхъ  $M$  и  $N$ —двѣ произвольныя постоянныя, опредѣляемыя начальными условіями задачи.

Для полученія рѣшенія уравненія со свободнымъ членомъ  $\frac{AVit}{c}$ , служащимъ второю его частью, достаточно прибавить къ рѣшенію уравненія безъ свободнаго члена особенное рѣшеніе полнаго уравненія. Такое рѣшеніе  $\alpha_2$  можно, очевидно, получить, положивъ

$$\alpha_2 = \omega t + \varphi,$$

гдѣ  $\omega$  и  $\varphi$ —двѣ постоянныя, подлежащія опредѣленію. Находимъ:

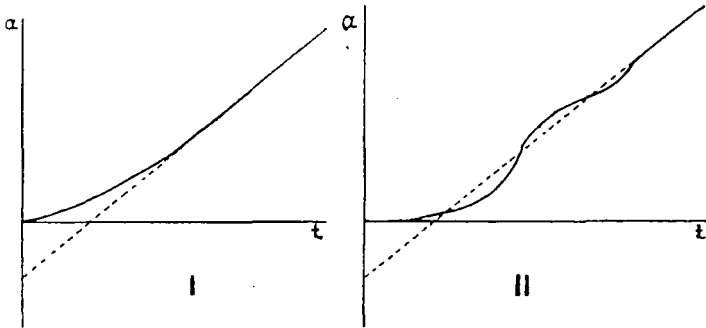
$$\alpha_2 = \frac{AVi}{Bc + A^2V^2} \left( t - \frac{2a}{b^2} \right).$$

Полное рѣшеніе, во всѣхъ случаяхъ, есть

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2,$$

и постоянныя  $M$  и  $N$  опредѣляются изъ начальныхъ условій, требующихъ въ настоящемъ случаѣ, чтобы при  $t=0$  было  $\alpha=0$  и  $\frac{d\alpha}{dt}=0$ .

Разсматривая природу рѣшенія, находимъ, что во всѣхъ случаяхъ уголъ  $\alpha$  постоянно возрастаетъ вмѣстѣ съ временемъ и что также во всѣхъ случаяхъ движеніе стремится стать въ концѣ концовъ равномернымъ и такимъ, чтобы быть заданнымъ посредствомъ рѣшенія  $\alpha_2$ . Это особенное рѣшеніе есть въ то же время предѣлъ, къ которому стремится видъ движенія, тогда какъ часть  $\alpha_1$  полного рѣшенія представляетъ постепенно исчезающій членъ. Однако предѣлъ, который теоретически достигается только



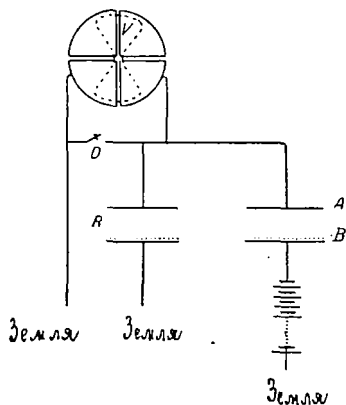
Черт. 28

въ бесконечно-удаленномъ времени, на практикѣ можно получить съ большимъ приближеніемъ въ концѣ болѣе или менѣе долгаго времени, и способъ, по которому устанавливается равномерное движеніе, зависитъ существенно отъ вида рѣшенія  $\alpha_1$ . При  $a^2 \geq b^2$  скорость постепенно возрастаетъ, стремясь къ своему конечному значенію. При  $a^2 < b^2$  скорость испытываетъ увеличенія и уменьшенія колебательнаго вида вокругъ средняго значенія, служащаго конечною цѣлью. Черт. 28 дѣлаетъ очевиднымъ законъ измѣненія угла  $\alpha$  въ обоихъ разсмотрѣнныхъ случаяхъ.



Чтобы можно было пользоваться скоростью отклоненія, какъ мѣрою тока, нужно, очевидно, чтобы равномѣрное стационарное состояніе было достигнуто весьма быстро, и при очень еще слабomъ отклоненіи; также полезно, чтобы это стационарное состояніе было достигнуто не сотрясеніями, какъ на *черт.* 28(II), а непрерывно, какъ на *черт.* 28(I). Этого результата мы достигаемъ надлежащимъ выборомъ опытныхъ условій. Замедленіе должно быть достаточнымъ, чтобы не могли происходить колебанія скорости, и однакожъ движеніе не должно быть очень медленнымъ. Значитъ, нѣтъ интереса увеличивать замедленіе болѣе, чѣмъ это необходимо для полученія замѣтно неперіодическаго движенія, и должно всячески стараться осуществить сколь возможно легкую подвижную систему, принимая въ расчетъ необходимую чувствительность для намѣчаемой цѣли.

§ 26. Методъ постояннаго отклоненія.—Вмѣсто того чтобы пользоваться электрометромъ по указанному способу, можно постараться измѣрить постоянный токъ посредствомъ длительного отклоненія этого прибора. Пронстекающій изъ этого принципа методъ называется *методомъ постояннаго отклоненія*. Онъ былъ изученъ Броу-



*Черт.* 29

сон'омъ<sup>(1)</sup>. Одинъ изъ квадрантовъ электрометра (*черт.* 29) связанъ все время съ землею, тогда какъ другой соединенъ съ дискомъ *A* конденсатора *AB*, содержащаго вещество, активность котораго желательно измѣрить. Система, образуемая квадрантомъ и

(1) Bronson, *Amer. Journ. Sc.*, 1905 г.

дискѣ, соединяется съ землею при посредствѣ отвода съ большимъ сопротивленіемъ  $R$ . Предположимъ, что это сопротивленіе таково, что интенсивность тока, проходящаго черезъ него, была бы связана на границахъ съ разностью потенциаловъ по закону Ома, какъ для металлическаго проводника. Когда изолируютъ квадратъ отъ земли въ  $D$ , онъ начинаетъ заряжаться отъ тока, проходящаго черезъ конденсаторъ  $AB$ ; но въ то же время зарядъ уходитъ въ землю черезъ сопротивленіе  $R$ , и окончательно система достигаетъ потенциала  $v$  стационарнаго состоянія, т.-е. такого потенциала, при которомъ зарядный токъ компенсируется потерей. Тогда имѣемъ  $i = \frac{v}{R}$  и можемъ такимъ образомъ измѣрить  $i$ . Чтобы получить абсолютную мѣру  $i$ , необходимо знать значеніе  $R$  и чувствительность электрометра къ потенциалу.

Затрудненіе метода заключается въ выборѣ сопротивленія  $R$ . Это сопротивленіе должно быть очень большимъ, потому что дѣло идетъ объ измѣреніи весьма слабыхъ токовъ. Сначала употреблялись сопротивленія, образуемая столбиками изолирующихъ жидкостей, подобныхъ ксплолу; эти сопротивленія не отличаются правильностью; ихъ проводимость подвергается измѣненіямъ во время прохожденія тока. Сопротивленія, употребляемые въ новѣйшихъ изслѣдованіяхъ, образуются воздухомъ, обращеннымъ въ проводникъ посредствомъ радиоактивнаго вещества. Такое сопротивленіе можетъ, напр., представить конденсаторъ съ дисками, нижній изъ которыхъ покрытъ радиоактивнымъ веществомъ и соединенъ съ землею, тогда какъ верхній сообщается съ электрометромъ. Чтобы токъ, проходящій черезъ конденсаторъ, могъ быть пропорціональнымъ разности потенциаловъ между дисками, необходимо, чтобы іонизація была достаточно сильною и разстояніе между электродами достаточно большимъ; такъ какъ потенциалъ изолированной системы остается всегда слабымъ (вообще ниже 1 вольта), пропорціональность можетъ быть достигнута. Однако необходимо также сколь возможно поляѣ устранить электродвижущую силу соприкосновенія, всегда существующую между дисками вслѣдствіе естественныхъ различій между ихъ поверхностями; въ присутствіи радиоактивнаго вещества, обращающаго воздухъ въ проводникъ, эта разность потенциаловъ вызываетъ токъ, стремящійся привести электрометръ къ постоянному потенциалу, какъ разъ измѣряющему разсматриваемую электродвижущую силу. Во избѣжаніе этого услож-

ненія можно покрыть оба диска одинаковыми экранами, вырѣзанными изъ одного и того же тонкаго алюминіеваго листа; лучи активнаго вещества проходятъ сквозь алюминій въ довольно сильной пропорціи, если онъ не толстъ. Можно замѣнить алюминій металлическою тканью (мелкою сѣткою). Выборъ для опыта радіоактивнаго вещества не безразличенъ. Должно избѣгать всякаго выдѣленія радіоактивной эманациі въ конденсаторѣ. Кромѣ того, полезно имѣть довольно сильное активное вещество, испускающее какъ можно меньше проникающихъ лучей, которые могутъ дѣйствовать за конденсаторомъ и нарушать изоляцію электрометрическаго прибора. Вещество, наилучшимъ образомъ удовлетворяющее этимъ условіямъ, есть полоній, который можно притомъ осадить на металлическую пластинку чрезвычайно тонкимъ слоемъ. Однако активность полонія уменьшается съ теченіемъ времени; правда, эта потеря медленна и происходитъ по извѣстному закону: активность уменьшается на половину приблизительно въ 140 дней. Тѣмъ не менѣе пользоваться для серіи измѣреній непостояннымъ сопротивленіемъ представляетъ серьезное неудобство. Радіи имѣетъ постоянную активность, и когда онъ запаянъ въ стеклянную трубку, эманациа не выдѣляется наружу; но утилизируемое лученосканіе тогда сильно проникаетъ, и трудно ограничить сферу его дѣйствія. Употребленіе іонія могло бы быть выгодиѣе, такъ какъ это вещество имѣетъ постоянную активность, не выдѣляетъ эманациі и испускаетъ мало проникающіе лучи.

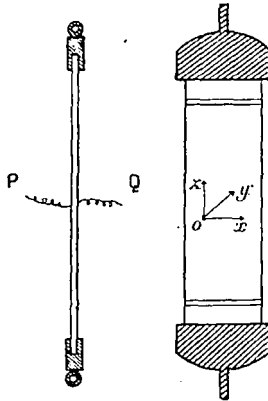
Методъ постояннаго отклоненія можно легко сдѣлать очень чувствительнымъ; стоитъ только для этого употребить сопротивление достаточной величины и электрометръ съ очень высокою чувствительностью къ потенциалу. Увеличивая сопротивление, мы увеличиваемъ потенциалъ, соответствующій данному току; однако отклоненіе устанавливается тогда болѣе медленно, и очень хорошая изоляція является неизбѣжною.

Вмѣсто того чтобы контролировать чувствительность электрометра и постоянство сопротивленія, можно время отъ времени наблюдать отклоненіе, производимое радіоактивнымъ веществомъ-эталономъ (нормальною мѣрою), такимъ, какъ окись урана, активность котораго постоянна. Можно специально для этой цѣли приготовить дискъ, покрытый тонкимъ и равномернымъ слоемъ окиси урана, и тщательно охранять этотъ дискъ отъ всякой случайности.

§ 27. Методы компенсаціи. Пьезоэлектрической кварцъ.—Въ обоихъ только-что описанныхъ методахъ измѣренія пользуются отклоненіемъ электрометра. Тѣмъ не менѣе весьма, очевидно, выгодно располагать *методомъ нуля*, или методомъ компенсаціи, позволяющимъ не заботиться о контролѣ надъ чувствительностью электрометра.

Такой методъ измѣренія токовъ слабой интенсивности былъ установленъ Р. и Ж. Сигіе вслѣдъ за ихъ работами надъ пьезоэлектричествомъ кварца въ 1881 г. Полное описаніе метода дано въ докторской диссертациіи Ж. Сигіе (1889 г.). Съ самаго начала нашихъ изслѣдованій надъ радиоактивностью мы, П. Кюри и я, пользовались этимъ же методомъ, находящимся въ постоянномъ употребленіи въ нашей лабораторіи и оказывающимъ тамъ большія услуги. Онъ состоитъ въ приобщеніи къ электрометру аппарата подъ названіемъ *пьезоэлектрическаго кварца*, служащаго компенсаторомъ тока.

Существенная часть этого аппарата есть кварцовая пластинка въ видѣ прямого параллелепипеда, имѣющаго около  $10^{\text{см}}$  въ длину,  $1^{\text{см}},5$  въ ширину и  $0^{\text{мм}},5$  въ толщину (*черт.* 30). Эта пластинка



*Черт.* 30

выгранивается изъ отборнаго кристалла кварца по опредѣленнымъ направлениамъ. Плоскость пластинки нормальна къ одной изъ трехъ бинарныхъ осей кристалла; тройная или оптическая ось лежитъ въ плоскости пластинки и направлена параллельно ея ширинѣ. На чертежѣ оптическая ось направлена по  $Ox$ , а  $Oy$  есть направление одной изъ бинарныхъ осей. Оба конца пластинки вдѣланы въ металлическія оправы, снабженныя крючками, за кото-

рые можно подвѣшивать пластинку такимъ образомъ, чтобы направление  $Oz$  выходило вертикальнымъ.

Если такую пластинку кварца вытягивать въ направленіи  $Oz$ , нормальномъ за-разъ къ осямъ оптической и одной изъ бинарныхъ, то пьезоэлектрическія свойства этого вещества обнаруживаются черезъ поляризацію пластинки: равныя, но противоположныя по знаку количества электричества, пропорціональныя силѣ растяженія, появляются на двухъ граняхъ, нормальныхъ къ бинарной оси, при чемъ знакъ заряда одной изъ граней связанъ съ направлениемъ бинарной оси, концы которой не равнозначны съ кристаллографической точки зрѣнія. Грани пластинки несутъ металлическихъ обкладки, которыя могутъ быть образованы либо серебреніемъ, либо тонкими проклеенными листами олова. Для полученія электрической изоляціи обкладокъ проводятъ вблизи концовъ пластинки, на каждой ея грани, двѣ бороздки, параллельныя ширинѣ пластинки, на которыхъ удалено серебро или олово. Эти бороздки находятся прямо предъ лицомъ съ обѣихъ сторонъ пластинки; онѣ ограничиваютъ конденсаторъ, обкладки котораго  $P$  и  $Q$  состоятъ изъ слоя серебра или изъ листа олова; діэлектрикъ между обкладками образуетъ кварцовая пластинка, изолирующія свойства которой въ направленіи, нормальномъ къ оптической оси, весьма хороши. Когда пластинка поляризуется подъ дѣйствіемъ силы растяженія, нѣкоторое количество электричества дѣлается свободнымъ на каждой обкладкѣ; это количество электричества равно, и по знаку, и по величинѣ, имѣющемуся въ виду поляризаціонному заряду.

Чтобы проявить дѣйствіе силы въ направленіи  $Oz$  длины пластинки, подвѣшиваютъ эту послѣднюю за одну изъ оправъ и накладываютъ гири на чашку, привѣшенную къ нижней оправѣ. Если тогда одну изъ обкладокъ, напр.  $Q$ , соединить съ землею, то на изолированной обкладкѣ  $P$  мы соберемъ вполнѣ опредѣленное количество электричества  $q$ . По снятіи гирь освобождается на обкладкѣ  $P$  равное, но противоположное по знаку количество электричества —  $q$ .

Обозначимъ черезъ  $F$  вѣсъ въ килограммахъ, производящій растяженіе, черезъ  $l$  длину пластинки, черезъ  $e$  ея толщину. Известно, по работамъ Р. и Ж. Сигіе, что количество электричества  $q$  дается въ э.-ст. единицахъ слѣдующею формулою:

$$q = K \frac{l}{e} F.$$

Въ этой формулѣ  $K$  представляетъ наиболѣе важный изъ двухъ параметровъ или главныхъ модулей, характеризующихъ пьезоэлектрическія свойства кварца. Значеніе этого модуля, по новѣйшимъ опредѣленіямъ J. Curie, есть

$$K = 0,0677 \text{ э.-ст. еднн., когда } F \text{ выражено въ килограммахъ}$$

$$K = 6,90 \cdot 10^{-8} \text{ э.-ст. еднн., когда } F \text{ выражено въ динахъ.}$$

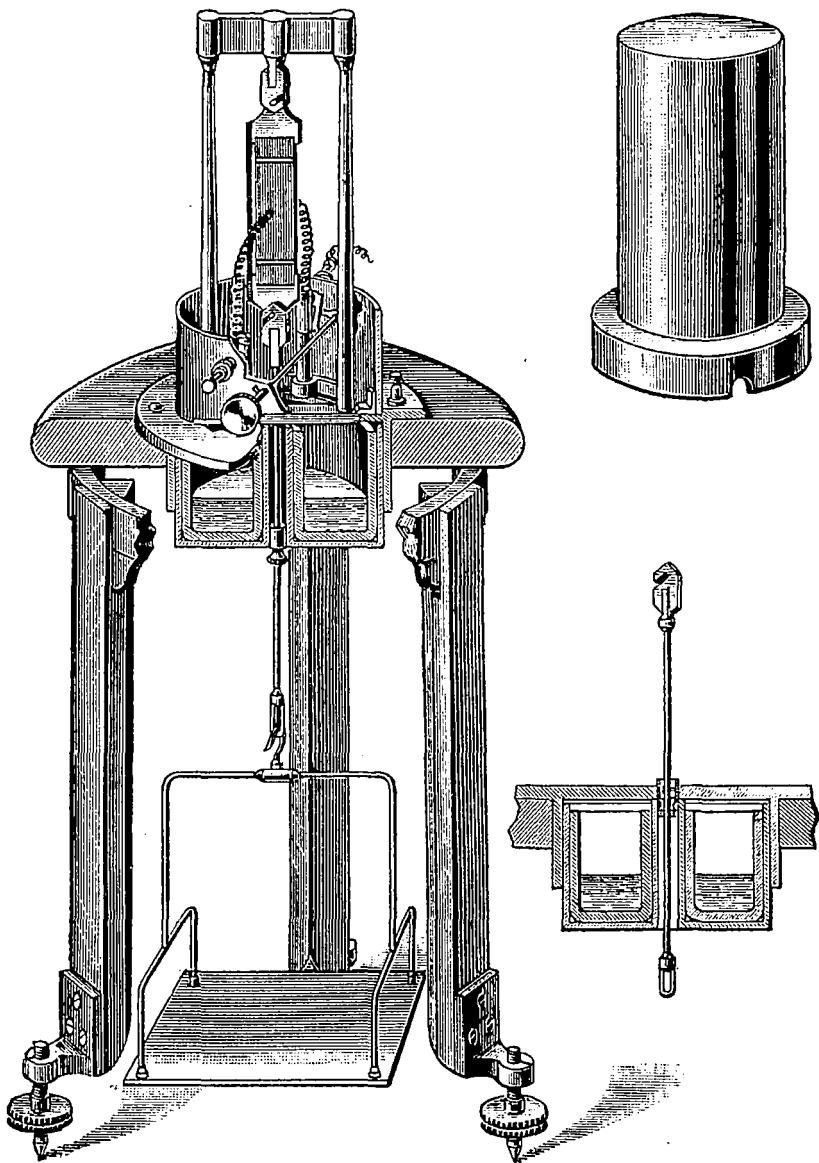
Количество  $q$  строго пропорціонально вѣсу, производящему растяженіе; оно измѣняется въ прямомъ отношеніи къ длинѣ пластинки и въ обратномъ къ ея толщинѣ, но не зависитъ отъ ея ширины.

Количество  $q$  не зависитъ отъ температуры въ предѣлахъ опыта. Кварцъ въ отборныхъ кристаллахъ есть, притомъ, прочно установленный матеріалъ, не мѣняющійся отъ времени. Пластинка, приготовленная по указанному способу, или *пьезоэлектрическій кварцъ*, представляетъ, такимъ образомъ, *эталонъ количества слабой электричества*, абсолютно неизмѣнный и вслѣдствіе этого крайне драгоценный.

Кварцъ легко гигроскопиченъ на своей поверхности, и, чтобы обкладки пластинки были хорошо изолированы, необходимо надлежащимъ образомъ высушить металлическую защитную коробку, въ которой помѣщается пластинка. Новѣйшая модель пьезоэлектрическаго кварца представлена на *черт. 31*.

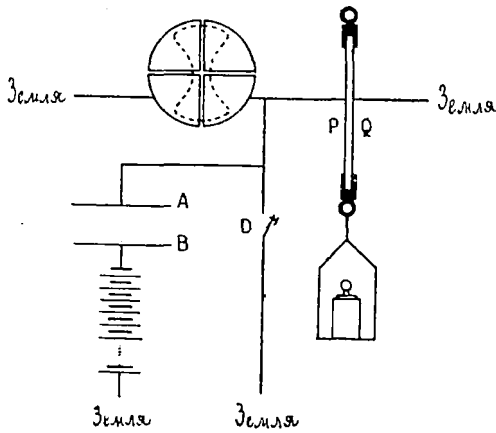
Покажемъ теперъ, какъ можно пользоваться пьезоэлектрическимъ кварцомъ для измѣренія тока слабой интенсивности, подобнаго току, образуемому подъ дѣйствіемъ радиоактивнаго вещества.

Расположеніе (*черт. 32*) составляется изъ квадрантнаго электрометра, пьезоэлектрическаго кварца и прибора, въ которомъ желаютъ измѣрить іонизацію, напр., конденсатора  $AB$ , содержащаго радиоактивное вещество. Стрѣлка электрометра доводится до высокаго потенціала; одинъ изъ квадрантовъ все время соединенъ съ землею, другой сообщается съ дискомъ  $A$  и съ обкладкою  $P$  кварца, другая обкладка котораго  $Q$  соединяется съ землею. Дискъ  $B$ , на которомъ находится радиоактивное вещество, доводится до высокаго потенціала для обезпеченія насыщенія. Когда прерываютъ въ  $D$  сообщеніе съ землею, изолированная система стремится къ зарядженію и стрѣлка электрометра начинаетъ отклоняться; чтобы воспрепятствовать отклоненію, компенсируютъ въ каждое мгновеніе количество электричества, доставляемое токомъ, подлежащимъ из-



Черт. 31

измѣренію, равнымъ, но противоположнымъ по знаку количествомъ, доставляемымъ кварцомъ. Для этого послѣднее нужно производить постепенно и непрерывно. Можно осуществить это условіе, помѣщая на чашку особый стаканъ и устраивая притокъ ртути, непрерывно наполняющей его одновременно съ постояннымъ истеченіемъ; обкладка  $P$  является тогда источникомъ постоянного тока, интенсивность котораго регулируется истеченіемъ ртути и который способенъ точно компенсировать токъ, подлежащій измѣренію, такъ что изображеніе электрометра остается на нулѣ. Не этотъ, впрочемъ, приемъ употребляется при бѣглой работѣ, по-



Черт. 32

тому что можно достигнуть полной компенсаціи еще болѣе простымъ способомъ. Для этого достаточно поддерживать грузъ рукою и допускать его давленіе на чашку только постепенно, такъ чтобы изображеніе электрометра постоянно оставалось на нулѣ. При небольшомъ навыкѣ эта операція удается весьма легко и вполне точно. Впрочемъ, предпочтительнѣе дѣйствовать снятіемъ груза, въ особенности, когда онъ значителенъ. Время, необходимое при поддержаніи компенсаціи для снятія груза  $F$ , измѣряется съ помощью хронометра. Интенсивность тока  $i$  измѣряется тогда въ относительныхъ единицахъ отношеніемъ  $\frac{F}{i}$ , и въ абсолютныхъ единицахъ отношеніемъ  $\frac{q}{i}$ , если  $q$  — количество электричества, со-



отвѣтствующее грузу  $F$  по вышеуказанной формулѣ. Слѣдовательно, имѣемъ:

$$i = K \frac{l F}{e t}.$$

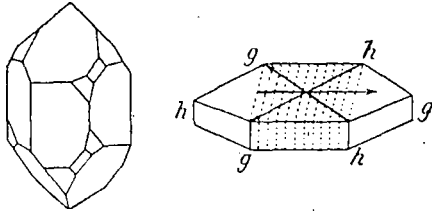
Значеніе  $i$  получается въ э.-ст. абсолютныхъ единицахъ, если измѣренія пластинки даны въ сантиметрахъ, время въ секундахъ, вѣсъ, производящій растяженіе, въ килограммахъ, и если коэффициенту  $K$  придано значеніе, соответствующее этому выбору единицъ, т.-е., если  $K = 0,0677$ . Для полученія  $i$  въ амперахъ нужно число, полученное въ э.-ст. абсолютныхъ единицахъ, раздѣлить на  $3.10^9$ .

Выполненное такимъ образомъ измѣреніе не зависитъ отъ чувствительности электрометра, который служитъ лишь указателемъ потенциала; оно равнымъ образомъ не зависитъ отъ емкости приборовъ, входящихъ въ опытъ; такимъ образомъ мы избѣгаемъ опредѣленія емкостей, что представляетъ не малую выгоду; всѣ измѣренія, выполненныя съ однимъ и тѣмъ же кварцомъ, непосредственно сравнимы между собою. Увеличеніе емкости изолированной системы вызываетъ только уменьшеніе чувствительности электрометра, и нужно для этой послѣдней сохранять достаточное значеніе.

Постоянную кварца, т.-е. количество электричества, освобождаемое единицею вѣса, можно вычислить по теоретической формулѣ, когда произведены измѣренія пластинки. Это вычисленіе покоится на предположеніи, что граненіе пластинки выполнено вполне правильно, что кристаллъ безупреченъ и что коэффициентъ  $K$ , входящій въ формулу, извѣстенъ точно. Пластинки выграниваются изъ отборныхъ кристалловъ кварца, свободныхъ отъ недостатковъ (1). Кристаллы встрѣчаются въ видѣ шестиугольныхъ прямыхъ призмъ (минералогическое обозначеніе  $e^2$ ), съ насаженными на основаніяхъ двумя пирамидами. Ребра призмъ—двухъ родовъ, и ихъ можно различать между собою по присутствію на ихъ концахъ геміэдрическихъ площадокъ; изъ шести реберъ только три имѣютъ это измѣненіе. Проводя въ призмѣ два прямыхъ сѣченія, разстояніе между которыми—порядка ширины пластинокъ, отдѣляютъ отъ нея шестиугольный пластъ, основанія котораго нормальны къ оптиче-

(1) Граненіе пластинокъ производится въ Парижѣ Werlein'омъ, механикомъ.

ской оси. *Черт.* 33 представляет кристаллъ и выдѣленный изъ него пластъ. Три бинарные оси находятся въ плоскости основаній пласта; черезъ  $h$  обозначены ребра, измѣненные геміэдрическими площадками, и черезъ  $g$  — неизмѣненныя. Для полученія пластинокъ проводятъ въ пластѣ сѣченія, нормальныя къ его гранямъ и къ одной изъ бинарныхъ осей и весьма между собою

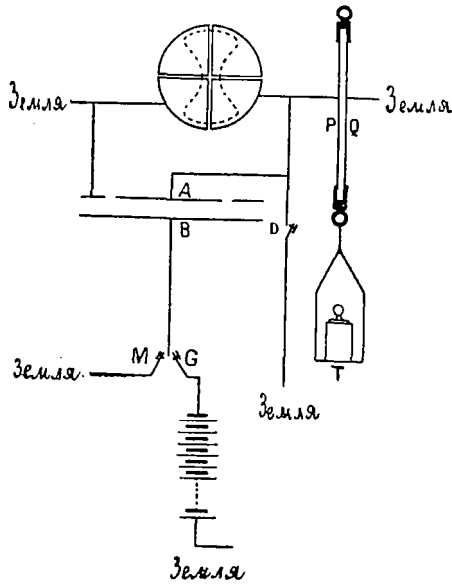


*Черт.* 33

сближенныя. Относительно легко получить точную размѣтку прямыхъ сѣченій посредствомъ оптическихъ приѣмовъ; отмѣтка положенія, нормального къ одной изъ бинарныхъ осей, требуетъ болѣе тонкаго вниманія при своемъ осуществленіи; оно намѣчается по отношенію къ сторонамъ шестигульника. Полярность пластинки такова, что когда производится растяженіе, конецъ бинарной оси, обращенный къ неизмѣненному ребру, заряжается положительно. Когда кристаллъ не чистъ и представляетъ смѣсь праваго и лѣваго кварца, дѣйствія обѣихъ частей противоположны, и пластинка не даетъ тогда количества электричества, вычисленнаго теоретически.

Недавно было предпринято эталонированіе нѣкотораго числа кварцовыхъ пластинокъ, бывшихъ въ употребленіи, для сравненія экспериментальныхъ значеній ихъ постоянныхъ съ теоретическими значеніями. Эта работа была выполнена *J. Curie* по методу, заключающемуся въ сравненіи количества электричества, доставляемаго пластинкою для извѣстнаго вѣса, съ количествомъ, заряжающимъ абсолютный конденсаторъ до извѣстнаго потенциала, осуществленнаго при помощи элементовъ-эталонныхъ. *Черт.* 34 представляетъ схематическое расположеніе приборовъ. Употребляется квадрантный электрометръ, одинъ изъ квадрантовъ котораго связанъ все время съ землею, тогда какъ другой соединяется съ одною изъ обкладокъ  $P$  кварца, подлежащаго эталонированію, и съ центральною частью  $A$  диска съ предохранительнымъ кольцомъ абсолютнаго конденсатора; это предохранительное кольцо

соединяется съ землею, также какъ и другая обкладка  $Q$  кварца. Дискъ  $B$  конденсатора можетъ быть соединенъ либо съ землею, либо съ однимъ изъ полюсовъ батареи, составленной изъ нѣсколькихъ элементовъ-эталоновъ; другой полюсъ этой батареи соединяется съ землею. Механическое расположение позволяетъ установить или сразу прекратить дѣйствіе растяженія, производимое на кварцъ гириами, помѣщаемыми на чашку  $T$ . Опытъ состоитъ



Черт. 34

въ слѣдующемъ: когда дискъ  $B$  соединенъ съ батареей въ  $G$  и кварцъ подвергнутъ растяженію  $F$ , изолируютъ электрометръ отъ земли въ  $D$ ; мгновенно спустя, прекращаютъ растяженіе  $F$  и одновременно присоединяютъ дискъ  $B$  къ землѣ въ  $M$ , при чемъ этотъ двойной маневръ выполняется посредствомъ надлежащаго коммутатора. Первая изъ этихъ операций имѣетъ въ виду освободить нѣкоторое количество электричества  $q$  на обкладкѣ  $P$ ; вторая операция освобождаетъ на дискѣ  $A$  электрическій зарядъ  $q'$ , знакъ котораго зависитъ отъ выбора изолированнаго полюса батареи; этотъ знакъ долженъ быть такимъ, чтобы заряды, освобожденные на обкладкѣ  $P$  и на дискѣ  $A$ , были противоположныхъ знаковъ. Тогда можно будетъ регулировать растяженіе  $F$  такъ, чтобы заряды компенсировались вполнѣ и чтобы, во время одновременнаго

выдѣленія обоихъ зарядовъ, электрометръ оставался на нулѣ. Оба заряда равны тогда по абсолютному значенію, и мы имѣемъ:

$$q = q'.$$

Притомъ зарядъ  $q'$  легко вычислить. Обозначая черезъ  $s$  поверхность диска  $A$  въ квадратныхъ сантиметрахъ, черезъ  $e$  разстояніе между дисками въ сантиметрахъ, черезъ  $V$  электродвижущую силу зарядной батареи въ вольтахъ, какъ извѣстно, имѣемъ:

$$q' = \frac{sV}{4\pi e \times 300} \text{ э.-ст. едн.}$$

Вмѣсто расположенія приборовъ, показаннаго на *черт.* 34, можно пользоваться и другимъ, измѣнивъ связь ихъ между собою слѣдующимъ образомъ: дискъ  $A$  соединяется либо съ землею, либо съ батареей, дискъ  $B$ —съ электрометромъ и предохранительное кольцо—съ землею. Хотя при этихъ условіяхъ поле между дисками уже болѣе не равномернo и видъ линій поля сложенъ, можно, однако, доказать, что зарядъ, принимаемый дискомъ  $B$ , когда онъ соединенъ съ землею, а дискъ  $A$  находится при потенциалѣ  $V$ , одинаковъ съ зарядомъ, который принималъ дискъ  $A$  въ предыдущемъ опытѣ, когда онъ былъ связанъ съ землею, а дискъ  $B$  находился при потенциалѣ  $V$  (1). Количество электричества, освобождаемое на дискѣ  $B$  во время присоединенія къ землѣ диска  $A$ , можно, такимъ образомъ, вычислять по предыдущей формулѣ. Измѣненіемъ расположенія имѣется въ виду использовать изоляцію диска  $B$ , которая, вообще, лучше изоляціи диска  $A$ .

Измѣренія были выполнены съ конденсаторомъ, диски котораго имѣли 20 см полезнаго діаметра (т.-е. 314 кв. см. полезной поверхности). Диски представляли стеклянныя плоскости, тщательно отполированныя и посеребренныя; они отдѣлялись другъ отъ друга подкладочками изъ кварца, толщина которыхъ была точно измѣрена. Батарея состояла изъ десяти элементовъ Weston'a, величина которыхъ, указанная механикомъ, была провѣрена въ Парижской Электрической Школѣ.

Эти мѣры послужили къ эталонированію многихъ кварцовыхъ пластинокъ въ абсолютной величинѣ и независимо отъ какой бы то ни было гипотезы. Кромѣ того, онѣ показали, что граненіе пла-

(1) P. Curie, *Oeuvres*, стр. 224.

стинокъ весьма удовлетворительно, и дали возможность повѣрить значеніе пьезоэлектрическаго модуля. Для этого были тщательно измѣрены длины  $l$  и толщины  $e$  пластинокъ. По прежнимъ измѣреніямъ J. и P. Curie

$$K = 0,063,$$

при чемъ  $F$  было измѣрено въ килограммахъ и  $q$  въ э.-ст. единицахъ. Измѣренія, произведенныя Voigt'омъ, дали весьма близкій результатъ. Новѣйшія измѣренія J. Curie, выполненныя надъ двѣнадцатью кварцовыми пластинками, даютъ болѣе высокое число

$$K = 0,0677.$$

Это число, вѣроятно, болѣе точное, соотвѣтствуетъ  $K = 6,90 \cdot 10^{-8}$  абсол. един.

Пластинка кварца обычнаго вида можетъ безъ затрудненія выдерживать грузъ въ  $5^{мг}$ . Когда она присоединена къ электрометру обыкновенной чувствительности ( $0^{см}$ , 50 отклоненія для 1 вольта при разстояніи въ  $1^{м}$ ), грузъ въ  $1^{мг}$  даетъ отклоненіе около  $5^{мм}$ . Количество электричества, выдѣляемое килограммомъ для пластинки въ  $10^{см}$  длины и  $0^{мм}$ , 5 толщины, равно приблизительно 12 э.-ст. един. Токи, которые можно измѣрять съ такою пластинкою, содержатся между  $10^{-9}$  и  $10^{-13}$  амперъ. Эти предѣлы можно было бы еще раздвинуть; въ частности, измѣреніе весьма слабыхъ токовъ ограничено главнымъ образомъ изоляціей приборовъ; если емкость прибора, производящаго токъ, мала, можно значительно увеличить чувствительность измѣрительнаго расположенія, употребляя чувствительный электроскопъ и короткій и толстый кварцъ.

Употребленіе только-что описаннаго метода удержанія на нулѣ въ особенности драгоценно въ радиоактивныхъ лабораторіяхъ, гдѣ обыкновенно пользуются весьма активными веществами. Очень трудно поддерживать въ этихъ лабораторіяхъ изоляцію приборовъ и эта трудность была уже давно отмѣчена<sup>(1)</sup>. Она происходитъ отъ разсѣянія активныхъ пылиннокъ, отъ выдѣленія радиоактивныхъ эманаций и отъ образованія въ присутствіи этихъ послѣднихъ индуктивныхъ радиоактивностей, нѣкоторые весьма активные виды которыхъ исчезаютъ быстро, тогда какъ другіе гораздо ме-

(1) P. и M. Curie, *Rapports au Congrès de Physique*, Paris, 1900 г.

нѣ активные виды за то имѣють неудобство держаться годами. Всѣ предметы, содержащіеся въ радиоактивной лабораторіи, имѣють аномальную активность. Полезно въ такой лабораторіи выгадать два отдѣленія, или лучше отвести подъ нее два отдѣльныхъ зданія, изъ которыхъ одно было бы назначено исключительно для операций надъ сильно радиоактивными веществами, не запаянными въ стеклянную трубку, а другое—для электрометрическихъ измѣреній и для операций надъ весьма слабо активными и не выдѣляющими эманацийъ тѣлами. Въ это мало активное зданіе никогда не должны быть вносимы ни очень активное вещество, ни платье или предметы, служившіе въ активномъ строеніи. Полезно также энергично провѣтривать рабочія залы при малѣйшемъ подозрѣніи, что тамъ выдѣляется хоть сколько-нибудь эманацин. Однако всѣ эти предосторожности уберегаютъ лишь до извѣстной степени, и постепенной порчи лабораторіи отъ радиоактивности нельзя совершенно избѣжать<sup>(1)</sup>. При такихъ условіяхъ методъ удержанія на нулѣ особенно рекомендуется для измѣреній. Съ употребляемымъ нами методомъ нѣтъ надобности имѣть весьма совершенную изоляцію, потому что, при посредственной даже изоляціи, ея недостатка, вообще, очень ничтожны, если электрометръ поддерживается вблизи потенціала нуль.

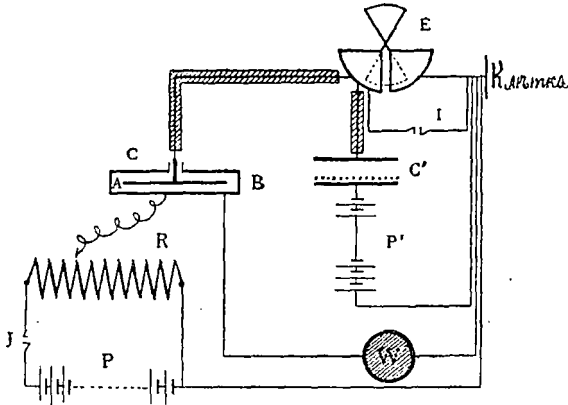
Весьма деликатныя измѣренія по электрометріи могутъ быть выполнены только въ новыхъ зданіяхъ, никогда не соприкасавшихся съ радиоактивными веществами и съ изучающими ихъ лицами, и насколько возможно удаленныхъ отъ радиоактивной лабораторіи.

**§ 28. Компенсація заряднымъ токомъ конденсатора.**—Можно компенсировать слабый токъ заряднымъ или разряднымъ токомъ конденсатора извѣстной емкости, между обкладками котораго постепенно вызывается или прекращается извѣстная разность потен-

---

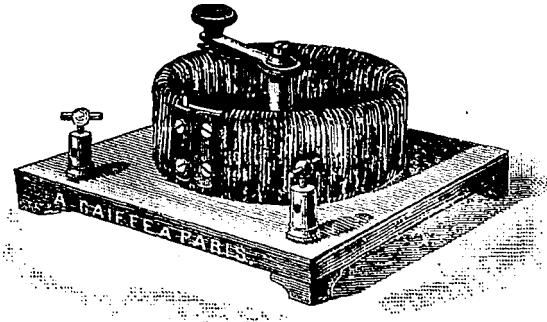
(1) Вотъ тому примѣръ. Въ Парижской Школѣ Физики и Химіи, гдѣ была выполнена наша работа по открытію новыхъ радиоактивныхъ веществъ и гдѣ я совершила работу по концентраціи радія до состоянія чистой соли, есть зала, служившая столовою для воспитанниковъ, не имѣющая никакого сообщенія съ комнатами, гдѣ мы работали, и находящаяся даже въ отдаленіи. Мы никогда не заходили въ эту комнату, и ни одинъ изъ предметовъ, которыми мы пользовались, туда не попадалъ. Однако, когда много лѣтъ спустя послѣ того, какъ мы оставили Школу Физики, было устроено въ этой залѣ электрометрическое помѣщеніе, то нашли, что проводимость воздуха достигала тамъ значенія въ двадцать разъ выше нормальнаго.

ціаловъ<sup>(1)</sup>. Установка опыта представлена на *черт. 35*. На этомъ чертежѣ *C* есть конденсаторъ-эталонъ, обкладка котораго *A* связана съ электрометромъ, тогда какъ обкладка *B* можетъ быть доведена



*Черт. 35*

до переменнаго потенциала при помощи батарей *P*, одинъ полюсъ которой связанъ съ землею, а другой—съ однимъ изъ концовъ реостата *R* (*черт. 36*), второй конецъ котораго соединенъ съ землею; подвижное прикосновение вдоль реостата позволяетъ измѣ-



*Черт. 36*

нять непрерывнымъ образомъ потенциалъ обкладки *B*; этотъ потенциалъ измѣряется вольтметромъ *W*. Ионизаціонная камера, въ которой измѣряютъ токъ, представлена на чертежѣ конденсаторомъ *C'*, между дисками котораго возбуждается высокая разность

(<sup>1</sup>) Этотъ методъ измѣреній былъ описанъ Lattès'омъ (*Le Radium*, 1909 г.).

потенціаловъ посредствомъ батарей  $P'$ . Когда изолируютъ систему, связанную съ обкладкою  $A$ , электрометръ начинаетъ отклоняться въ силу іонизаціоннаго тока; можно его удержать на нулѣ, дѣйствуя на рукоятку реостата. Пусть  $C$  будетъ емкость конденсатора-эталона,  $V$ —использованная разность потенциаловъ и  $t$ —продолжительность компенсаціи; интенсивность тока  $i$  дается формулою  $i = \frac{CV}{t}$ . Зная емкость конденсатора-эталона и значение  $V$ , мы знаемъ интенсивность  $i$  въ абсолютной величинѣ. Для приданія бѣльшей чувствительности методу, варьируютъ емкость конденсатора-эталона или разность потенциаловъ  $V$ .

Въ нѣкоторыхъ работахъ<sup>(1)</sup> былъ употребленъ другой методъ удержанія на нулѣ. Онъ состоитъ въ компенсированіи тока, подлежащаго измѣренію, токомъ обратнаго направленія, возникающимъ подѣ дѣйствіемъ постояннаго радиоактивнаго вещества, такого, какъ уранъ, въ конденсаторѣ специально припоровленнаго вида, между обкладками котораго возбуждаютъ разность потенциаловъ, достаточную для полученія насыщенія. Можно варьировать этотъ компенсирующий токъ, заставляя измѣняться поверхность взятаго активнаго вещества; для этой цѣли заставляютъ скользить по активному диску покрывку, перемѣщеніе которой отмѣчается. Необходимо предварительное эталонированіе для опредѣленія интенсивности компенсирующаго тока въ функціи отъ положенія покрывки. Такое расположеніе можетъ оказать услуги; однако для точныхъ измѣреній, а также для измѣреній абсолютныхъ оно менѣе пригодно, чѣмъ предыдущіе методы.

**§ 29. Поправки къ измѣреніямъ.**—При всякомъ методѣ электрическихъ измѣреній, вообще, необходимо вносить въ эти послѣднія *поправку*, происходящую отъ активности приборовъ. Какъ указано мною выше, всѣ предметы, находящіеся въ радиоактивной лабораторіи, болѣе или менѣе активны, и воздухъ такой лабораторіи имѣетъ всегда болѣе высокую проводимость, чѣмъ проводимость воздуха въ нормальномъ состояніи. Слабое дѣйствіе въ этомъ родѣ можно часто наблюдать на одномъ электрометрѣ. Если, при заряженной стрѣлкѣ, изолировать одинъ изъ квадрантовъ, въ то время какъ другой ослабѣетъ соединеннымъ съ землею, то замѣчаютъ иногда, что электрометръ медленно отклоняется, указывая этимъ,

(1) Allen, *Phil. Mag.*, 1907 г.



что имѣется прохожденіе электричества отъ стрѣлки къ изолированному квадранту; это движеніе очень медленно, когда электрометръ въ хорошемъ состояніи и нѣтъ вблизи клѣтки никакого радиоактивнаго вещества, могущаго сюда посылать проникающіе лучи. Это дѣйствіе ослабляютъ употребленіемъ электрометровъ, въ которыхъ очень сокращено свободное пространство, занятое воздухомъ, и даже можно использовать еще болѣе дѣйствительный приѣмъ, помѣщая электрометръ въ пустоту.

Употребляемые для измѣреній конденсаторы представляютъ наиболѣе быстро-активные приборы, потому что часто содержатъ радиоактивныя вещества. Активный конденсаторъ служитъ причиною появленія тока въ измѣрительномъ приборѣ даже при отсутствіи въ немъ всякаго радиоактивнаго вещества. Происходящее отъ этого движеніе электрометра, вообще, важнѣе движенія, которое можетъ возникнуть въ самомъ электрометрѣ. Когда находятъ, что конденсаторъ слишкомъ активенъ, нужно приступить къ его полному очищенію; активность стѣнокъ, какъ поверхностную, можно удалить треніемъ наждачною бумагою и мытьемъ разбавленными кислотами.

Также иногда констатируютъ причины движенія электрометра, обязанныя мѣстнымъ электродвижущимъ сплавъ. Всякій разъ какъ металлическая часть, входящая въ составъ изолированной системы, отдѣляется изолирующимъ тѣломъ отъ металлической части, связанной съ землею, электродвижущая сила соприкосновенія, существующая между этими частями, можетъ явиться причиною тока, если поверхность изолирующаго тѣла не абсолютно суха и чиста; система функционируетъ тогда на подобіе батарей, утилизирующей проводимость поверхности изолирующаго тѣла. Для уничтоженія такого рода дѣйствія должно очистить и высушить эту поверхность.

Совокупность упомянутыхъ дѣйствій составляетъ то, что называютъ *самопроизвольнымъ движеніемъ* прибора. Это движеніе должно быть измѣрено до введенія радиоактивнаго вещества. Токъ, измѣряющій активность этого послѣдняго, равенъ разности токовъ, полученныхъ въ его присутствіи и въ его отсутствіи.

**§ 30. Расположенія приборовъ въ опытахъ.** Мы видѣли, насколько важно употребленіе электрометра при измѣреніяхъ радиоактивности. Вотъ нѣкоторыя наблюденія, относящіяся къ употребленію этого инструмента.

Хотя условия движения стрѣлки играютъ въ методахъ постоянного отклоненія и пьезоэлектрическаго кварца меньшую роль, чѣмъ въ методѣ скорости отклоненія, однакожъ необходимо, чтобы періодъ колебанія подвижнаго снаряда не былъ бы слишкомъ долгимъ и чтобы движеніе было бы надлежащимъ образомъ успокоено. Для осуществленія этихъ условій, при полномъ сохраненіи достаточной чувствительности, необходимо употреблять очень легкое привѣшиваніе. Когда не оперируютъ посредствомъ скорости отклоненія, самое благопріятное успокоеніе есть успокоеніе, близкое къ критическому, допускающему одно или два колебанія. Успокоенія тѣмъ легче достигнуть, чѣмъ меньше моментъ инерціи подвижнаго снаряда и чѣмъ слабѣе направляющая пара. Въ электрометрахъ Кюри чаще всего употребляютъ для привѣшиванія платиновую нить въ  $0^{\text{м}},50$  длины и  $0^{\text{м}},02$  въ діаметрѣ или очень тонкую бронзовую тесьму. Стрѣлка изъ алюминія очень легка; вообще, она дѣлается изъ прокатнаго листа толщиной не болѣе  $0^{\text{м}},01$ ; въ случаѣ еще болѣе тонкаго листа стрѣлка въ центральной своей части поддерживается подкладкою изъ листа немного потолще. При достаточномъ сближеніи квадрантовъ движеніе стрѣлки достаточно успокаивается сопротивленіемъ воздуха. Въ нѣкоторыхъ моделяхъ Кюри успокоеніе достигалось токами Фуко (Foucault); поэтому квадранты дѣлались изъ стали и намагничивались, или же размѣщались надлежащимъ образомъ магниты вблизи квадрантовъ. Этимъ приемомъ можно осуществить весьма точно искомое успокоеніе; однакожъ алюминій, употребляемый на приготовленіе стрѣлокъ, долженъ быть въ такомъ случаѣ абсолютно чистъ отъ слѣдовъ желѣза, присутствіе котораго въ немъ, напротивъ, довольно часто.

Вмѣсто того чтобы употреблять для привѣшиванія нить изъ металла, можно также пользоваться нитями изъ кварца, и въ такомъ случаѣ возможно имѣть для привѣшиванія нить очень короткую и чрезвычайно тонкую, что позволяетъ избѣжать употребленія длиннаго металлическаго столба, возвышающагося надъ клѣткою. Но за то тогда встрѣчаются другія трудности; такъ какъ кварцовая нить не проводникъ, то ею нельзя пользоваться, какъ металлическою нитью, для поддержанія стрѣлки на постоянномъ потенциалѣ. Нужно, значитъ, оперировать при постоянномъ зарядѣ стрѣлки, и если она даже совершенно изолирована, мало можно рассчитывать на очень постоянную чувствительность. Приемы,

указанные для обращенія кварцовыхъ нитей въ проводники съ поверхности, являются къ тому же не достаточно правильными въ своемъ функционированіи, такъ что употребленіе металлическихъ нитей предпочтительнѣе. Можно пользоваться металлическими нитями чрезвычайно тонкими, отъ  $0^{мм},01$  въ діаметрѣ, и весьма умѣренной длины. Чувствительность, соответствующая отклоненію въ  $0^{м},75$  вольтомъ на шкалѣ при ея разстояніи въ  $1^{м}$ , вообще, очень достаточна, и увеличиваютъ ее только въ случаѣ нужды; она безъ затрудненія получается съ обычною моделью электрометра Кюри при употребленіи для привѣшиванія нити  $0^{мм},02$  въ діаметрѣ и отъ  $0^{м},40$  до  $0^{м},50$  длины.

Изоляція посредствомъ подкладокъ для квадрантовъ также должна быть какъ можно болѣе совершенною; она менѣе важна для стрѣлки, если эта послѣдняя поддерживается на постоянномъ потенциалѣ и заряжается при помощи батареи, могущей разносить слабый токъ. Изъ твердыхъ тѣлъ наилучшими изоляторами служатъ сѣра, янтарь и эбонитъ, въ состояніи наибольшей чистоты. Два первыхъ вещества не гигроскопичны и изолируютъ даже въ влажномъ воздухѣ; эбонитъ изолируетъ хорошо только въ сухомъ воздухѣ и требуетъ употребленія высушивателей, такихъ, какъ концентрированная сѣрная кислота, внутри клѣтки прибора. Употребленіе металлической клѣтки, связанной съ землею, необходимо, притомъ, для обезпеченія электростатической защиты прибора; одновременно клѣтка защищаетъ подвижной снарядъ отъ дѣйствія воздушныхъ токовъ.

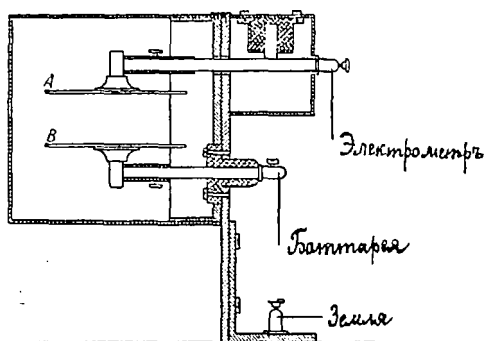
Для поддержанія стрѣлки на постоянномъ потенциалѣ связываютъ ее черезъ посредство нити привѣшиванія съ однимъ изъ полюсовъ батареи изъ большого числа элементовъ, второй полюсъ которой соединяется съ землею; потенциалъ употребляется, вообще, отъ 50 до 100 вольтъ. Составлявшіяся для этой цѣли батареи въ видѣ столбика изъ небольшихъ элементовъ замѣняются нынѣ съ выгодною батареею изъ небольшихъ аккумуляторовъ, которые служатъ также для образованія въ пзмѣрительныхъ конденсаторахъ разности потенциаловъ, необходимой для полученія тока насыщенія (<sup>1</sup>).

---

(<sup>1</sup>) Эти небольшіе аккумуляторы занимаютъ немного мѣста. Батарея въ 20 ящичковъ, изъ 44 элементовъ каждый, даетъ, когда все элементы заряжены, разность потенциаловъ около 1800 вольтъ и занимаетъ шкалѣ  $1^{м}$ , 30 высоты,

Конденсаторы, употребляемые при измѣреніяхъ радиоактивности, могутъ быть различнаго вида смотря по своему назначенію. Вотъ наиболѣе употребительные виды этихъ приборовъ.

Конденсаторъ, изображенный на *черт. 37*, употребляется для измѣренія радиоактивности твердыхъ веществъ. Вещество кладется на дискъ *B*, связанный съ зарядною батареей, тогда какъ дискъ *A* соединяется съ электрометромъ. Изолирующая часть, поддержива-



*Черт. 37*

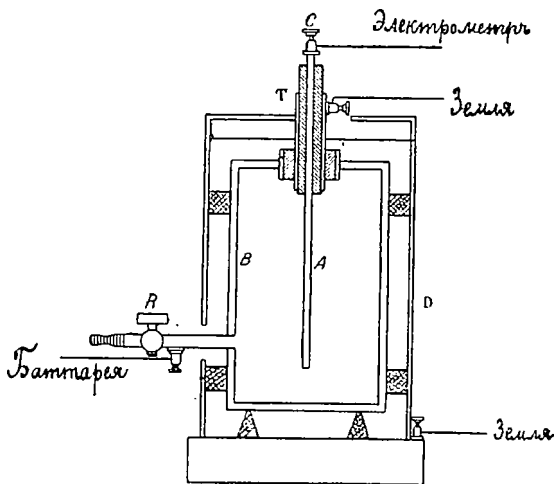
ющая стержень, къ которому прикрѣпленъ дискъ *A*, защищена камерою отдѣльно отъ кѣтки, охраняющей систему дисковъ. Эта предосторожность имѣетъ цѣлью уберечь изоляцію отъ вліянія радиоактивныхъ пылинокъ.

Конденсаторъ, изображенный на *черт. 38*, служитъ для измѣренія токовъ, обязанныхъ эманациямъ или радиоактивнымъ газамъ. Онъ состоитъ изъ соединеннаго съ зарядною батареей металлическаго ящика *B*, внутрь котораго погруженъ изолированный электродъ *A*, связанный съ электрометромъ. Этотъ электродъ проходитъ сквозь изолирующую пробку изъ янтаря, вставленную въ металлическую трубку *T*, соединенную съ землею; сама трубка *T*

---

90см ширины и 60см глубины. Наша лабораторія обладаетъ нѣсколькими такими батареями, три изъ которыхъ, въ совокупномъ напряженіи могутъ доставить электродвижущую силу въ 5400 вольтъ; онѣ были построены Ватауд'омъ и функционируютъ весьма удовлетворительно. Онѣ могутъ доставлять токъ въ 0,01 ампера и имѣютъ емкость въ 1,5 амперъ-часъ на элементъ. Условія изоляціи должны быть весьма совершенными. Для избѣжанія несчастныхъ случайностей, возможныхъ съ такими батареями при высокомъ напряженіи, полезно вставлять между изолированнымъ полюсомъ и приборами большое сопротивленіе, такое, какъ столбъ дистиллированной воды въ трубкѣ вида *U*.

укрѣплена въ кольцевой изолирующей части, плотно входящей въ круговое отверстіе въ верхней стѣнкѣ ящика *B*, снабженное бортомъ. Роль трубки *T*—препятствовать тому, чтобы въ силу разности потенциаловъ, существующей между ящикомъ *B* и электродомъ *A*, могъ установиться между этими двумя электродами зарядный токъ, утилизирующій поверхностную проводимость вдоль изолирующей части; эта трубка функционируетъ, какъ предохранительное кольцо. Употребленіе такой защитной части неизбежно



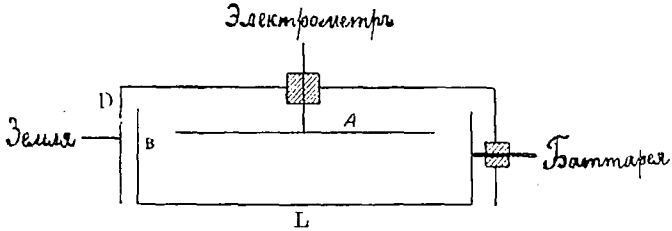
Черт. 38

во всѣхъ приборахъ, въ которыхъ электродъ, связанный съ электрометромъ, отдѣляется твердыми изоляторами отъ металлической части, соединенной съ изолированнымъ полюсомъ зарядной батареи.

Ящикъ *B* снабженъ однимъ или двумя стеклянными кранами, позволяющими производить въ немъ пустоту и вводить туда газы. Краны и изолирующія части укрѣплены, притомъ, такъ, чтобы закрытіе было безусловно непроницаемымъ. Ящикъ *B* цѣликомъ вставленъ въ вѣншній металлическій, соединяющійся съ землею, ящикъ *D*, отъ котораго онъ изолированъ.

Конденсаторъ, изображенный на черт. 39, употребляется для измѣреній, при которыхъ не желаютъ пользоваться всѣмъ лучеспусканіемъ вещества, но только лучами наибольшей проникаемости (лучами  $\beta$  и  $\gamma$ ). Этотъ конденсаторъ состоитъ изъ электрода *A*,

связаннаго съ электрометромъ и имѣющаго видъ диска, и электрода *B*, имѣющаго видъ цилиндра, помѣщеннаго такъ, какъ указано на чертежѣ, и связаннаго съ батареей. Основаніе этого цилиндра образуетъ тонкая алюминіевая пластинка *L*, сквозь кото-



Черт. 39

рую проходятъ лучи активнаго вещества, помѣщаемого снизу на переменномъ разстояніи отъ прибора. Ящикъ *D*, связанный съ землею, обезпечиваетъ электростатическую защиту. Электродъ *A* удерживается стержнемъ, проходящимъ сквозь изолирующую часть, укрѣпленную въ коробкѣ *D*; употребленіе предохранительнаго кольца, такимъ образомъ, не необходимо. Алюминіевая пластинка *L* можетъ быть замѣнена металлическою тканью (мелкою сѣткою).

Для установленія сообщеній между различными частями изолированной системы необходимо употреблять металлическія нити, защищенныя съ электрической точки зрѣнія футлярами, связанными съ землею. Для достиженія этого результата располагаютъ нить по оси металлической трубки. Но всё же необходимо заполнить пространство между нитью и трубкою изолирующимъ твердымъ веществомъ, такимъ, какъ парафинъ или эбонитъ. Дѣйствительно, между нитью и футляромъ существуетъ электродвижущая сила соприкосновенія; если промежуточное пространство заполнено воздухомъ, этотъ воздухъ обладаетъ всегда нѣкоторою проводимостью, очень слабою при нормальныхъ условіяхъ, но болѣе значительною въ радиоактивныхъ лабораторіяхъ; особенно вблизи радиоактивнаго вещества, могущаго испускать проникающіе лучи. Тогда между нитью и футляромъ образуется болѣе или менѣе значительный электрический токъ; этотъ токъ почти совсѣмъ исчезаетъ, когда воздухъ замѣненъ твердымъ изоляторомъ. Можно пользоваться эбонитовыми стержнями; металлическая нить, которая должна служить для установленія сообщенія, проходитъ по оси такого стержня, плотно вставленнаго въ металлическую трубку, которая должна

быть соединена съ землею. Можно также залить парафиномъ кольцевое пространство между трубкою и центральною нитью; однако на концахъ предпочтительнѣе употребить эбонитъ или янтарь, потому что поверхность этихъ изоляторовъ сохраняется легче въ хорошемъ состояніи, чѣмъ поверхность парафина.

Полезно располагать ключами, съ помощью которыхъ можно прекращать соприкосновеніе электрометра съ землею, не вызывая электростатическаго волненія. Такіе ключи можно присоединять къ электрометру или къ пьезоэлектрическому кварцу. Наилучшая форма соприкосновенія, повидимому, можетъ быть осуществлена платиновою иглою, приходящею въ соприкосновеніе съ небольшою платиновою же плоскостью. Ключъ можно приводить въ движеніе либо рукою, либо посредствомъ электромагнитнаго расположенія.

§ 31. Диски-эталоны. — При измѣреніяхъ радіоактивности въ обычаѣ пользоваться *радіоактивными дисками-эталонами*. Эти диски съ одной стороны предназначаются для повѣрки простымъ способомъ чувствительности измѣрительнаго прибора, съ другой стороны служатъ терминомъ сравненія для относительныхъ измѣреній. Ихъ также можно употреблять для осуществленія компенсаціи тока въ описанномъ выше методѣ нуля. Эти диски-эталоны готовятся, вообще, изъ окиси урана, вещества неизмѣнной активности, имѣющей притомъ, преимущественно не производить слишкомъ ощутительнаго испусканія проникающихъ лучей.

Можно употреблять окись урана или зеленую  $U^3O^8$  или черную  $U^2O^6$ ; слѣдуетъ растереть ихъ въ очень мелкій порошокъ. Полезно снабдить очень низкимъ ( $0^{mm},5$ ) бортомъ металлическій дискъ, предназначенный для принятія вещества. Это послѣднее удастся получить въ видѣ однороднаго прилипшаго слоя, растворяя порошокъ хлороформомъ или другою органическою летучею жидкостью, сѣбявая тонкую кашицу, не содержащую немного взбухшихъ крупинокъ, и выливая массу на дискъ; жидкость испаряется, и остается активная матерія въ видѣ прилипшей кожицы<sup>(1)</sup>. Нужно тщательно сохранять въ закрытомъ ящикѣ приготовленные такимъ образомъ диски-эталоны.

Предположимъ, что измѣряется по методу пьезоэлектрическаго кварца токъ, полученный посредствомъ диска-эталона съ окисью

(<sup>1</sup>) Mac Coy, *Phil. Mag.*, 1906 г.  
К.—I

урана въ опредѣленномъ конденсаторѣ, и что для этого измѣренія употребляются послѣдовательно различныя кварцовыя пластинки, эталонированныя въ абсолютной величинѣ. Пусть  $q$  будетъ количество электричества, выдѣляемое килограммомъ въ абсолютныхъ электростатическихъ единицахъ, и  $p$ —число, измѣряющее въ грамахъ на секунду измѣненіе въ силѣ растяженія, которому должно подвергнуть пластинку въ единицу времени, чтобы возникающій отъ этого токъ компенсировалъ точно токъ, полученный съ дискомъ-эталонемъ. Обозначая этотъ послѣдній черезъ  $i$ , можно писать:

$$i = \frac{pq}{1000}.$$

Такъ какъ токъ  $i$  одинъ и тотъ же во всѣхъ случаяхъ, то произведеніе  $pq$  должно имѣть одно и то же значеніе для всѣхъ пластинокъ; это произведеніе дано въ послѣднемъ столбцѣ слѣдующей таблицы:

Нумера пластинокъ	$q$	$p$	$pq$
1 . . . . .	6,43	14,40	926
2 . . . . .	6,93	13,29	921
3 . . . . .	7,87	11,65	917
4 . . . . .	8,49	10,87	922
5 . . . . .	8,43	10,83	913
6 . . . . .	8,79	10,46	919
7 . . . . .	6,11	14,94	914

Мы видимъ, что, вообще, согласіе большое и что, слѣдовательно, измѣренія, произведенныя съ дискомъ-эталонемъ, могутъ служить для эталонированія кварцовыхъ пластинокъ въ функціи одной изъ нихъ, постоянная которой извѣстна. Чтобы придать этому сравненію всю желаемую степень точности, нужно его производить при одинаковыхъ условіяхъ температуры и давленія, если конденсаторъ, содержащій дискъ-эталонъ, не имѣетъ вполне непроницаемаго закрытія, что чаще всего и случается.

**§ 32. Вліяніе разстоянія между электродами, давленія и температуры воздуха на результаты измѣреній.**—При измѣреніи тока насыщенія, обязаннаго радиоактивному веществу, помѣщенному на дискѣ  $B$  конденсатора, подобнаго изображенному на *черт.* 37, замѣчаемъ, что этотъ токъ измѣняется вмѣстѣ съ разстояніемъ между дисками. Напр., если изслѣдуемое вещество есть окись урана, нанесенная



на дискъ *B* въ видѣ слоя равномерной толщины, то токъ увеличивается вмѣстѣ съ разстояніемъ между дисками, но увеличение становится все болѣе и болѣе медленнымъ, и токъ достигаетъ практически предѣльнаго значенія, когда разстояніе между дисками является равнымъ приблизительно  $4\text{ см}$ . Тогда говорятъ, что лучеиспусканіе урановой окиси практически поглотилось воздушнымъ слоемъ въ  $4\text{ см}$  толщины, такъ что за этимъ разстояніемъ отъ активного вещества воздухъ не іонизируется сколько-нибудь замѣтно. Такимъ образомъ распределеніе іонизаціи въ функціи отъ разстоянія до активного вещества можетъ характеризовать способъ, которымъ лучи, испускаемые этимъ веществомъ, поглощаются іонизируемымъ ими воздухомъ. Впрочемъ, замѣчаемъ, что опредѣляемое такимъ образомъ поглощеніе пропорціонально плотности воздуха или другого употребляемаго газа, т.-е. что оно измѣняется въ прямомъ отношеніи къ давленію и въ обратномъ отношеніи къ абсолютной температурѣ. Слѣдовательно, токъ насыщенія, который можно получить съ активнымъ веществомъ, можетъ также зависѣть отъ массы газа, содержимой между электродами единицею ихъ поверхности. Если эта масса достаточна для полного поглощенія лучеиспусканія, токъ насыщенія не зависить отъ разстоянія между электродами, также какъ и отъ давленія и температуры газа.

Лучи, испускаемые радіоактивными веществами, могутъ быть съ этой точки зрѣнія весьма различной природы. Такъ лучи группы  $\alpha$ , составляющіе чаще всего главную часть іонизирующаго лучеиспусканія, имѣютъ въ воздухѣ ограниченный пробѣгъ, длина котораго измѣняется въ отношеніи, обратномъ плотности воздуха. Этотъ пробѣгъ часто простирается всего лишь на нѣсколько сантиметровъ, и тогда легко использовать сполна іонизацію вдоль пробѣга, при условіи, однако, распоряженія зарядною батареей, дающей достаточный вольтажъ для насыщенія. Это именно такъ для полонія, іонизирующее дѣйствіе котораго вполне исчерпывается на  $4\text{ см}$  разстоянія отъ него въ воздухѣ подъ нормальнымъ давленіемъ и при обыкновенной температурѣ. Но существуютъ другія группы лучей (лучи  $\beta$  и  $\gamma$ ), которые поглощаются воздухомъ болѣе постепенно и для которыхъ іонизирующее дѣйствіе не можетъ, вообще, быть исчерпано. Плотность тока увеличивается тогда непрерывно съ разстояніемъ между электродами или съ плотностью воздуха, лишь бы только поддерживалось насыщеніе и разстояніе между дисками оставалось бы малымъ по сравненію съ ихъ діаметромъ.

Разсмотримъ простую гипотезу, по которой іонизація измѣнялась бы по закону показательной функции отъ разстоянія до активного вещества. Эта гипотеза оправдывается приближенно въ нѣкоторыхъ случаяхъ. Пусть  $n$  будетъ концентрація іоновъ на разстояніи  $x$  отъ активного вещества и  $d$ —разстояніе между дисками. По предположенію имѣемъ:

$$n = n_0 e^{-\lambda x},$$

гдѣ  $n_0$ —концентрація іоновъ въ соприкосновеніи съ активнымъ веществомъ и  $\lambda$ —постоянный коэффициентъ, называемый *коэффициентомъ поглощенія*.

Полное число  $Q$  іоновъ, произведенныхъ между дисками единицею поверхности, слѣдующее:

$$Q = \int_0^d n dx = \frac{n_0}{\lambda} (1 - e^{-\lambda d}).$$

При очень маломъ  $\lambda$  имѣемъ приближенно  $Q = n_0 d$ ; іонизація тогда равномерна между дисками, и токъ насыщенія пропорціоналенъ разстоянію между ними. Этотъ случай можетъ быть осуществленъ съ лучами Рѣнтгена или съ сильно проникающими лучами радіоактивныхъ веществъ, при чемъ не принимается во вниманіе образованіе вторичныхъ лучей, поглощаемыхъ металломъ электродовъ. Если  $\lambda$  значительнѣе,  $Q$  возрастаетъ все медленнѣе и медленнѣе съ увеличеніемъ разстоянія между дисками при поддержаніи насыщенія и сохраненія теоретической формы конденсатора.

Предѣльное значеніе  $Q$ , равное  $\frac{n_0}{\lambda}$ , достигается теоретически только при бесконечно-большомъ значеніи  $d$ ; однако, когда коэффициентъ  $\lambda$  достаточно великъ, можно приблизиться къ предѣльному значенію съ довольно большимъ приближеніемъ при такомъ разстояніи между дисками, которое можетъ быть использовано на практикѣ.

Такъ какъ іонизирующее дѣйствіе лучей, пока поглощеніе слабо, пропорціонально давленію  $p$  газа, то можно допустить, что  $n_0$  пропорціонально  $p$ . Точно также опытъ показываетъ, что коэффициентъ  $\lambda$  такой, опредѣленіе котораго дается соотношеніемъ  $n = n_0 e^{-\lambda x}$ , измѣняется пропорціонально давленію. Поэтому можно писать:

$$n_0 = n_0' p, \quad \lambda = \lambda' p,$$

гдѣ  $n_0'$  и  $\lambda'$ —постоянныя, не зависящія отъ  $p$ . Тогда имѣемъ:

$$Q = \frac{n_0'}{\lambda'}(1 - e^{-\lambda'pd}).$$

и видимъ, что  $Q$  стремится къ предѣльному значенію  $\frac{n_0'}{\lambda'}$  при достаточномъ значеніи произведенія  $pd$ , при чемъ обѣ эти переменныя играютъ одинаковую роль.

Можно предположить, что лучеспусканіе, проникающее въ конденсаторъ, идетъ отъ активнаго вещества, помѣщеннаго внѣ его на разстояніяхъ  $d_1$  и  $d_2$  отъ двухъ его дисковъ. Количество  $Q$  вычисляется тогда по формулѣ

$$Q = \int_{d_1}^{d_2} n dx = \frac{n_0}{\lambda} (e^{-\lambda d_1} - e^{-\lambda d_2}) = \frac{n_0'}{\lambda'} (e^{-\lambda'pd_1} - e^{-\lambda'pd_2}).$$

Мы видимъ, что въ этомъ случаѣ  $Q$  способно пройти черезъ максимумъ при нѣкоторомъ значеніи  $p$ , выводимомъ изъ соотношенія

$$\frac{dQ}{dp} = n_0'(d_2 e^{-\lambda'pd_2} - d_1 e^{-\lambda'pd_1}) = 0,$$

или

$$e^{-\lambda'p(d_2-d_1)} = \frac{d_1}{d_2}.$$

Ионизація, обязанная радиоактивнымъ веществамъ, вообще, не равномерна въ пространствѣ, смежномъ съ веществомъ, но въ соприкосновеніи съ этимъ послѣднимъ она сводится все же лишь къ очень тонкому слою. Если использовать въ конденсаторѣ съ дисками ионизацію, производимую на протяженіи нѣсколькихъ сантиметровъ длины въ непосредственной или не непосредственной близости съ веществомъ, то эта ионизація окажется ни совершенно равномерною, ни явно поверхностною; однако она можетъ боѣе или менѣе приближаться къ одному изъ этихъ двухъ типовъ, и кривая, изображающая зависимость между интенсивностью тока  $i$  и разностью потенциаловъ  $V$  между дисками, принимаетъ формы, близкія къ тѣмъ, которыя характеризуютъ оба эти типа.

Такъ получается кривая, подобная изображенной на *черт. 3*, при употребленіи конденсатора, для котораго разстояніе между дисками равно  $3\text{ см}$  и въ которомъ ионизація получается посред-

ством равномернаго и тонкаго слоя урановой окиси, нанесенной на нижній дискъ. Если, напротивъ, расстояние между дисками равно  $10^{\text{см}}$ , кривая  $i = f(V)$  принимаетъ промежуточный видъ между изображенными на *чертежахъ* 3 и 7. Можно получить кривую, напоминающую довольно точно изображенную на *черт. 7*, употребляя конденсаторъ, диски котораго отстоятъ другъ от друга на  $10^{\text{см}}$ , и энергично ионизируя воздухъ вблизи одного изъ нихъ сѣтью замѣтно ему параллельныхъ лучей полонія, ограниченной незначительной толщиной въ соприкосновеніи съ дискомъ. Аналогичный же результатъ получится, если нижнимъ дискомъ служить металлическая ткань (мелкая сѣтка) и если полоній помещается подъ этою тканью на расстоянии  $3^{\text{см}}$ ; лучи полонія проникаютъ въ этомъ случаѣ въ конденсаторъ только на расстояние, меньшее одного сантиметра.

## ГЛАВА ТРЕТЬЯ

### Радиоактивность урана и торія. Радиоактивные минералы

§ 33. Открытіе радиоактивности. — Радиоактивность есть новое свойство матеріи, открытое въ 1896 г. Генрихомъ Беккерелемъ. Вотъ исторія этого открытія, столь важнаго для развитія современной Физики.

Начало трудовъ Беккереля связано съ послѣдовавшими за открытіемъ лучей Рѣнтгена изысканіями надъ фотографическими дѣйствіями фосфоресцирующихъ и флуоресцирующихъ веществъ.

Первыя трубки, производящія Рѣнтгеновыя лучи, были трубки безъ металлическаго антикатада. Источникъ Рѣнтгеновыхъ лучей находился на стеклянной стѣнкѣ, въ которую ударялись катодныя лучи; одновременно эта стѣнка сильно флуоресцировала. Тогда можно было задаться вопросомъ, не должно ли было образованіе флуоресценціи, какова бы ни была ея причина, необходимо сопровождаться испусканіемъ Рѣнтгеновыхъ лучей. Эта мысль была тотчасъ же высказана Генрихомъ Пуанкаре<sup>(1)</sup>.

Немного времени спустя разные экспериментаторы указали на возможность получать фотографическіе оттиски сквозь черную бумагу при помощи фосфоресцирующаго сѣрнистаго цинка, сѣрнистаго кальція, выставленнаго на свѣтъ, и фосфоресцирующей искусственной гексагональной цинковой обманки<sup>(2)</sup>. Только-что цитированные опыты воспроизвести не удалось, несмотря на многочислен-

---

(1) Henri Poincaré, *Revue générale des Sciences*, 30 января 1896 г.

(2) Henry, *Comptes rendus*, т. СХХII.—Niewenglowski, *Comptes rendus*, т. СХХII.—Troost, *Comptes rendus*, т. СХХII.

ныя попытки въ этомъ направленіи. Значить, никоимъ образомъ нельзя считать доказаннымъ, что сѣрнистый цинкъ и сѣрнистый кальцій способны, подъ дѣйствіемъ свѣта, къ невидимымъ излученіямъ, проходящимъ сквозь черную бумагу и дѣйствующимъ на фотографическія пластинки.

Г. Беккерель произвелъ аналогичные опыты надъ урановыми солями, нѣкоторыя изъ которыхъ флуоресцируютъ<sup>(1)</sup>. Онъ получилъ фотографическіе оттиски сквозь черную бумагу, работая съ двойною сѣрнокислою солью уранила и калия. Беккерель думалъ сначала, что эта флуоресцирующая соль дѣйствовала подобно сѣрнистымъ цинку и кальцію въ только-что описанныхъ по этому предмету опытахъ. Но рядъ опытовъ показалъ, что наблюдаемое явленіе никоимъ образомъ не было связано съ флуоресценціею. Не необходимо, чтобы соль была освѣщена; кромѣ того, уранъ и всѣ его соединенія, флуоресцирующія или нѣтъ, дѣйствуютъ точно такъ же, и металлическій уранъ наиболѣе активенъ. Беккерель нашелъ потомъ, что урановыя соединенія продолжаютъ въ полной темнотѣ дѣйствовать на фотографическія пластинки сквозь черную бумагу нѣлыми годами. Беккерель допустилъ, что уранъ и его соединенія испускаютъ особенные лучи: *урановые лучи*. Онъ доказалъ, что эти лучи могутъ проходить сквозь тонкіе металлическіе экраны и что они разряжаютъ наэлектризованныя тѣла. Онъ произвелъ также опыты, изъ которыхъ заключилъ, что урановые лучи испытываютъ отраженіе, преломленіе и поляризацию.

Труды другихъ физиковъ (Elster и Geitel, Lord Kelvin, Schmidt, Rutherford, Beattie и Smoluchowski) подтвердили и распространили результаты изысканій Г. Беккереля, за исключеніемъ того, что касается отраженія, преломленія и поляризаціи урановыхъ лучей, которые въ этомъ отношеніи отличны отъ свѣта, что сначала было признано Рутерфордомъ, а потомъ и самимъ Беккерелемъ.

§ 34. Урановые лучи.—Итакъ, урановые лучи обладаютъ слѣдующими основными свойствами: они дѣйствуютъ на фотографическія пластинки, защищенные отъ свѣта; они могутъ проходить сквозь твердыя, жидкія и газообразныя вещества, при условіи, что ихъ толщина достаточно слаба; проходя сквозь газы, они превращаютъ ихъ слегка въ проводники электричества.

(1) Becquerel, *Comptes rendus*, 1896 г. (нѣсколько замѣтокъ).

Эти свойства урановыхъ соединеній нельзя приписать ни одной изъ извѣстныхъ причинъ. Лучеспусканіе кажется самопроизвольнымъ; оно не уменьшается въ интенсивности, когда урановыя соединенія по цѣлымъ годамъ сохраняются въ полной темнотѣ; значитъ, здѣсь дѣло идетъ не о какой-либо особой фосфоресценціи, производимой свѣтомъ.

Самопроизвольность и постоянство урановаго лучеспусканія являлись физическимъ явленіемъ совершенно необычайнымъ. Беккерель сохранялъ кусокъ урана въ теченіи многихъ лѣтъ въ темнотѣ и констатировалъ, что по прошествіи этого времени дѣйствіе на фотографическую пластинку не измѣнилось чувствительно. Elster и Geitel произвели аналогичный опытъ и точно такъ же нашли, что дѣйствіе было постояннымъ<sup>(1)</sup>.

Я измѣрила интенсивность лучеспусканія урана, используя дѣйствіе этого лучеспусканія на проводимость воздуха. Расположеніе измѣрительныхъ приборовъ было такое, какъ показано на *черт.* 32. Металлическій дискъ, покрытый слоемъ урана въ порошокъ, былъ положенъ на дискъ *B* измѣрительнаго конденсатора, и посредствомъ электрометра, присоединеннаго къ пьезоэлектрическому кварцу, измѣрялся токъ насыщенія, который можно было получить между дисками. Дискъ съ ураномъ не сохранялся въ темнотѣ, такъ какъ это условіе, согласно вышеприведеннымъ опытамъ, не могло имѣть значенія. Я получила числа, доказывающія постоянство лучеспусканія въ предѣлахъ точности опыта, и въ теченіи промежутка времени въ нѣсколько лѣтъ. Аналогичныя измѣренія большей точности продолжаются уже болѣе двухъ лѣтъ надъ дискомъ-эталономъ съ урановою окисью, сохраняемою съ особою тщательностью; активность этого диска оставалась постоянною съ августа 1907 г. съ ошибкою менѣе 1%.

Для этихъ измѣреній берется все лучеспусканіе активнаго вещества. Разстояніе между дисками употребляемаго конденсатора равно 3<sup>см</sup>. Разстояніе, на которое распространяется въ воздухъ наиболѣе важная группа урановыхъ лучей (группа  $\alpha$ ), содержится между 3<sup>см</sup> и 4<sup>см</sup>; такимъ образомъ, было бы предпочтительнѣе употреблять конденсаторъ, диски котораго раздвинуты на 4<sup>см</sup>, чтобы использовать все дѣйствіе лучей  $\alpha$ . Однако уже въ условіяхъ опыта

---

<sup>(1)</sup> Becquerel, *Comptes rendus*, т. CXXVIII, стран. 771. — Elster и Geitel, *Weibl.*, т. XXI, стран. 455.

поглощаемые лучи урана использованы достаточно полно, чтобы отвергнуть всякое ощутительное влияние давления и температуры воздуха, содержащагося въ конденсаторѣ, на значеніе тока.

Опытъ показываетъ, что дѣйствіе урановыхъ соединеній можетъ происходить сквозь экраны различной природы, при условіи, что эти послѣдніе достаточно тонки; дѣйствительно, прохожденіе сквозь всякую матерію влечетъ за собою уменьшеніе интенсивности лучеспусканія. Это уменьшеніе, или *поглощеніе*, зависитъ въ первомъ приближеніи только отъ плотности проходимой матеріи и растетъ вмѣстѣ съ этою плотностью. Такъ урановое лучеспусканіе поглощается въ большей своей части при прохожденіи сквозь воздушный слой толщиной отъ 3<sup>см</sup> до 4<sup>см</sup> или сквозь алюминій толщиной около 0<sup>мм</sup>,02; алюминиевая пластинка толщиной въ 0<sup>мм</sup>,01 пропускаетъ часть интенсивности лучеспусканія, равную приблизительно 20% всего лучеспусканія, при чемъ измѣреніе произведено по электрическому методу.

Отсюда мы видимъ, что если по своимъ фотографическимъ эффектамъ и своей ионизирующей силѣ урановые лучи приближаются къ лучамъ Рѣнтгена, ихъ способность прониканія сквозь матерію, однако, весьма отлична и гораздо ниже такой же способности Рѣнтгеновыхъ лучей; эти послѣдніе могутъ, напр., распространяться въ воздухѣ на разстоянія порядка въ 1<sup>м</sup> и проходить сквозь алюминиевый экранъ толщиной болѣе 1<sup>мм</sup>.

Дѣйствіе урановыхъ соединеній представляется, по крайней мѣрѣ, въ первомъ приближеніи, какъ лучеспусканіе, т.-е. такъ, что это дѣйствіе останавливается темными экранами безъ ихъ закругленія; такъ экранъ, вставленный между излучающимъ источникомъ и фотографическою пластинкою, даетъ тѣнь, даже когда онъ не находится въ непосредственномъ соприкосновеніи съ пластинкою. Однако трудно доказать прямолинейное распространеніе урановаго лучеспусканія, потому что оно слишкомъ слабо и не можетъ служить источникомъ небольшихъ размѣровъ на достаточномъ разстояніи отъ пластинки. Опыты, произведенные съ сильно радиоактивными веществами (§ 102), даютъ доказательство, что лучи, испускаемые этими веществами, обладаютъ прямолинейнымъ распространеніемъ.

Слѣдующіе опыты Рутерфорда (1) доказываютъ, что въ против-

(1) Rutherford, *Phil. Mag.*, 1899 г.



ность результатамъ, высказаннымъ первоначально Г. Беккерелемъ, урановые лучи не испытываютъ ни правильнаго отраженія, ни поляризаціи.

Активное вещество, окись урана, покрывается толстымъ свинцовымъ экраномъ съ продѣланною въ немъ довольно узкою щелью. Сѣтъ лучей вырывается изъ щели и является ограниченной краями этой послѣдней. Передъ щелью помѣщается призма ребромъ параллельно щели. За призмою на разстояніи 5<sup>мм</sup> отъ щели находится фотографическая пластинка, чувствительный слой которой обращенъ кънизу. Продолжительность экспозиціи 8 дней. Явный оттискъ по вскрытіи пластинки имѣетъ видъ черной полосы какъ разъ противъ щели безъ малѣйшаго признака отклоненія.

Въ другомъ опытѣ окись урана помѣщалась на днѣ углубленія въ свинцовой пластинкѣ *A*. Очень тонкая турмалиновая пластинка, грани которой параллельны оптической оси, кладется на пластинку *A*; она покрывается двумя другими тонкими турмалиновыми пластинками, грани которыхъ также параллельны оси и которыя придвинуты одна къ другой до соприкосновенія и притомъ такъ, что для одной изъ нихъ ось имѣетъ то же направленіе, что и ось нижняго турмалина, тогда какъ для другой она составляетъ прямой уголъ съ этимъ направленіемъ. Половина лучеиспусканія проходитъ, такимъ образомъ, сквозь два турмалина, оси которыхъ совпадаютъ по направленію, тогда какъ другая половина проходитъ сквозь два турмалина, оси которыхъ перекрещиваются. Фотографическая пластинка *P* помѣщается на турмалиновыхъ пластинкахъ чувствительнымъ слоемъ внизъ. На полученномъ черезъ нѣсколько дней оттискѣ не замѣчается никакого различія между частями, отвѣчающими лучеиспусканіямъ, прошедшимъ соответственно сквозь два придвинутыхъ другъ къ другу турмалина.

Аналогичные опыты, произведенные Г. Беккерелемъ съ ураномъ и позднѣе съ радіемъ, дали результаты, согласные съ предыдущими. Опыты, произведенные съ вогнутыми зеркалами, не дали ни малѣйшаго указанія на правильное отраженіе. Во всѣхъ опытахъ этого рода необходимо тщательно устранять дѣйствіе свѣтовыхъ лучей, испускаемыхъ нѣкоторыми радиоактивными веществами.

**§ 35. Ионизація урановыми лучами.**—Въ обширной работѣ Рутерфордъ показалъ, что электрическая проводимость воздуха, подвергнутаго дѣйствию урановыхъ лучей, той же природы, что и проводимость, вызываемая въ воздухѣ Рентгеновыми лучами, и

что, значитъ, можно допустить въ урановыхъ лучахъ способность іонизировать воздухъ, черезъ который они проходятъ (<sup>1</sup>). Рутерфордъ кромѣ того показалъ, что подвижности іоновъ, образующихся въ воздухѣ подъ дѣйствіемъ урановыхъ лучей, замѣтно тѣ же самыя, что и подвижности іоновъ, создаваемыхъ Рѣнтгеновыми лучами. Измѣренія были произведены по методу газоваго потока, аналогичнаго въ принципѣ позднѣйшему методу Зеленел, описанному въ этой книгѣ (§ 7). Измѣренія подвижности, производившіяся съ этого времени надъ іонами, образующимися подъ дѣйствіемъ лучей полонія или радія, установили, что эти лучи іонизируютъ воздухъ точно такъ же, какъ лучи Рѣнтгена; въ этомъ же мы находимъ доказательство и того факта, что, согласно работамъ Тоунзенда, коэффициентъ диффузіи іоновъ въ содержащемъ ихъ газѣ одинъ и тотъ же въ обоихъ случаяхъ (§ 10). Іоны, о которыхъ идетъ здѣсь рѣчь, извѣстны подъ именемъ *обыкновенныхъ газовыхъ малыхъ іоновъ*.

Разсмотримъ расположеніе приборовъ, изображенное на *черт. 32*, при чемъ вещество, производящее токъ, есть урановое соединеніе въ порошокѣ, нанесенное равномернымъ слоемъ на металлическій дискъ, имѣющій одинаковый діаметръ съ дискомъ *B* и наложенный на этотъ послѣдній. Дискъ *A* можно составитъ изъ главной центральной части, которая одна лишь и утилизируется въ опытѣ, и кольцевой части, соединенной съ землею и образующей предохранительное кольцо. Это расположеніе обезпечиваетъ равномерность поля въ утилизируемой области, также какъ и равномерную утилизацию лучеиспусканія въ той же области, пока разстояніе между дисками остается достаточно малымъ по сравненію съ ихъ діаметромъ. Интенсивность тока на центральной части диска *A* измѣряется посредствомъ электрометра, присоединеннаго къ пьезо-электрическому кварцу, для различныхъ значеній разности потенциаловъ между дисками.

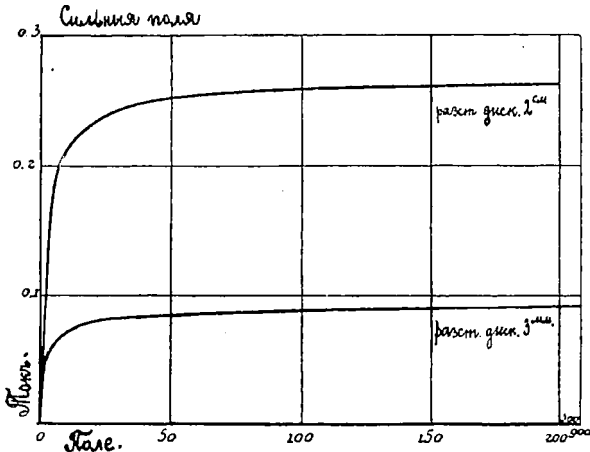
Послѣ нѣсколькихъ измѣреній этого рода убѣждаемся, что радиоактивность есть явленіе, поддающееся измѣренію съ большою точностью. На него не вліяютъ колебанія окружающей температуры или освѣщеніе активнаго вещества. Интенсивность тока, проходящаго черезъ конденсаторъ, увеличивается вмѣстѣ съ поверхностью

---

(<sup>1</sup>) Rutherford, *Phil. Mag.*, 1899 г.

дисковъ и остается ей пропорціональною, пока разстояніе между дисками достаточно мало. Она также увеличивается вмѣстѣ съ разстояніемъ между дисками, но только до извѣстнаго предѣла; начиная съ разстоянія, содержащагося между  $3\text{ см}$  и  $4\text{ см}$ , токъ уже не измѣняется ощутительнымъ образомъ съ увеличеніемъ раздвига между дисками.

Вотъ, въ качествѣ примѣра, кривыя (черт. 40), изображающія интенсивность тока въ функціи средняго поля, возбужденнаго между

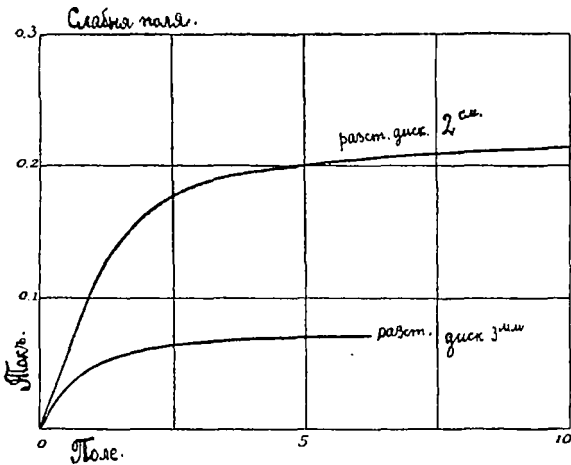


Черт. 40

дисками, для двухъ разныхъ между ними разстояній. Черт. 40 показываетъ, что интенсивность тока является постоянною для высокихъ значеній поля. Черт. 41 представляетъ тѣ же кривыя при другомъ масштабѣ и содержитъ только результаты, относящіяся къ слабымъ разностямъ потенциаловъ. Вначалѣ кривая прямолинейна, частное отъ дѣленія интенсивности тока на разность потенциаловъ постоянно для слабыхъ напряженій и представляетъ начальную проводность между дисками. Такимъ образомъ, можно различить двѣ характеристичныя постоянныя наблюдаемаго явленія: 1) *начальную проводность* для слабыхъ разностей потенциаловъ, 2) *предѣльный токъ* для сильныхъ разностей потенциаловъ. Это есть тотъ предѣльный токъ или токъ насыщенія, который былъ принятъ за мѣру радиоактивности сначала въ моихъ изслѣдованіяхъ, а затѣмъ и въ большинствѣ дальнѣйшихъ работъ въ той же области. Этотъ токъ можно было получить для напряженія отъ 400 до 500 вольтъ, при разстояніи между дисками въ  $3\text{ см}$  и при активномъ веществѣ та-

комъ, какъ соединеніе или кака-либо другая, аналогичная по активности, матерія.

Помимо разности потенциаловъ, возбуждаемой между дисками, существуетъ между этими послѣдними электродвижущая сила соприкосновенія, и обѣ эти причины тока соединяютъ вмѣстѣ свои дѣйствія; поэтому абсолютная величина интенсивности тока измѣняется съ переменною знака вѣшной разности потенциаловъ. Когда эта послѣдняя равна нулю, токъ тѣмъ не менѣе возникаетъ, и если электрометръ не поддерживается на нуль, онъ стремится принять неподвижное отклоненіе, для котораго токъ обращается въ нуль и которое даетъ возможность измѣрить электродвижущую



Черт. 41

силу соприкосновенія между двумя дисками. Можно допустить, что для слабыхъ полей токъ, который былъ бы полученъ подѣ дѣйствіемъ одной лишь вѣшной разности потенциаловъ, есть средняя изъ токовъ, полученныхъ подѣ дѣйствіемъ обоого рода разностей. Вычисленный такимъ образомъ токъ и былъ использованъ для построенія кривыхъ. Когда вѣшняя разность потенциаловъ достаточно большая, дѣйствіе электродвижущей силы соприкосновенія, не превосходящей 1 вольта, является ничтожнымъ, и интенсивность тока тогда одна и та же, каково бы ни было направленіе поля между дисками.

Мы видимъ, что кривая  $i = f(V)$  принимаетъ, въ условіяхъ опыта, видъ, соответствующій объемному образованію іоновъ, не слишкомъ удаляющемуся отъ равномернаго распредѣленія. Однако

достоверно, что ионизация в этих условиях особенно интенсивна вблизи активного диска. При больших расстояниях между дисками возможно получить кривые, делающие этот факт очевидным; для слабых полей ток растет тогда быстрее разности потенциалов между дисками, и интенсивность тока зависит от направления поля таким образом, что она, пока насыщение далеко, больше при отрицательном заряде активного диска, чем в противоположном случае; такая диссимметрия вытекает из разности подвижностей между положительными и отрицательными ионами.

Как мною уже указано, урановое лучеиспускание постоянно в пределах времени наблюдений и в пределах точности опытов. Эту точность в действительности можно оценить не больше, как в 2% или 3% для первых опытов в течении нескольких лет; она оценивается в 1% для более свежих опытов за время еще только двух с половиною лет. Постоянство уранового лучеиспускания было предметом глубокого удивления для физиков, заинтересовавшихся первыми открытием Г. Беккереля. Это постоянство в самом деле является изумительным лучеиспускание не изменяется, повидному, самопроизвольно с течением времени, и на него не влияет изменение таких внешних условий, как освещение или температура. Г. Беккерель констатировал, что урановый шар, связанный с электроскопом и подвешенный в середине помещения, соединенного с землею и окруженного водою при переменной температурѣ, разряжается одинаково быстро как при 7°, так и при 83°. В этом опыте урановые лучи были почти совершенно поглощены воздухом. Опыты, произведенные при температурѣ жидкого воздуха и не поддающиеся такому прямому истолкованию, будут описаны дальше (§ 147). Они привели к допущению независимости лучеиспускания от температуры в весьма широких пределах. Различные экспериментаторы констатировали, что интенсивность лучеиспускания не изменялась при сильном освещении уранового соединения посредством обыкновенного или ультрафиолетового света. Итак, можно было задаться вопросом, что это за причина, поддерживавшая лучеиспускание.

По своим свойствам урановые лучи казались аналогичными некоторым другим известным лучеиспусканиям. Их можно было сближать с катодными лучами, с лучами положительными, с лучами Рентгена или с вторичными лучами от металлов,

когда о нихъ ударяются лучи Рѣнтгена. Чтобы разобраться среди этихъ различныхъ гипотезъ, необходимо было болѣе глубокое изученіе и такое изученіе оказывалось труднымъ, если не невозможнымъ, по слабости лучеспусканія. Теперь мы знаемъ, что всеъ указанныя аналогиі прилагаются къ лучеспусканію радиоактивныхъ тѣлъ. Если бы, въ частности, урановые лучи были вторичными лучами, обязанными сильно проникающему лучеспусканію, разсѣкающему пространство и могущему поглощаться и преобразовываться ураномъ, то можно было бы, напр., искать въ солнцѣ происхожденія этого лучеспусканія-возбудителя, и думать, что, сколь бы проникающимъ оно ни было, оно могло бы поглотиться сполна или частію при своемъ прохожденіи сквозь цѣлую землю. Исходя изъ этой мысли, М. Кюри измѣрилъ интенсивность лучеспусканія урана въ полдень и въ полночь, но не нашелъ никакой разницы. Elster и Geitel, руководясь тою же мыслью, измѣрили интенсивность лучеспусканія урана на поверхности земли и на днѣ рудника въ 850<sup>м</sup> глубины; въ обоихъ случаяхъ они получили одинъ и тотъ же результатъ.

**§ 36. Изученіе урановыхъ соединеній.**—Я предприняла въ 1897 г. работу, поставивъ себѣ цѣлью изслѣдовать, не находятся ли любопытныя свойства урана въ другихъ тѣлахъ. Расположеніе приборовъ въ опытахъ было такое, какъ показано на *черт.* 32. Различныя вещества растирались въ порошокъ и наносились равномернымъ слоемъ на схожіе между собою диски, имѣющіе одинаковый діаметръ съ дискомъ *B* и предназначенные для накладыванія на этотъ послѣдній вмѣстѣ съ нанесеннымъ на нихъ веществомъ. Измѣрялся, по методу пьезоэлектрическаго кварца, токъ насыщенія, получавшійся въ конденсаторѣ *AB*. Разстояніе между дисками было 3<sup>см</sup> и ихъ діаметръ въ 8<sup>см</sup>.

Я прежде всего подвергла испытанію въ послѣдовательномъ порядкѣ различныя соединенія урана. Г. Беккерель уже констатировалъ, что урановыя соединенія всеъ активны, и вывелъ заключеніе, что своею активностью они обязаны присутствію элемента урана; равнымъ образомъ онъ показалъ, что уранъ активнѣе своихъ соединеній; его опыты производились по радиографическому методу и не допускали измѣреній. Я выполнила эти опыты по указанному электрическому методу, и вотъ числа, полученныя мною съ различными урановыми соединеніями; черезъ *i* я обозначаю интенсивность тока въ амперахъ:

	$i \times 10^{11}$
Металлическій уранъ (содержащій углеродъ) . . . . .	2,3
Черная окись урана $U^2O^5$ . . . . .	2,6
Зеленая окись урана $U^3O^6$ . . . . .	1,8
Водная урановая кислота . . . . .	0,6
Уранокислый натрій . . . . .	1,2
Уранокислый калий . . . . .	1,2
Уранокислый аммоній . . . . .	1,3
Сѣрниокислый уранъ . . . . .	0,7
Сѣрниокислый уранилъ и сѣрниокислый калий . . . . .	0,7
Азотнокислый уранилъ . . . . .	0,7
Фосфорнокислая мѣдь и фосфорнокислый уранилъ . . . . .	0,9
Сѣристая окись урана . . . . .	1,2

Толщина слоя употребляемаго урановаго соединенія мало вліяеть, лишь бы только слой былъ непрерывенъ. Вотъ нѣсколько относящихся къ этому опытовъ:

	Толщина слой мм	$i \times 10^{11}$
Окись урана . . . . .	0,5	2,7
» » . . . . .	3,0	3,0
Уранокислый аммоній . . . . .	0,5	1,3
» » . . . . .	3,0	1,4

Отсюда можно заключить, что поглощеніе урановыхъ лучей испускающимъ ихъ веществомъ весьма сильно, такъ какъ лучи, идущіе изъ глубокихъ слоевъ, не могутъ произвести значительнаго дѣйствія. Также видимъ, что для приближеннаго сравненія активности различныхъ соединеній достаточно употреблять слои вещества, толщина которыхъ порядка  $0^{мм},5$ . Токъ насыщенія, который можно получить съ черною окисью урана  $U^2O^5$  въ конденсаторѣ, имѣющемъ вышеуказанные размѣры, есть поэтому порядка  $10^{-11}$  ампера.

Испытывая числа, относящіяся къ различнымъ урановымъ соединеніямъ, констатируемъ, что, вообще, активность увеличивается вмѣстѣ съ содержаніемъ урана. Кромѣ того, разныя соединенія одного вида имѣютъ весьма аналогичную активность.

**§ 37. Радиоактивность торія.**—Интересно было изслѣдовать, существуютъ ли, помимо урановыхъ соединеній, другія вещества, могущія испускать лучи, аналогичные урановымъ. Это изслѣдованіе было сдѣлано съ одной стороны Шмидтомъ, съ другой стороны мною. Замѣчается, что различные чистые продукты, металлы, соли и окиси оказываются, вообще, неактивными. Существуетъ,

однако, классъ тѣлъ, активность которыхъ сравнима съ активностью урановыхъ соединеній; это—*соединенія торія*. Этотъ результатъ сначала былъ высказанъ Шмидтомъ (1). Я съ своей стороны произвела очень полное изслѣдованіе этого предмета и пришла къ тому же результату, что и Шмидтъ, работа котораго мнѣ была еще неизвѣстна (2).

Изъ этихъ работъ вытекало, что соединенія торія испускаютъ лучи, могущіе іонизировать газы, давать оттиски на фотографическихкихъ пластинкахъ и проходить сквозь очень тонкіе экраны изъ твердаго вещества. Испусканіе представляло большія аналогіи съ урановымъ испусканіемъ; подобно этому послѣднему оно казалось самопроизвольнымъ, длительнымъ и связаннымъ съ присутствіемъ нѣкотораго простаго тѣла, торія.

Именно въ это время стало необходимымъ подыскать названіе для обозначенія новаго свойства матеріи, открытаго Г. Беккерелемъ на урановыхъ соединеніяхъ, но которое, повидимому, не принадлежало исключительно этимъ соединеніямъ. Можно сказать, что урановыя и торіевыя соединенія испускаютъ *лучи Беккереля*. Я назвала *радиоактивными* вещества, порождающія испусканіе этого рода, и дала названіе *радиоактивности* новому свойству матеріи, проявленному этими веществами. Это названіе, впервые употребленное въ сообщеніи объ открытіи полонія (3), стало потомъ общепринятымъ.

Порядокъ величины токовъ, получаемыхъ съ торіевыми соединеніями, одинаковъ съ порядкомъ токовъ, получаемыхъ съ урановыми соединеніями. Однако явленіе не носитъ столь же простаго характера, какъ съ этими послѣдними.

Числа, полученныя мною съ торіевыми соединеніями, привели меня къ слѣдующимъ положеніямъ:

1. Толщина слоя имѣетъ значительное вліяніе, въ особенности съ окисломъ.

2. Явленіе правильно только при употребленіи тонкаго активнаго слоя, (напр., 0<sup>mm</sup>,25). Напротивъ, при употребленіи толстаго слоя вещества (6<sup>mm</sup>) получаютъ числа, колеблющіяся въ широкихъ предѣлахъ, особенно въ случаяхъ окисла:

(1) Schmidt, *Annalen d. Physik*, 1898 г.

(2) M<sup>me</sup> Curie, *Comptes rendus*, апрѣль 1898 г.

(3) *Comptes rendus*, июль 1898 г.



	Толщина слоя мм	$\epsilon \times 10^{11}$
Окись торія . . . . .	0,25	2,2
» » . . . . .	0,5	2,5
» » . . . . .	2,5	4,7
» » . . . . .	3,0	5,5 в среднемъ
» » . . . . .	6,0	5,5 »
Сѣрнистый торій . . . . .	0,25	0,8

Явленіе заключаетъ причину неправильностей, не существующую въ случаѣ урановыхъ соединеній. Числа, полученные для слоя окиси толщиной въ 6<sup>мм</sup>, варьировались въ промежуткѣ между 3,7 и 7,3.

Торіевые лучи, разсматриваемые въ своей совокупности, оказываются болѣе проникающими, чѣмъ урановые лучи, и лучи, испускаемые окисью торія, взятою въ толстомъ слоѣ, болѣе проникающими, чѣмъ въ случаѣ той же окиси, но взятой въ тонкомъ слоѣ. Вотъ, напр., числа, показывающія, какую часть лучеиспусканія пропускаетъ алюминіевая пластинка толщиной въ 0<sup>мм</sup>,01:

Излучающее вещество	Часть лучеиспусканія, пропускаемаго пластинкою
Уранъ . . . . .	0,18
Окись урана U <sup>2</sup> O <sup>6</sup> . . . . .	0,20
Уранокислый аммоній . . . . .	0,20
Фосфорнокислый уранъ и фосфорнокислая мѣдь . . . . .	0,21
	мм
Окись торія толщиной въ . . . . .	0,25 0,38
» » » » . . . . .	0,5 0,47
» » » » . . . . .	3,0 0,70
» » » » . . . . .	6,0 0,70
Сѣрнистый торій толщиной въ . . . . .	0,25 0,38

Съ урановыми соединеніями поглощеніе одно и то же, каково бы ни было взятое соединеніе; это указываетъ на то, что лучи, испускаемые разными соединеніями, одной и той же природы.

Особенности торіеваго излученія были предметомъ очень подробныхъ сообщеній. Оуэнсъ<sup>(1)</sup> показалъ, что постоянство тока получается только по истеченіи довольно длиннаго промежутка

(1) Owens, *Phil. Mag.*, октябрь 1899 г.

времени въ закрытомъ приборѣ и что интенсивность тока сильно уменьшается подъ дѣйствіемъ воздушнаго потока (что не имѣеть мѣста для урановыхъ соединеній). Рутерфордъ произвелъ аналогичные опыты и истолковалъ ихъ при допущеніи, что торій и его соединенія испускаютъ не только лучи, но еще и *эманацию*, состоящую изъ крайне эфирныхъ частицъ, которыя остаются радиоактивными въ теченіе нѣкотораго времени послѣ своего истеченія и могутъ быть увлечены воздушнымъ потокомъ (1). Такимъ образомъ, эманация является въ роли радиоактивнаго газа, постоянно испускаемаго торіевыми соединеніями.

Эта гипотеза объясняетъ неправильности, наблюдаемыя при работахъ съ не вполне закрытымъ приборомъ; неизбѣжныя движенія воздуха достаточны для увлеченія накопляющейся между дисками эманации, что ведетъ къ измѣненію интенсивности утилизируемаго въ приборѣ лучеиспусканія.

Когда слой радиоактивнаго вещества (окиси торія) тонокъ, неправильности незначительны; это обстоятельство заставляетъ насъ допустить, что эманация выдѣляется изъ всей активной массы, тогда какъ лучеиспусканіе идетъ главнымъ образомъ съ поверхности слоевъ; такимъ образомъ, значеніе лучеиспусканія, обязаннаго присутствію эманации, увеличивается, по сравненію со значеніемъ лучеиспусканія твердымъ веществомъ, съ увеличеніемъ толщины активнаго слоя.

Эманация, испускаемая торіевыми соединеніями, не существуетъ неопредѣленно долгое время; она исчезаетъ самопроизвольно въ функціи отъ времени такимъ манеромъ, что интенсивность ея лучеиспусканія понижается на половину въ минуту. Эманация можетъ диффундировать въ газамъ; она можетъ также проходить сквозь такія пористыя вещества, какъ бумага, но не проходитъ сквозь стекло или слюду даже при очень слабой толщинѣ.

Урановыя соединенія, повидимому, не испускаютъ эманации, аналогичной эманации торіевыхъ соединеній; на интенсивность лучеиспусканія между дисками не вліяютъ воздушные потоки. Правда, что при пропусканіи газоваго потока по урановому соединенію проводимось увлекаемаго газа не исчезаетъ мгновенно, но скорость исчезанія этой проводимости та же, что и скорость, имѣющая

---

(1) Rutherford, *Phil. Mag.*, январь 1900 г.

мѣсто для газа, іонизированнаго лучами Рѣнтгена; это скорость возстановленія іоновъ, содержащихся въ газѣ. Наоборотъ, газы, пришедшіе въ соприкосновеніе съ торіевыми соединеніями, обладаютъ проводимостью, удерживающейсѣ гораздо дольше (въ теченіи почти 10 минутъ), и нужно допустить, что сверхъ увлекаемыхъ іоновъ продолжаютъ образовываться другіе іоны, при чемъ источникъ этого образованія находится въ самомъ газѣ и скорость образованія уменьшается, стремясь къ нулю, въ функціи отъ времени по показательному закону.

Образованіе эманациі торіевыми соединеніями есть явленіе, находящееся въ тѣсной связи съ явленіемъ *индуктивной радиоактивности*. Дѣйствительно, было установлено, что всякое вещество, приведенное въ соприкосновеніе съ эманацией, приобретаетъ временную радиоактивность, названную *индуктивною*, не зависящую отъ природы вещества. Эта индуктивная радиоактивность исчезаетъ съ теченіемъ времени по опредѣленному закону, послѣ того какъ активированное вещество избавлено отъ дѣйствія эманациі. Подробное изученіе эманациі торія и, какъ ея слѣдствія, индуктивной радиоактивности найдетъ свое мѣсто въ главахъ VI и VII.

Радиоактивность торіевыхъ соединеній длительна. Однако мы увидимъ (§ 199), что активность торіевыхъ солей подвергается съ годами весьма медленнымъ измѣненіямъ.

**§ 38. Радиоактивность есть атомическое свойство. Представляетъ ли она общее явленіе?**—Радиоактивность урановыхъ и торіевыхъ соединеній является атомическимъ свойствомъ этихъ элементовъ. Мною выполнено большое число измѣреній активности этихъ соединеній въ различныхъ условіяхъ. Активность всегда связана съ присутствіемъ элементовъ урана и торія и не уничтожается ни измѣненіями физическаго состоянія, ни химическими превращеніями. Химическія соединенія и смѣси, содержащія уранъ и торій, тѣмъ активнѣе, чѣмъ въ большей пропорціи содержатъ эти металлы, при чемъ всякая неактивная матерія дѣйствуетъ за-разъ и какъ инертная матерія, и какъ матерія, поглощающая лучеиспусканіе. Далѣе мы увидимъ, что можно выполнить химическія операціи, влекущія за собою временное видоизмѣненіе радиоактивности урановаго или торіеваго соединенія; но эти видоизмѣненія не стойки, и вещество постепенно снова принимаетъ свои первоначальныя свойства. Одновременно мы увидимъ, какъ вѣроятнѣе всего истолковать эти измѣненія активности.

Я искала, нѣтъ ли помимо урановыхъ и торіевыхъ соединеній еще другихъ радиоактивныхъ веществъ. Я предприняла это изслѣдованіе, исходя изъ мысли, казавшейся почти невѣроятною, что радиоактивность, разсматриваемая, какъ атомическое свойство, могла принадлежить исключительно извѣстному роду матеріи. На основаніи произведенныхъ мною измѣреній я говорю, что для современныхъ химическихъ элементовъ, не исключая самыхъ рѣдкихъ и самыхъ гипотетическихъ, соединенія, изученныя мною, всегда оказывались, по крайней мѣрѣ, въ 100 разъ менѣе активными въ моемъ приборѣ, чѣмъ металлическій уранъ. Для распространенныхъ элементовъ я изучила по нѣскольку соединеній; для рѣдкихъ тѣлъ я изучила соединенія, которыя могла достать.

Вотъ перечень веществъ, изученныхъ мною въ видѣ элемента или соединенія:

1. Всѣ легко находимые металлы и металлоиды и нѣкоторые болѣе рѣдкіе, обработанные въ чистомъ видѣ; эти послѣдніе были взяты изъ коллекціи Парижской Школы Промышленной Физики и Химіи.

2. Слѣдующія рѣдкія тѣла: галлій, германій, неодимъ, празеодимъ, ніобій, скандій, гадолиній, эрбій, самарій и рубидій (образцы одолжены мнѣ Demarcay); иттрий, иттербій съ новымъ эрбиемъ (образцы одолжены мнѣ Urbain'омъ).

3. Большое число горныхъ породъ и минераловъ.

Расположеніемъ приборовъ въ опытахъ я пользовалась такимъ же, какъ и въ предыдущихъ изслѣдованіяхъ. Такъ какъ измѣренію могли подлежать токи болѣе слабыя, чѣмъ тѣ, которые получаются съ урановыми и торіевыми соединеніями, то тщательно испытывался эффектъ, получавшійся въ отсутствіи всякаго активнаго вещества. Этотъ эффектъ явно сводился къ нулю, потому что въ это время приборы и воздухъ лабораторіи не были активны и, притомъ, измѣрительный аппаратъ не былъ достаточно чувствителенъ, чтобы отмѣтить самопроизвольную іонизацію воздуха въ нормальномъ состояніи.

Въ предѣлахъ чувствительности моего аппарата я не нашла другого простого вещества, помимо урана и торія, которое было бы надѣлено атомическою радиоактивностью.

Можно по этому поводу замѣтить, что въ различныхъ сообщеніяхъ было допущено прискорбное смѣшеніе понятій, связанное съ употребленіемъ слова *радиоактивность*, которому, однако,

можно было, съ самаго созданія этого термина, присвоить весьма ясное значеніе, открыто оставляя въ сторонѣ разныя явленія, не состоящія въ дѣйствительномъ родствѣ съ явленіями, наблюдаемыми надъ урановыми и торіевыми соединеніями<sup>(1)</sup>. Сейчасъ мы изслѣдуемъ въ послѣдовательномъ порядкѣ нѣсколько явленій, которыя не должно смѣшивать съ радиоактивностью.

Разсмотримъ сначала извѣстные опыты, обычно осуществляемые съ фосфоромъ. Влажный или сухой бѣлый фосфоръ, помѣщенный между дисками измѣрительнаго конденсатора, обращаетъ воздухъ между этими дисками въ проводникъ<sup>(2)</sup>.

Однако, не слѣдуетъ считать этого тѣла радиоактивнымъ на подобіе урана и торія. Въ самомъ дѣлѣ, фосфоръ при этихъ условіяхъ окисляется и испускаетъ свѣтовые лучи, тогда какъ урановыя и торіевыя соединенія радиоактивны, не подвергаясь никакому химическому измѣненію, уловимому извѣстными средствами. Кромѣ того, фосфоръ не активенъ ни въ своемъ красномъ видоизмѣненіи, ни въ какомъ-либо соединеніи; значитъ, проводимость, которую онъ сообщаетъ воздуху, не обладаетъ основнымъ признакомъ—составлять атомическое свойство элемента-фосфора.

Дѣйствіе фосфора изучалось многочисленными физиками; весьма исчерпывающая работа по этому вопросу была опубликована Блохомъ<sup>(3)</sup>. Изъ этихъ работъ вытекаетъ, что фосфоръ, окисляясь въ присутствіи воздуха, порождаетъ образованіе весьма мало подвижныхъ іоновъ, обращающихъ воздухъ въ проводникъ и легко вызывающихъ сгущеніе просто насыщающаго водяного пара. Эти іоны обладаютъ гораздо болѣе значительною массою, чѣмъ масса малыхъ іоновъ, образующихся въ газахъ подъ дѣйствіемъ лучей Рѣнтгена или Беккереля; невидимые при обыкновенномъ свѣтѣ, когда воздухъ сухъ, они, однако, становятся видными при сильномъ свѣтѣ электрической дуги. Ихъ подвижность почти въ 1000 разъ меньше подвижности малыхъ іоновъ, и ихъ коэффициентъ возстановленія также почти въ 1000 разъ меньше соответственнаго коэффициента этихъ послѣднихъ. Когда воздухъ влаженъ, эти іоны образуютъ еще болѣе крупные аггломераты, и въ воздухѣ замѣчается тогда дымъ. Образованіе іоновъ связано съ явле-

(1) M.-<sup>m</sup>o Curie, *Revue générale des Sciences*, 1899 г.

(2) Elster и Geitel, *Wied. Ann.*, 1890 г.

(3) Bloch, Thèse présentée à la Faculté des Sciences de Paris.

ніемъ окисленія; значить, оно сопровождается здѣсь хорошо извѣстную химическую реакцію.

Окисленіе фосфора не есть единственная химическая реакція, порождающая образованіе іоновъ. Нынѣ извѣстны другіе факты того же рода. Такъ, нагрѣтый сѣрноокислый хининъ производитъ, во время своего охлажденія, разрядъ наэлектризованныхъ тѣлъ, помѣщенныхъ по близости отъ него (1). Одновременно образуется гидратъ вещества, испускающій свѣтовые лучи. Претерпѣвая повышеніе температуры, вещество также сообщаетъ проводимость ближайшему воздуху. Образованіе іоновъ, имѣющее мѣсто въ этихъ опытахъ, связано съ химическими реакціями образованія гидрата сѣрноокислаго хинина и, обратно, отнятія воды отъ этого соединенія и не принадлежитъ, какъ атомическое свойство, ни одному изъ простыхъ тѣлъ, входящихъ въ составъ этой соли.

Другой примѣръ образованія іоновъ находимъ въ явленіяхъ электролиза. Газы, выдѣляющіеся во время электролиза, легко являются проводниками; они содержатъ іоны слабой подвижности, или іоны большой массы, аналогичные іонамъ, образующимся въ присутствіи фосфора, по величинѣ своей подвижности и своего коэффиціента возстановленія и по своей способности вызывать сгущеніе насыщающаго водяного пара (2).

Ни въ одномъ изъ только-что разсмотрѣнныхъ случаевъ, гдѣ идетъ дѣло объ образованіи іоновъ, сопровождающихъ химическую реакцію, нельзя было подмѣтить испусканія лучей, надѣленныхъ проникающею способностью, сравнимою съ такою же способностью лучей Беккереля. Нельзя получить ионизирующаго дѣйствія фосфора или сѣрноокислаго хинина сквозь твердые экраны, самые тонкіе, какіе только можно имѣть; оно задерживается толщиною алюминія всего въ 0<sup>мм</sup>,003; эти тѣла не могутъ также давать оттисковъ на фотографическихъ пластинкахъ, защищенныхъ черною бумагою отъ испускаемаго ими свѣта.

Такимъ образомъ, чтобы заключить о радиоактивности вещества, недостаточно констатировать увеличеніе ионизаціи воздуха по близости отъ него, если бы даже не замѣчалось при этомъ связи между ионизаціей и химическою реакціей. Такъ, нѣкоторыя ве-

(1) Le Bon, *Comptes rendus*, 1900 г.; Miss Fanny Cook Gates, *Phys. Rev.*, 1904 г.

(2) Townsend, *Ions, electrons, corpuscules*.

щества, цинкъ, плавиковый шпатель, испускают отрицательные ионы, если их осветить ультрафиолетовым светом. Известно также, что горячая тѣла порождают испусканіе положительных и отрицательных ионовъ. Наконецъ, раскаленные добѣла тѣла могутъ еще испускать ультрафиолетовые лучи очень короткаго періода, которые весьма сильно поглощаются воздухомъ и сообщаютъ ему нѣкоторую іонизацію. Во всѣхъ этихъ случаяхъ образованіе ионовъ вблизи разсматриваемаго тѣла не самопроизвольно, но вызывается возбуждающею причиною, такою, какъ дѣйствіе свѣта или повышение температуры. Кроме того, дѣйствіе вещества глубоко связано съ нѣкоторымъ молекулярнымъ состояніемъ; металлъ, испускающій отрицательные ионы подѣ дѣйствіемъ ультрафиолетовыхъ лучей, теряетъ это свойство, когда находится въ состояніи соединенія, и явленіе настолько чувствительно, что испусканіе весьма сильно зависитъ даже отъ состоянія поверхности и испытываетъ вліяніе малѣйшаго окисленія этой послѣдней.

Явленія образованія ионовъ, зависящія отъ молекулярнаго состоянія, вообще, подвержены вліянію температуры.

Способность давать оттискъ на фотографической пластинкѣ также не можетъ одна вести къ утверженію, что вещество радиоактивно. Нынѣ известно большое число веществъ, могущихъ давать такіе оттиски въ отсутствіи свѣта по истеченіи болѣе или менѣе долгаго промежутка времени; таковы, напр., нѣкоторые металлы: цинкъ, алюминій, и многія органическія тѣла: смолы и эссенціи (1). Трудно распознать истинную природу этихъ явленій, зачастую крайне слабо выраженныхъ. Старались ихъ объяснить образованіемъ газа или паровъ, обладающихъ возстановляющими свойствами. Какъ бы то ни было, достовѣрно, что и здѣсь мы все еще имѣемъ дѣло съ явленіями, зависящими отъ молекулярнаго состоянія веществъ и отъ температуры и никоимъ образомъ не обладающими атомическимъ характеромъ.

*Радиоактивными веществами называются тѣла, которыя испускаютъ самопроизвольно лучи Беккереля, при чемъ испусканіе связано съ опредѣленнымъ родомъ атомовъ.* Значитъ, самопроизвольность испусканія и его атомическій характеръ являются существенными признаками радиоактивности.

Радиоактивность урановыхъ и торіевыхъ соединеній, повиди-

---

(1) Russell, Proc. Roy. Soc., 1897 г.

тому, длительно. Однако извѣстны и такія вещества, которыя, выполнѣ входя въ категорію радиоактивныхъ тѣлъ по вышеприведенному опредѣленію, не имѣютъ, повидимому, длительно радиоактивности. Таковъ полоній, который еще не выдѣленъ, но полученъ въ смѣшеніи съ неактивными веществами; радиоактивность этихъ смѣсей исчезаетъ медленно въ функціи отъ времени. Слѣдовательно, мы не должны разсматривать длительно лучеспусканія, какъ необходимый признакъ присутствія радиоактивнаго вещества. По новѣйшимъ теоріямъ радиоактивности должно, однако, думать, что радиоактивность на самомъ дѣлѣ есть свойство, неотдѣлимое отъ матеріи, надѣленной ею, и что при исчезновеніи радиоактивности исчезаетъ и сама матерія. По такой теоріи радиоактивные элементы представляютъ соединенія изъ неустойчивыхъ атомовъ, которые, разрушаясь, испускаютъ лучи Беккереля и порождаютъ образованіе другихъ атомовъ низшаго атомнаго вѣса; радиоактивность оказывается тѣмъ длительноѣе, чѣмъ менѣе скорость разрушенія.

Мы обозначили лучами Беккереля совокупность лучей, которые могутъ быть испускаемы самопроизвольно нѣкоторыми атомами, въ особенности, атомами урана и торія. Нынѣ мы знаемъ, что эти лучи не всѣ одного рода, но могутъ принадлежать къ тремъ различнымъ типамъ, каждый изъ которыхъ аналогиченъ одному изъ трехъ типовъ уже извѣстныхъ лучей: катодныхъ, положительныхъ, Рѣнтгеновыхъ. Лучи первыхъ двухъ типовъ, состоя соотвѣтственно изъ отрицательныхъ электроновъ въ быстромъ движеніи (катодные лучи) и изъ положительно заряженныхъ частицъ, оживленныхъ быстрымъ движеніемъ (положительные лучи), являются лучами корпускулярной природы. Уранъ и торій испускаютъ, какъ увидимъ далѣе, троякаго рода лучи; однако, повидимому, не въ этомъ основной признакъ испусканія, и въ нѣкоторыхъ случаяхъ можетъ существовать испусканіе только отрицательныхъ лучей. Слѣдуетъ также замѣтить, что испусканіе положительныхъ лучей есть единственное, констатируемое съ полоніемъ, когда разсматриваются только лучи, надѣленные іонизирующею силою; но болѣе глубокое изслѣдованіе показало, что полоній испускаетъ также и отрицательные электроны, скорость которыхъ недостаточна, чтобы они могли проявлять себя, какъ іонизирующіе лучи.

Если радиоактивныя тѣла на пути къ превращенію, то это превращеніе не можетъ быть обыкновеннымъ химическимъ превраще-



ніемъ; оно должно происходить въ самомъ атомѣ, такъ какъ радіоактивность есть атомическое явленіе. Это было бы первымъ примѣромъ видоизмѣненія передъ нашими глазами внутренняго строенія этого матеріальнаго зданія, т.-е. атома, зданія несравнимо болѣе стойкаго, чѣмъ молекула, до такой степени, что можно было его считать неизмѣннымъ въ современномъ представленіи о вселенной. Съ этой точки зрѣнія основаніе для опредѣленія радіоактивнаго тѣла является вполне указаннымъ; радіоактивность имѣется, когда имѣется испусканіе лучей Беккереля, связанное съ самопроизвольнымъ атомическимъ превращеніемъ. При этомъ можно мыслить о существованіи такихъ элементовъ, которые испытывали бы атомическое превращеніе, не испуская Беккерелевыхъ лучей, т.-е. не будучи радіоактивными.

Нѣкоторыя новѣйшія работы приводили къ допущенію, что радіоактивность въ очень слабой степени свойственна всѣмъ веществамъ. Такое предположеніе не имѣетъ въ себѣ ничего невѣроятнаго, если принять въ соображеніе то, что мы знаемъ въ настоящее время о такихъ тѣлахъ, какъ радій, активность котораго, при равномъ вѣсѣ, въ миллионъ разъ болѣе активности урана. Извѣстно также, на сколько велики различія въ магнитныхъ свойствахъ такихъ тѣлъ, какъ желѣзо, съ одной стороны, и слабо магнитныхъ металловъ, какъ мѣдь, съ другой стороны. Однако, тождество явленій, наблюдаемыхъ надъ различными веществами, съ явленіемъ атомической радіоактивности не можетъ еще считаться установленнымъ (§ 231). Притомъ доказательство сильно затрудняется тѣмъ фактомъ, что, по настоящимъ нашимъ свѣдѣніямъ, нѣкоторыя радіоактивныя вещества, и въ особенности торій и радій, весьма распространены въ землѣ; радіоактивныя эманации этихъ тѣлъ также всегда содержатся въ атмосферномъ воздухѣ.

Результаты новѣйшихъ изслѣдованій заставляютъ насъ, однако, приписать калию атомическую радіоактивность почти въ 1000 разъ болѣе слабую, чѣмъ радіоактивность урана; тотъ же фактъ былъ констатированъ для рубидія.

Только уранъ и торій, два элемента, были признаны радіоактивными до открытія П. Кюри и мною новыхъ радіоактивныхъ веществъ. Эти элементы обладаютъ наибольшими атомными вѣсами (240 и 232); они часто встрѣчаются въ однихъ и тѣхъ же минералахъ.

§ 39. Радиоактивные минералы.—Я испытала въ моемъ приборѣ многіе минералы; нѣкоторые изъ нихъ оказались активными, въ томъ числѣ смоляная урановая руда, хальколитъ (мѣдная урановая руда), аутунитъ, монацитъ, торитъ, оранжитъ, фергузонитъ, клеветъ, и проч. Вотъ таблица, дающая въ амперахъ интенсивность  $i$  тока, полученнаго съ металлическимъ ураномъ и съ разными минералами:

	$\times 10^{11}$
Уранъ . . . . .	2,8
Смоляная урановая руда изъ Юганнгеоргенштадта . . . . .	8,3
>     >     >     >    Иоакимстала . . . . .	7,0
>     >     >     >    Пзибрана . . . . .	6,5
>     >     >     >    Кориваллиса . . . . .	1,6
Клеветъ . . . . .	1,4
Хальколитъ . . . . .	5,2
Аутунитъ . . . . .	2,7
Разные ториты . . . . .	0,1
	0,3
	0,7
	1,3
	1,4
Оранжитъ . . . . .	2,0
Монацитъ . . . . .	0,5
Ксеенотимъ . . . . .	0,03
Эшипитъ . . . . .	0,7
Фергузонитъ, 2 образца . . . . .	0,4
	0,1
Самарскитъ . . . . .	1,1
Нюбитъ, 2 образца . . . . .	0,1
	0,3
Танталитъ . . . . .	0,02
Карнититъ . . . . .	6,2
Торіанитъ . . . . .	5,0

Токъ, получавшійся съ оранжитомъ (руда окиси торія), сильно варьировалъ съ толщиною употребляемаго слоя. Съ увеличеніемъ этой толщины отъ 0<sup>мм</sup>,25 до 6<sup>мм</sup> токъ возрасталъ отъ 1,8 до 2,3.

Всѣ минералы, оказавшіеся радиоактивными, содержатъ уранъ или торій; значить, ихъ активность не представляла ничего уди-

вительнаго, но интенсивность явления для нѣкоторыхъ минераловъ явилась неожиданною. Такъ, находятся смоляныя урановыя руды (руды окиси урана), оказывающіяся въ 4 раза активнѣе металлическаго урана. Хальколитъ (фосфорно-мѣдная соль и кристаллическая фосфорно-урановая соль) въ 2 раза активнѣе урана. Аурунитъ (фосфорно-урановая соль и фосфорно-известковая соль) столь же активенъ, какъ уранъ. Эти факты расходились съ результатами, относящимися къ простымъ тѣламъ и ихъ соединеніямъ, результатамъ, по которымъ никакой минералъ не долженъ былъ бы оказаться активнѣе урана или торія.

Чтобы разъяснить этотъ вопросъ, я приготовила искусственный хальколитъ по способу Debray, исходя изъ чистыхъ продуктовъ. Этотъ способъ состоитъ въ смѣшеніи раствора азотнокислаго уранила съ растворомъ фосфорно-мѣдной соли въ фосфорной кислотѣ и въ нагрѣваніи до 50° или 60°. По истеченіи нѣкотораго времени образуются въ жидкости кристаллы хальколита (1). Полученный такимъ образомъ хальколитъ обладаетъ вполне нормальною активностью, разъ данъ его составъ; онъ активенъ въ два съ половиною раза менѣе урана.

Съ этого момента стало весьма вѣроятнымъ предположеніе, что если смоляная урановая руда, хальколитъ, аурунитъ имѣютъ столь сильную активность, то это значитъ, что эти вещества заключаютъ въ небольшихъ дозахъ сильно радиоактивную матерію, отличную отъ урана, торія и отъ извѣстныхъ въ настоящее время простыхъ тѣлъ. Я рѣшила, что если это дѣйствительно такъ, я могла бы надѣяться извлечь это вещество изъ руды обычными приемами химическаго анализа.

Такъ какъ, притомъ, анализъ минераловъ, вообще, уже былъ произведенъ съ точностью до 1°/о или 2°/о, то нельзя было надѣяться найти въ одномъ изъ этихъ минераловъ новый элементъ въ пропорціи, превышающей указанную точность. За то можно было думать, что новое вещество особенно интересно по причинѣ своей радиоактивности, если послѣдняя должна была оказаться настолько достаточною, чтобы произвести, несмотря на слабую пропорцію присутствующаго вещества, эффектъ гораздо болѣе значительный, чѣмъ эффектъ отъ окиси урана, содержащейся въ смоляной урановой рудѣ.

---

(1) Debray, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 3-e série, t. LXI, стран. 445.

Опытъ показалъ, что ожиданія были гораздо скромнѣе дѣйствительности; по первымъ изслѣдованіямъ мы, П. Кюри и я, не могли бы предсказать, что дѣло шло за-разъ о такомъ сильномъ разжиженіи предполагаемаго элемента и о такой страшно огромной радіоактивности. Понадобилось нѣсколько лѣтъ, чтобы вполне достичь намѣченной цѣли и безспорно доказать, что урановыя руды содержатъ, по крайней мѣрѣ, одно сильно радіоактивное тѣло, представляющее новый элементъ въ томъ смыслѣ, какой этому выраженію придаетъ Химія.

## ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

### Новыя радіоактивныя вещества.

§ 40. Новый методъ разысканія химическихъ элементовъ, основанный на радіоактивности.—Результаты изученія радіоактивныхъ минераловъ, изложенные въ предыдущей главѣ, побудили насъ, П. Кюри и меня, постараться извлечь изъ смоляной урановой руды новое радіоактивное вещество. Нашъ методъ разысканій могъ быть основанъ только на радіоактивности, потому что мы не знали никакого другого признака предполагаемаго вещества. Опытъ, впрочемъ, показалъ намъ потомъ, что созданный такимъ образомъ новый методъ разысканій былъ также и единственнымъ, который могъ дать результатъ въ настоящемъ случаѣ; ранѣе извѣстные методы оказались бы недѣйствительными для разысканія столь разжиженной матеріи, существованіе которой намъ удалось обнаружить.

Вотъ какъ можно пользоваться радіоактивностью для такого разысканія: измѣряется активность продукта, выполняется надъ этимъ продуктомъ химическое отдѣленіе, измѣряется радіоактивность всѣхъ полученныхъ продуктовъ, и приводится въ ясность, сполна ли осталось радіоактивное вещество съ однимъ изъ нихъ, или же оно раздѣлилось между ними и въ какой пропорціи. Первые выполненныя химическія операціи непосредственно намъ показали, что обогащеніе активной матеріею, какъ мы и надѣялись, было осуществимо.

Активность веществъ измѣрялась на твердыхъ и хорошо высушенныхъ продуктахъ, нанесенныхъ, какъ и въ предыдущихъ изслѣдованіяхъ, въ видѣ порошка на металлическіе диски. Толщина активного слоя должна быть достаточною, чтобы токъ уже

не измѣнялся бы сильно съ этою толщиною. Это условіе, вообще, осуществляется для толщинъ ниже  $1^{\text{мм}}$ .

Чтобы отдать себѣ отчетъ въ количествѣ активной матеріи, содержащейся въ различныхъ веществахъ, происходящихъ отъ какой-либо операціи, мы обыкновенно рассматривали число, называемое *произведеніемъ радиоактивности*; это число есть произведение вѣса матеріи на ея активность, измѣренную въ произвольныхъ единицахъ. По окончаніи операціи и измѣреніи активности всѣхъ полученныхъ веществъ произведение первоначальной радиоактивности должно получаться, какъ сумма произведеній радиоактивности, относящихся къ происшедшимъ веществамъ. Мы постоянно употребляли этотъ способъ вычисленія въ первыхъ обработкахъ, послужившихъ для установленія плана разысканій, и это было для насъ чрезвычайно полезно; мы отыскивали, вообще, весьма точно произведение радиоактивности и могли такимъ образомъ убѣждаться, что не теряли активной матеріи, или же контролировать причины потери, когда таковая происходила. Мы также имѣли въ этомъ драгоценное указаніе на относительную важность различныхъ порцій, получавшихся послѣ каждой обработки. Теперь извѣстно, что такіа вычисленія могутъ вести къ ошибкамъ и что между радиоактивными веществами то, которое желательно было бы сохранить, не всегда оказывается самымъ активнымъ въ моментъ измѣренія. Въ самомъ дѣлѣ, нѣкоторыя обработки отдѣляютъ весьма активныя вещества, активность которыхъ мало-по-малу исчезаетъ, тогда какъ остаточное вещество, мало активное послѣ обработки, приобретаетъ затѣмъ постепенно прочную активность. Въ рядѣ примѣровъ мы встрѣтимся съ подобными случаями. Несмотря на это, указанный методъ приноситъ большія услуги для общей обработки рудъ и для разныхъ частныхъ обработокъ, касающихся только одного вещества, напр., радія. Достаточно принять въ различныхъ случаяхъ предосторожности, вытекающія изъ природы входящихъ веществъ. Если, кромѣ того, считать возможнымъ присутствіе неизвѣстнаго радиоактивнаго вещества, то необходимо сохранить всѣ части обработки, какова бы ни была ихъ начальная активность, и слѣдить за значеніемъ этой активности въ теченіи достаточнаго времени, чтобы убѣдиться, не подвергалась ли она любопытной эволюціи.

Указанный методъ разысканій даетъ указанія сравнимыя, въ извѣстныхъ единицахъ, съ указаніями, которыя могъ бы доста-

вить спектральный анализъ. Однако, какъ кажется *a priori*, что если можно такимъ образомъ открыть радиоактивное тѣло, то нельзя различить между собою нѣсколько радиоактивныхъ тѣлъ. Эволюція ученія о радиоактивности доказала, что различіе, напротивъ, вполне возможно, и это по той причинѣ, что различныя радиоактивныя вещества различаются между собою природою своей активности и могутъ быть охарактеризованы, безъ всякой двусмысленности, совокупностью надлежащимъ образомъ организованныхъ измѣреній. Такъ, радій характеризуется испускаемою имъ радиоактивною эманациею и закономъ ея исчезанія въ функціи отъ времени, также какъ и индуктивною радиоактивною, образующеюся вблизи отъ него, и закономъ эволюціи этой послѣдней; также онъ можетъ быть характеризуемъ природою испускаемыхъ имъ лучей.

Наши разысканія привели къ приготовленію веществъ значительно болѣе активныхъ, чѣмъ тѣ, которыя послужили исходнымъ пунктомъ. Для этихъ весьма активныхъ веществъ первоначальное расположеніе измѣрительнаго аппарата оказывается уже не примѣняемымъ, и нужно употреблять разные способы къ уменьшенію его чувствительности. Для начала уменьшается поверхность активной матеріи; чтобы принять въ расчетъ это уменьшеніе, умножаемъ измѣренную такимъ образомъ активность на коэффициентъ, опредѣленный опытнымъ путемъ на веществѣ подходящей активности. Когда этотъ способъ недостаточенъ, можно поступить иначе. Когда вещество нанесено на дискъ, мы покрываемъ его довольно толстымъ экраномъ съ продѣланнымъ въ немъ по его діаметру каналомъ, который можетъ пропускать только очень малую дробь лучеспусканія. Къ этому способу измѣренія активности приходится прибѣгать въ случаѣ такихъ веществъ, какъ чистыя соли радія. Коэффициенты, служащіе для приведенія измѣреній, произведенныхъ съ этими экранами, къ измѣреніямъ, которыя должны были бы получиться безъ экрана съ данною активной поверхностью, опредѣляются изъ опыта.

Различныя части измѣрительнаго аппарата, бывшаго нѣкоторое время въ употребленіи, обладаютъ всегда нѣкоторою активностью. Въ частности, конденсаторъ съ дисками, получающій активную матерію (*черт.* 32), всегда болѣе или менѣе активенъ. Стѣнки его клѣтки и диски должны быть часто очищаемы. Прежде чѣмъ приступить къ измѣренію, необходимо опредѣлить активность конден-

сатора. Токъ, измѣряющій активность вещества, представляетъ разность токовъ, полученныхъ въ присутствіи и въ отсутствіи вещества. Должны быть приняты всевозможныя предосторожности, чтобы довести поправку до minimum'a.

§ 41. Изслѣдованіе смоляной урановой руды. Открытіе полонія и радія. Антиній. Радиоактивный свинецъ. Торіанитъ и радіоторій. Іоній.—Руда, которую мы, П. Кюри и я, избрали первою для нашихъ изслѣдованій, называется *смоляною урановою рудою*. Это руда окиси урана, которую можно достать въ довольно значительномъ количествѣ; нашъ выборъ былъ вызванъ какъ этимъ соображеніемъ, такъ и высокимъ значеніемъ активности нѣкоторыхъ изъ этихъ рудъ; онѣ въ 3—5 разъ активнѣе окиси урана. Однако обработка этой руды представила большія затрудненія, потому что ея составъ очень сложенъ. Вотъ приблизительный составъ смоляной урановой руды по даннымъ химическаго анализа:

U <sup>3</sup> O <sup>8</sup> . . . . .	75
PbS . . . . .	5
SiO <sup>2</sup> . . . . .	3
CaO . . . . .	5
FeO . . . . .	3
MgO . . . . .	2
Итого . . . . .	93

Остатокъ руды состоялъ изъ весьма разнообразныхъ тѣлъ: рѣдкихъ земель, висмута, антимонія, мышьяка, мѣди, цинка, алюминія, никкеля, кобальта, ванадія, серебра, ніобія, тантала, талія, барія. Смоляная урановая руда также содержитъ всегда газы; въ ней же констатируется присутствіе рѣдкихъ газовъ: аргона и гелія.

Произведя анализъ смоляной урановой руды съ контролемъ по вышеописанному методу, мы усмотрѣли, что обработка привела къ сгущенію (концентраціи) активности съ двухъ различныхъ сторонъ. Съ одной стороны, висмутъ, извлеченный изъ смоляной урановой руды, показывалъ высокую активность, тогда какъ находящійся въ обращеніи висмутъ, происходящій изъ неактивныхъ минераловъ, самъ неактивенъ; съ другой стороны, имѣется накопленіе активности въ полученной сѣрнобаритовой соли, тогда какъ соли обыкновеннаго барія не обнаруживаютъ никакой активности.

Мы приняли эту концентрацію активности, которая происходила неизмѣнно въ одномъ и томъ же родѣ, за доказательство,



что гипотеза, служившая намъ исходнымъ пунктомъ, была точна и что мы имѣли передъ собою два новыхъ радіоактивныхъ элемента. Мы назвали *полоніемъ* активное тѣло, сопровождающее висмутъ, и *радіемъ* активное тѣло, сопровождающее барій, и сочли, что по своимъ химическимъ свойствамъ эти два элемента должны были быть аналогичны соотвѣтственно двумъ извѣстнымъ элементамъ, имѣвшимъ ихъ спутниками во время обработки. Наши сообщенія объ открытіи полонія и радія были сдѣланы въ 1898 г.; первая часть работы касалась полонія; вторая часть, выполненная въ сотрудничествѣ съ Вémont'омъ, относилась къ радію<sup>(1)</sup>.

Весьма серьезные аргументы шли на подкрѣпленіе гипотезы существованія новыхъ радіоактивныхъ элементовъ. Въ самомъ дѣлѣ, мы доказали, что не только во время анализа руды активность концентрируется съ одной стороны при висмутѣ, съ другой стороны при баріи, элементахъ самихъ по себѣ неактивныхъ, но что, кромѣ того, можно, посредствомъ надлежащей обработки, выполнить новую концентрацію активности при активномъ висмутѣ и активномъ баріи смоляной урановой руды, выдѣляя съ одной стороны явно неактивныя части висмута и барія, съ другой стороны продукты гораздо болѣе активныя, чѣмъ матерія, подвергнутая обработкѣ. Употребленныя для этой цѣли обработки не были полными химическими отдѣленіями, и мы далѣе увидимъ, что эти обработки и не могли бы быть такими при данномъ крайнемъ разжиженіи активной матеріи; но мы показали, что различные методы дробленія дѣйствительны для предположенной цѣли. Такимъ именно образомъ получается висмутъ, все болѣе и болѣе богатый полоніемъ, по одному изъ слѣдующихъ способовъ дробленія:

1. Возгонкою сѣрнистыхъ соединеній въ пустотѣ; активное сѣрнистое соединеніе болѣе летуче, чѣмъ сѣрнистый висмутъ.

2. Осажденіемъ водою изъ азотнокислыхъ растворовъ; осажденная основная азотнокислая соль гораздо активнѣе соли, остающейся въ растворѣ.

3. Осажденіемъ сѣроводородомъ изъ очень кислаго хлористоводороднаго раствора; осажденные сѣрнистыя соединенія гораздо активнѣе соли, остающейся въ растворѣ.

---

(1) P. Curie et M<sup>me</sup> Curie, *Comptes rendus*, июль 1898 г.; P. Curie, M<sup>me</sup> Curie и G. Вémont, *Comptes rendus*, декабрь 1898 г.

Также возможно получить баріі, все болѣе и болѣе богатый радіемъ, подвергая смѣсь хлористыхъ соединеній дробной кристаллизациі въ водѣ или въ водномъ растворѣ соляной кислоты, или еще производя дробныя осажденія алкоголемъ изъ раствора хлористыхъ соединеній. Въ обоихъ случаяхъ хлористый радіі оказывается менѣе растворимымъ, чѣмъ хлористый баріі.

Наконецъ, весьма важный аргументъ въ пользу существованія новыхъ радіоактивныхъ элементовъ данъ спектральнымъ анализомъ. Спектроскопическое изслѣдованіе полученныхъ нами продуктовъ было предпринято Demarçay, который пользовался весьма точнымъ методомъ фотографированія спектровъ искръ.

Одинъ изъ первыхъ образцовъ хлористаго радіеноснаго барія, активности почти въ 60 разъ большей противъ активности окиси урана, былъ подвергнутъ спектральному анализу. Спектръ былъ спектромъ барія; однако, Demarçay открылъ въ ультрафіолетовой его части еще новую линію значительной интенсивности и съ длиною волны  $\lambda = 381^{\text{м}},47$  (1). Съ приготовленными затѣмъ болѣе активными продуктами, активность которыхъ достигла значенія въ 900 разъ большаго противъ активности, соответствующей окиси урана, онъ увидѣлъ, что линія  $\lambda = 381^{\text{м}},47$  усилилась и одновременно съ этимъ стали видимы двѣ другія новыя линіи (2). Такимъ образомъ мы получили подтвержденіе гипотезы, что радіі есть новый элементъ. Но изслѣдованіе образцовъ активнаго висмута не показало никакой другой линіи кромѣ тѣхъ, которыя характеризуютъ висмутъ.

Образцы соли полонійнаго висмута и соли радіеноснаго барія, полученные въ этой предварительной работѣ, имѣли активность соответственно въ 400 и въ 900 разъ большую противъ активности окиси урана. Съ этими веществами мы открыли, что лучи Беккереля производятъ флуоресценцію платиново-синеродистой соли барія.

Однако, являлось очевиднымъ, что полученные продукты состояли почти цѣлкомъ изъ неактивной матеріи, полоній же и радіі входили въ нихъ въ очень слабой пропорціи. Такимъ образомъ мы пришли къ полной увѣренности, что для отдѣленія этихъ веществъ было бы неизбѣжно предпринять обработку сотенъ или

(1) Буквы м. означаютъ миллионныя доли миллиметра. *Примч. перев.*

(2) Demarçay, *Comptes rendus*, декабрь 1898 г.

тысячъ килограммовъ руды. Въ то же время становилось все болѣе и болѣе завлекательнымъ добиться изолпрованія веществъ, радиоактивность которыхъ должна была быть значительно больше радиоактивности полученныхъ сперва образцовъ.

Полоній испускаетъ только лучи Беккереля. Радій испускаетъ лучи Беккереля и радиоактивную эманацию, отличную отъ эманациі торія.

Третье сильно радиоактивное вещество было открыто въ смоляной урановой рудѣ Дебьерномъ, давшимъ ему имя *актинія* (<sup>1</sup>). Актиній сопровождаетъ нѣкоторыя тѣла изъ группы желѣза, содержащіяся въ смоляной урановой рудѣ; онъ, повидному, сопровождаетъ либо торій, либо церій или лантанъ. Извлеченіе актинія представляетъ трудную операцію, такъ какъ отдѣленія, вообще, неполны. Разные способы дробленія, использованные для приготовленія этого вещества, будутъ описаны дальше. Актиній испускаетъ лучи Беккереля и характеристичную радиоактивную эманацию, отличную отъ эманациі торія и радія.

Всѣ эти три новыхъ радиоактивныхъ вещества находятся въ смоляной урановой рудѣ въ количествѣ безусловно безконечно-маломъ. Чтобы получить ихъ въ концентрированномъ состояніи, мы были вынуждены обработать нѣсколько тоннъ остатковъ урановой руды. Грубая обработка производится на заводѣ; за нею слѣдуетъ работа по очисткѣ и концентраціи. Такимъ путемъ доходимъ до извлеченія изъ этихъ тысячъ килограммовъ первоначальной матеріи нѣсколькихъ дециграммовъ продуктовъ, необычайно активныхъ по сравненію съ рудою, изъ которой они получаютъ. Ясно, что вся эта работа длинна, утомительна и дорого стоитъ. Я занялась специально работою, имѣя въ виду отдѣленіе радія и полонія. Послѣ долгаго труда мнѣ удалось получить радій въ видѣ чистой соли, въ достаточномъ количествѣ для опредѣленія его атомнаго вѣса и въ отведеніи ему такимъ образомъ окончательнаго мѣста въ періодической системѣ элементовъ.

Эта работа принесла полное подтвержденіе теоріи, принятой П. Кюри и мною съ самаго начала нашихъ изслѣдованій, теоріи, по которой радиоактивность есть атомическое свойство и, слѣдовательно, можетъ лечь въ основу метода химическаго анализа. Теорію дезинтеграціи радиоактивныхъ элементовъ въ томъ видѣ,

(<sup>1</sup>) Debierne, *Comptes rendus*, октябрь 1899 г. и апрѣль 1900 г.

какой ей придали Рутерфордъ и Содди (Soddy), можно разсматривать, какъ распространеніе первоначальной теоріи, приведшей къ открытію новыхъ радиоактивныхъ веществъ. Въ самомъ дѣлѣ, теорія дезинтеграціи допускаетъ, что такъ какъ радиоактивность связывается съ атомомъ, то явленія, дѣлающія очевиднымъ появленіе или исчезаніе радиоактивности, соотвѣтствуютъ образованію или разрушенію атомовъ, обладающихъ этою радиоактивностью. Многочисленные примѣры такихъ явленій будутъ приведены въ дальнѣйшемъ изложеніи. Притомъ теорія допускаетъ, что не существуетъ постоянной радиоактивности и что радиоактивность такихъ веществъ, какъ уранъ или радій, въ концѣ концовъ исчезнетъ одновременно съ этими элементами, по истеченіи чрезвычайно долгаго промежутка времени.

Въ виду дороговизны смоляной урановой руды мы отказались отъ намѣренія обрабатывать ее въ большихъ количествахъ. На континентѣ эта руда добывается въ С.-Иоакимсталѣ (въ Богеміи). Измельченная руда обжигается съ содою, и полученный этою обработкою продуктъ выщелачивается сначала теплою водою, а затѣмъ слабою сѣрною кислотою. Растворъ содержитъ уранъ, придающій смоляной урановой рудѣ ея цѣнность. Нерастворимый остатокъ выбрасывался. Этотъ остатокъ, содержащій радиоактивные вещества, активность которыхъ въ 3—5 разъ больше активности окиси урана, послужилъ намъ исходнымъ матеріаломъ; въ настоящее время онъ цѣнится очень высоко.

Въ то же время, когда мы начинали организовывать обработку матеріала въ большихъ количествахъ, разные другіе ученые предприняли изслѣдованія надъ новыми радиоактивными веществами. Въ Германіи Giesel занялся промышленнымъ приготовленіемъ радія. Во время обработки руды онъ былъ приведенъ къ извлеченію изъ нея радиоактивнаго вещества, которое онъ назвалъ *эманіемъ*; это тѣло оказалось въ послѣдствіи тождественнымъ съ актиніемъ. Margskwald, обрабатывая продукты, происходившіе отъ обработки смоляной урановой руды въ большомъ количествѣ, извлекъ изъ нихъ чрезвычайно активное вещество, названное имъ *радіотеллуромъ*, но оказавшееся тождественнымъ съ полоніемъ.

Свинецъ, извлеченный изъ смоляной урановой руды, радиоактивенъ. Его радиоактивность сдѣлалась предметомъ изслѣдованій Hofmann'a и Strauss'a, предположившихъ существованіе новой радиоактивной матеріи. Однако въ то время не удалось достаточно оха-

рактизовать эту матерію. Истинная природа *радіоактивнаго свинца* была освѣщена прекрасною работою Рутерфорда, подкрѣпленною и развитою трудами Meyer'a и v. Schweidler'a.

Открытие новой руды, торіанита, послужило исходнымъ пунктомъ важной работы, выполненной Набн'омъ въ лабораторіи Рамзая (Ramsay). Эта работа привела къ открытію новаго радіоактивнаго вещества *радіоторія*.

Работы Рутерфорда и Больтвуда (Boltwood) привели къ допущенію, въ группѣ рѣдкихъ земель, существованія радіоактивнаго вещества, названнаго Больтвудомъ *іоніемъ*. Это вещество находится вмѣстѣ съ актиніемъ въ рѣдкихъ земляхъ, извлекаемыхъ изъ урановыхъ рудъ; оно еще мало извѣстно, но представляетъ большой интересъ, тѣсно связанный съ радіемъ, о чемъ рѣчь будетъ дальше.

Съ точки зрѣнія теоріи радіоактивности мы усматриваемъ нынѣ существованіе большого числа различныхъ радіоактивныхъ веществъ. Однако тѣ изъ нихъ, которыя имѣютъ индивидуальное существованіе съ точки зрѣнія химика и отдѣленіе которыхъ представляетъ доступную задачу, являются всё-таки въ очень ограниченномъ числѣ. Притомъ, никакое новое радіоактивное вещество, за исключеніемъ радія, не было получено въ видѣ чистой соли и охарактеризовано, какъ элементъ, своимъ спектромъ и своимъ атомнымъ вѣсомъ.

**§ 42. Извлеченіе новыхъ радіоактивныхъ веществъ. Обработка руды.**—Первая часть операціи состоитъ въ извлеченіи изъ урановыхъ рудъ радіеноснаго барія, полонійнаго висмута и рѣдкихъ земель, содержащихъ актиній.

По полученіи этихъ трехъ первыхъ продуктовъ стараются, для каждаго изъ нихъ, отдѣлить новое радіоактивное вещество. Эта вторая часть обработки производится по методу дробленія. Извѣстно, какъ трудно находить вполне совершенный способъ отдѣленія между весьма близкими элементами; поэтому методы дробленія указываются полностью. Впрочемъ, когда одинъ элементъ оказывается смѣшаннымъ съ другимъ въ состояніи слѣда, то нельзя приложить къ смѣси полного метода отдѣленія, даже допуская, что одно изъ нихъ извѣстно; дѣйствительно, былъ бы рискъ, потерять слѣдъ вещества, которое могло бы быть отдѣлено при операціи.

Обработанная руда представляла остатокъ отъ обработки смоляной урановой руды въ С.-Иоахимсталѣ, по извлеченіи урана. Обработка этой руды на заводѣ была организована Дебьерномъ послѣ предварительнаго изученія вопроса. Самый важный пунктъ примѣннаго метода заключается въ превращеніи сѣрноокислыхъ солей въ углекислыя посредствомъ кипяченія вещества вмѣстѣ съ концентрированнымъ растворомъ соды. Этотъ способъ позволяетъ избѣжать сплавленія съ содою.

Остатокъ содержитъ главнымъ образомъ сѣрноокислыя соли свинца и извести, кремнезема, глинозема и окиси желѣза. Кромѣ того, въ немъ находятъ, въ болѣе или менѣе большомъ количествѣ, почти все металлы (мѣдь, висмутъ, цинкъ, кобальтъ, марганецъ, никкель, ванадій, антимоній, талій, рѣдкія земли, ніобій, танталъ, мышьякъ, барій, и проч.). Радій находится, въ этой смѣси, въ состояніи сѣрноокислой соли, наименѣе растворимой изъ всехъ такихъ солей. Для ея растворенія нужно по возможности удалить сѣрную кислоту.

Для этого начинаютъ съ обработки остатка концентрированнымъ кипящимъ растворомъ обыкновенной соды. Сѣрная кислота, соединенная со свинцомъ, глиноземомъ, известью, переходитъ въ значительной части, въ растворъ въ состояніи сѣрнатровой соли, которую выщелачиваютъ водою. Одновременно щелочнымъ растворомъ выдѣляются свинецъ, кремнеземъ, глиноземъ. Содержащійся здѣсь свинецъ можетъ быть вновь осажденъ въ видѣ сѣрнистаго соединенія; это—*радиоактивный свинецъ*. Нерастворимая порція, промытая водою, обрабатывается обыкновенною соляною кислотю. Эта операція spolна разрушаетъ продуктъ и значительную его часть растворяетъ. Изъ этого раствора можно извлечь полоній и актиній: первый осаждается сѣрнистымъ водородомъ, второй оказывается въ гидратахъ, осаждаемыхъ амміакомъ въ растворѣ, отдѣленномъ отъ сѣрнистыхъ соединеній и перекисленномъ. Что касается радія, то онъ остается въ нерастворимой порціи.

Эта порція промывается водою и затѣмъ обрабатывается концентрированнымъ и кипящимъ растворомъ соды. Если бы послѣ этого оставалось лишь немного не тронутыхъ сѣрноокислыхъ солей, то эта операція имѣла бы слѣдствіемъ превращеніе сѣрноокислыхъ солей барія и радія въ углекислыя; однако, воздѣйствіе, вообще, не полно. Матерія весьма полно промывается водою и затѣмъ обрабатывается слабою соляною кислотю, очищенной отъ сѣрной

кислоты. Растворъ содержитъ радій, а также полоній и актиній. Его фильтруютъ и осаждаютъ сѣрною кислотою. Получаютъ такимъ образомъ неочищенныя сѣрнокислыя соли радіеноснаго барія, содержащія также известь, свинецъ, желѣзо и увлекшія съ собою небольшое количество актинія. Растворъ содержитъ еще немного актинія и полонія, которые можно изъ него извлечь такъ же, какъ и изъ перваго хлористоводороднаго раствора.

Изъ тонны остатковъ извлекается отъ 10<sup>кг</sup> до 20<sup>кг</sup> неочищенныхъ сѣрнокислыхъ солей, активность которыхъ въ 30—60 разъ больше активности металлическаго урана. Приступая къ ихъ очисткѣ, кипятятъ ихъ съ содою и превращаютъ въ хлористыя соединенія. Растворъ обрабатывается сѣрнистымъ водородомъ, что даетъ небольшое количество активныхъ сѣрнистыхъ соединеній, содержащихъ полоній. Растворъ фильтруютъ, перекисляютъ его, дѣйствуя хлоромъ, и осаждаютъ чистымъ амміакомъ. Осажденные окислы и гидраты очень активны и этою активностью обязаны актинію. Профильтрованный растворъ осаждается содою. Осажденныя щелочно-земельныя углекислыя соли промываютъ и переводятъ въ хлористыя соединенія.

Эти хлористыя соединенія выпариваются до суха и промываются чистою концентрированной соляною кислотою. Хлористый кальцій растворяется почти весь, тогда какъ хлористое соединеніе радіеноснаго барія остается нерастворимымъ. Такимъ образомъ изъ тонны первоначальнаго матеріала получается около 8<sup>кг</sup> хлористаго радіеноснаго барія, активность котораго почти въ 60 разъ больше активности металлическаго урана. Это хлористое соединеніе готово для дробленія.

Существуютъ руды радія, обработка которыхъ гораздо легче только-что описанной. Таковъ *карнититъ*, урановая руда, растворимая въ слабой азотной кислотѣ; этотъ растворъ содержитъ радій. *Радіеносный пироморфитъ* есть руда, открытая Данпеломъ въ Issy-l'Évêque (во Франціи). Это хлорофосфорная соль свинца, не содержащая урана; руда растворима въ соляной кислотѣ, и этотъ растворъ содержитъ радій. То же самое относится къ *аутуниту*.

**§ 43. Приготовленіе чистыхъ солей радія.**—Способъ, который я избрала для извлеченія чистаго хлористаго радія изъ хлористаго радіеноснаго барія, есть способъ дробной кристаллизаціи, которой я подвергла смѣсь хлористыхъ соединеній сначала въ чистой водѣ, затѣмъ въ водѣ, подкисленной чистою соляною кислотою. Такимъ

образомъ утилизируется различіе растворимостей двухъ хлористыхъ соединеній, такъ какъ хлористый радій растворимъ менѣе хлористаго барія.

Въ началѣ дробленія употребляется чистая дистиллированная вода. Хлористое соединеніе растворяютъ и растворъ доводятъ до насыщенія при температурѣ кипѣнія; затѣмъ кристаллизуютъ охлажденіемъ въ закрытой чашкѣ. Тогда образуются приросшіе ко дну прекрасные кристаллы, плавающій же сверху насыщенный растворъ можно легко слить. Испаряя досуха часть этого раствора, находимъ, что полученное хлористое соединеніе почти въ пять разъ менѣе активно кристаллизованнаго хлористаго соединенія. Такимъ образомъ хлористое соединеніе раздѣляется на двѣ порціи: *A* и *B*, изъ которыхъ порція *A* гораздо активнѣе порціи *B*. Надъ каждымъ изъ хлористыхъ соединеній *A* и *B* возобновляютъ ту же операцію, и получаютъ, съ каждымъ изъ нихъ, двѣ новыя порціи. По окончаніи кристаллизаціи соединяютъ вмѣстѣ дробь менѣе активную хлористаго соединенія *A* и дробь болѣе активную хлористаго соединенія *B*, такъ какъ оба эти вещества имѣютъ замѣтно одну и ту же активность. Такимъ образомъ получаютъ три порціи, которыя снова подвергаютъ такой же обработкѣ.

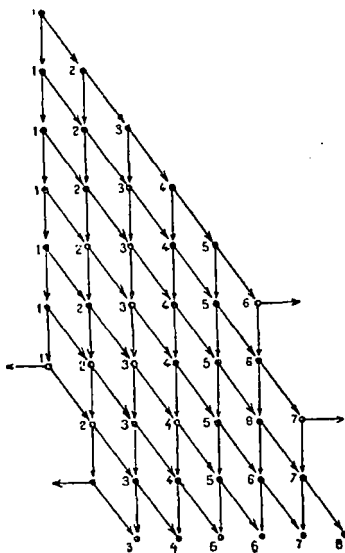
Не допускается постоянное увеличеніе числа порцій. По мѣрѣ увеличенія этого числа активность наиболѣе растворимой порціи уменьшается. Какъ только активность такой порціи становится ничтожною, ее исключаютъ изъ дробленія. Получивъ надлежащее число порцій, перестаютъ дробить также и менѣе растворимую порцію (наиболѣе богатую радіемъ) и исключаютъ ее изъ дробленія.

Опирируютъ съ постояннымъ числомъ порцій. Послѣ каждого ряда операцій насыщенный растворъ одной порціи приливается къ кристалламъ слѣдующей; но если послѣ какого-нибудь ряда исключена наиболѣе растворимая дробь, то послѣ слѣдующаго ряда, наоборотъ, создается новая порція съ наиболѣе растворимою дробью и исключаются кристаллы, составляющіе наиболѣе активную порцію. Чередующеюся послѣдовательность этихъ двухъ операціонныхъ способовъ создается весьма правильный механизмъ дробленія, въ которомъ число порцій, и активность каждой изъ нихъ остаются постоянными, при чемъ каждая порція почти въ пять разъ активнѣе слѣдующей; исключается, съ одной стороны, концевой почти неактивный продуктъ, и собирается, съ другой стороны, головное хлористое соединеніе, обогащенное ра-



діємъ. Количество вещества въ порціяхъ неизбѣжно, притомъ, уменьшается, и различныя порціи содержатъ тѣмъ меньше вещества, чѣмъ онѣ активнѣе. Вначалѣ операции производились съ шестью порціями, и активность исключеннаго конечнаго хлористаго соединенія составляла только 0,1 активности урана.

Схема такого дробленія представлена графически на *черт. 42*. Каждая точка представляетъ кристаллизацию, выполненную надъ порціей, номеръ которой проставленъ сбоку. Двѣ стрѣлки, идущія



*Черт. 42*

изъ одной точки, представляютъ два продукта, кристаллы и растворъ, происходящіе отъ кристаллизаціи, напр., кристаллы слѣва, растворъ справа. Встрѣча двухъ стрѣлокъ въ одной точкѣ представляетъ смѣшеніе кристалловъ, образовавшихся въ одной изъ порцій, съ растворомъ изъ предыдущей порціи. Стрѣлки, направленные наружу, представляютъ удаленіе крайнихъ продуктовъ.

Когда такимъ образомъ исключена въ значительной части неактивная матерія и порціи стали маленькими, нѣтъ болѣе интереса исключать съ столь слабою активностью; тогда отбрасывается концевая порція дробленія и прибавляется во главѣ порція, полученная съ прежде собраннымъ активнымъ хлористымъ соединеніемъ; значитъ, теперь будетъ собираться хлористое соединеніе, болѣе богатое радіемъ, чѣмъ прежде. Эта система прилагается и далѣе,

до тѣхъ поръ пока головные кристаллы не представляютъ чистаго хлористаго радія. При очень полномъ дробленіи едва остаются очень небольшія количества всѣхъ промежуточныхъ продуктовъ.

Когда дробленіе подвинулось впередъ и количество вещества въ каждой порціи стало слабымъ, отдѣленіе посредствомъ кристаллизаціи идетъ туже, при слишкомъ быстромъ охлажденіи и очень маломъ объемѣ раствора для сливанія. Тогда полезно подбавить къ водѣ соляной кислоты въ опредѣленной пропорціи; эта пропорція должна возрастать съ дальнѣйшимъ дробленіемъ. Выгода такого прибавленія кислоты заключается въ увеличеніи количества раствора, такъ какъ растворимость хлористыхъ соединеній въ водѣ, подкисленной соляною кислотою, меньше, чѣмъ въ чистой. Кромѣ того, дробленіе идетъ тогда очень энергично; различіе между двумя порціями, происходящими отъ одного и того же продукта, значительно; употребляя сильно подкисленную воду, имѣемъ превосходныя отдѣленія и можемъ оперировать только съ тремя или четырьмя порціями. Весьма выгодно употреблять этотъ способъ, какъ только количество вещества становится достаточно слабымъ, чтобы возможно было оперировать такимъ образомъ безпрепятственно.

Кристаллы, осаждающіеся въ очень кисломъ растворѣ, имѣютъ форму очень продолговатыхъ иглъ, по виду совершенно одинаковыхъ какъ для хлористаго барія, такъ и для хлористаго радія. И тѣ, и другія обнаруживаютъ двойное лучепреломленіе. Кристаллы хлористаго радіеноснаго барія осаждаются безцвѣтными, но когда радій появляется въ достаточной пропорціи, они принимаютъ по истеченіи нѣсколькихъ часовъ желтое окрашиваніе, переходящее въ оранжевое, иногда прекрасное розовое. Это окрашиваніе исчезаетъ въ растворѣ. Кристаллы чистаго хлористаго радія не окрашиваются, или если и окрашиваются, то, по крайней мѣрѣ, не такъ быстро, такъ что окрашиваніе зависитъ отъ одновременнаго присутствія барія и радія. Maximum окрашиванія наступаетъ при нѣкоторой концентраціи радія, и можно, основываясь на этомъ свойствѣ, слѣдить за успѣхами дробленія. Пока наиболѣе активная порція окрашивается, она содержитъ значительное количество барія; когда же она болѣе не окрашивается, а слѣдующія порціи окрашиваются, то это значитъ, что первая замѣтно представляетъ чистый хлористый радій.

Я замѣчала иногда образованіе въ осадкѣ кристалловъ, изъ которыхъ одна часть оставалась безцвѣтною, въ то время какъ

другая окрашивалась. Казалось возможнымъ отдѣлить безцвѣтные кристаллы сортировкой, но это не было испробовано.

Въ концѣ дробленія отношеніе активностей послѣдовательныхъ порцій расходится съ начальнымъ и не отличается прежнею правильностью; однако, въ ходѣ дробленія не происходитъ никакого серьезнаго разстройства.

Когда предпринимается обработка нѣсколькихъ килограммовъ хлористаго радіеноснаго барія, извлеченнаго изъ одной или нѣсколькихъ тоннъ руды, то нужно внести нѣкоторыя измѣненія въ способъ оперирования. Первое дробленіе производится тогда на заводѣ; назначается получить соль, обогащенную радіемъ по исключенію 90% соли барія. Это первое дробленіе требуетъ относительно большихъ объемовъ насыщеннаго раствора; оно выполняется въ плавильныхъ чанахъ, и дистиллированная вода замѣняется дождевою или рѣчною, содержащею незначительное количество солей и тщательно очищенною отъ всякаго слѣда сѣрной кислоты посредствомъ осажденія растворомъ хлористаго барія.

Дробное осажденіе воднаго раствора хлористаго радіеноснаго барія алкоголемъ приводитъ также къ отдѣленію хлористаго радія, который осаждается первымъ. Этотъ методомъ я пользовалась вначалѣ и затѣмъ его оставила для только-что изложеннаго, отличающагося бѣльшею правильностью. Однакожъ я примѣняла иногда осажденіе алкоголемъ для очищенія хлористаго радія, содержащаго небольшое количество хлористаго барія; этотъ послѣдній остается въ слегка водномъ растворѣ алкоголя и такимъ образомъ можетъ быть удаленъ.

Giesel, который со момента опубликованія нашихъ первыхъ изслѣдованій занялся приготовленіемъ радиоактивныхъ тѣлъ, рекомендуетъ отдѣленіе барія и радія посредствомъ дробной кристаллизаціи въ водѣ смѣси бромистыхъ соединеній. Я могла убѣдиться, что этотъ способъ, дѣйствительно, очень выгоденъ, въ особенности, вначалѣ дробленія. Однако такъ оперировать выгодно только въ томъ случаѣ, когда количество соли, взятой для дробленія, не слишкомъ велико. При нѣсколькихъ килограммахъ является затрудненіе въ израсходованіи соответственнаго количества дорогой бромистоводородной кислоты, и, кромѣ того, плавильные чаны гораздо легче разъѣдаются бромистымъ соединеніемъ, чѣмъ хлористымъ. Но всё-же есть выгода преобразовать въ

бромистое соединеніе хлористое, полученное первымъ дробленіемъ на заводѣ и сильно уменьшенное въ вѣсѣ. Такимъ образомъ осуществляется болѣе быстрое дробленіе, пока количество вещества не станетъ очень малымъ. Но при очень маломъ количествѣ соли операціи съ бромистымъ соединеніемъ менѣе хороши, чѣмъ съ хлористымъ, и именно потому, что первая соль, съ одной стороны, гораздо растворимѣе, съ другой стороны, гораздо измѣнчивѣе второй; растворъ бромистаго соединенія, очень богатый радіемъ въ водѣ, или въ водѣ, подкисленной бромистоводородной кислотой, быстро измѣняется съ освобожденіемъ брома. Поэтому я всегда предпочитаю вновь перевести соль съ очень концентрированнымъ содержаніемъ радія въ хлористое соединеніе, чтобы закончить извлеченіе чистой соли радія и сохранить эту послѣднюю. Дѣйствительно, въ видѣ сухой соли хлористое соединеніе представляетъ болѣе опредѣленную и болѣе прочную соль, чѣмъ бромистое соединеніе, и его самопроизвольное измѣненіе гораздо менѣе значительно.

Какой бы ни былъ примѣненъ способъ дробленія, его полезно контролировать измѣреніями активности.

Необходимо замѣтить, что соединеніе радія, которое было растворено и только-что приведено вновь въ твердое состояніе либо осажденіемъ, либо кристаллизаціей, не обладаетъ по началу неизмѣнною активностью; активность увеличивается приблизительно въ теченіе мѣсяца и достигаетъ нѣкотораго предѣла, всегда одного и того же. Конечная активность въ 5—6 разъ выше начальной. Эти измѣненія, къ которымъ я возвращусь въ дальнѣйшемъ изложеніи, должны быть приняты во вниманіе при измѣреніи активности. Конечная активность опредѣленнѣе, но измѣрять, при ходѣ химической обработки, практичнѣе начальную активность твердаго продукта.

Хотя соль, подвергаемая дробленію, всегда предварительно очищается, часто приходится снова очищать соль, очень богатую радіемъ. Правда, обработка, употребляемая для дробленія, составляетъ сама по себѣ обработку по очищенію, такъ какъ она удаляетъ слѣды солей, очень растворимыхъ въ подкисленной водѣ: солей извести, желѣза, магнезіи, и проч. Но за то накапливаются въ наименѣе растворимой части вмѣстѣ съ солью радія слѣды хлористаго или бромистаго свинца. Вообще, необходимо, прежде чѣмъ приступить къ окончательному исключенію барія, удалить свинецъ, обрабатывая растворъ соли, очень богатый радіемъ, сѣрнистымъ водородомъ.

§ 44. Спектръ радія.—Спектръ радія былъ открытъ Demarçay, который констатировалъ въ искровомъ спектрѣ отъ радіеносныхъ солей барія присутствіе линій, не принадлежащихъ ни одному изъ извѣстныхъ элементовъ; интенсивность ихъ была тѣмъ больше, чѣмъ активнѣе былъ образецъ изслѣдуемой соли. Demarçay'ю же мы обязаны первымъ изслѣдованіемъ спектра радія и опредѣленіемъ наиболѣе важныхъ линій въ области спектра, содержащейся между длинами волнъ  $500^{\mu}$  и  $350^{\mu}$  (1). Изслѣдованіе искрового спектра радія было продолжено и дополнено работами Runge и Precht'a, Exner'a и Haschek'a и Crookes'a, такъ что этотъ спектръ въ настоящее время очень хорошо извѣстенъ (2).

Общій видъ спектра такой, какъ у щелочно-земельныхъ металловъ. Въ немъ замѣчаются рѣзкія и узкія линіи и нѣсколько туманныхъ полосъ. Вотъ перечень важнѣйшихъ линій:

Область спектра	Длина волны въ $\mu$	Интенсивность
Зеленая . . . . .	482,61	средняя
Голубая . . . . .	468,23	очень сильная
Ультрафіолетовая . .	453,33	средняя
	443,65	>
	434,08	сильная
	381,46	самая сильная
	364,97	сильная
	281,40	>
	270,86	>

Вотъ таблица, дающая длины волнъ линій спектра радія по измѣреніямъ Runge и Precht'a. Спектръ былъ полученъ фотографически посредствомъ вогнутой сѣтки Rowland'a съ радіусомъ кривизны въ 1<sup>м</sup>. Фотографическая пластинка была сдѣлана чувствительною для красной части. Интенсивности линій указаны числами:

Длина волны въ $\mu$	Интенсив- ность
644,63 . . . . .	8
633,72 . . . . .	6
620,06 . . . . .	10
616,74 . . . . .	8
595,84 . . . . .	10
581,88 . . . . .	15

(1) Demarçay, *Comptes rendus*, декабрь 1898 г., ноябрь 1899 и июль 1900 .

(2) Runge и Precht, *Ann. de Chim. et de Phys.*, 1904 г.

Длина волны въ $\mu$ .	Интенсив- ность
566,08 . . . . .	10
561,67 . . . . .	8
560,17 . . . . .	8
555,62 . . . . .	6
555,38 . . . . .	6
550,21 . . . . .	8
548,88 . . . . .	6
548,21 . . . . .	6
540,68 . . . . .	8
540,03 . . . . .	8
531,97 . . . . .	6
528,34 . . . . .	6
526,46 . . . . .	6
520,60 . . . . .	6
508,12 . . . . .	6
504,15 . . . . .	6
498,21 . . . . .	6
497,19 . . . . .	6
485,62 . . . . .	8
482,61 . . . . .	20
468,24 . . . . .	50
453,33 . . . . .	10
443,65 . . . . .	20
434,08 . . . . .	50
430,50 . . . . .	7
417,80 . . . . .	6
401,05 . . . . .	6
381,46 . . . . .	100
364,97 . . . . .	50
281,38 . . . . .	10
270,90 . . . . .	8

Туманныхъ полосъ двѣ. Онѣ рѣзки, и ихъ максимумы интенсивности соответствуютъ длинамъ волнъ 462  $\mu$ , 75 и 445  $\mu$ , 52.

Спектръ пламени радія также очень характеристиченъ. Въ первый разъ онъ былъ наблюденъ Giesel'емъ, который тогда же констатировалъ, что соли радія сообщаютъ пламени прекрасное карминово-красное окрашиваніе. Вотъ длины волнъ линій, наблюденныхъ въ спектрѣ пламени:

	Область спектра
665,3 . . . . .	красная
660,0 . . . . .	красная (полоса)
630,0 . . . . .	оранжевая (полоса)
482,6 . . . . .	зеленая

Спектральная реакція радія очень чувствительна. Она позволяет открывать въ соляхъ барія слѣды радія настолько слабые, что ихъ нельзя обнаружить опредѣленіемъ атомнаго вѣса. Сравнивая активности чистой соли радія и радіеносной соли барія, дающей въ спектрѣ самую рѣзкую линію радія, приходимъ къ заключенію, что съ помощью спектрального анализа вполне возможно открыть количество радія, равное 0,01<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

По этому поводу можно замѣтить, что методъ, давшій намъ возможность открыть радій, по его радіоактивнымъ свойствамъ, значительно чувствительнѣе, съ этой точки зрѣнія, спектрального анализа. Можно усмотрѣть линію 381<sup>м</sup>, 5 радія съ солью радіеноснаго барія въ 50 разъ болѣе активной, чѣмъ уранъ. Съ другой стороны, можно, безъ всякаго труда, констатировать радіоактивность соли, когда она въ 100 разъ слабѣе радіоактивности урана. Слѣдовательно, методъ, основанный на радіоактивности, оказывается въ настоящемъ случаѣ приблизительно въ 5000 разъ чувствительнѣе метода спектрального анализа и даетъ возможность открывать радій, когда онъ находится въ количествѣ дѣйствительно бесконечно-маломъ. Тѣмъ не менѣе вѣроятно, что чувствительность новаго метода можетъ достигнуть еще гораздо болѣе высокихъ значеній, такъ какъ есть основанія думать, что существуютъ субстанціи, активность которыхъ при равномъ вѣсѣ значительно превосходитъ активность радія.

На таблицѣ II воспроизведенъ сфотографированный искровой спектръ, полученный съ чистымъ хлористымъ радіемъ.

**§ 45. Атомный вѣсъ радія.** — Опредѣленіе атомнаго вѣса радія имѣло большое значеніе, такъ какъ оно приносило съ собою окончательное доказательство, что радій есть тѣло простое и что радіоактивность представляетъ атомическое свойство.

Въ теченіе моей работы я неоднократно опредѣляла атомный вѣсъ металла, содержавшагося въ образцахъ хлористаго радіеноснаго барія<sup>(1)</sup>. Всякій разъ съ полученіемъ при новой обработкѣ новаго запаса хлористаго радіеноснаго барія для обработки я старалась подвинуть концентрацію какъ можно далѣе впередъ, чтобы получить отъ 0<sup>г</sup>,1 до 0<sup>г</sup>,5 вещества, обладающаго почти всею активностью смѣси. Этотъ продуктъ подвергался спектральному анализу и служилъ затѣмъ для опредѣленія атомнаго вѣса.

(1) M<sup>ms</sup> Curie, *Comptes rendus*, 1899 г., 1900 г., 1902 г., 1907 г.

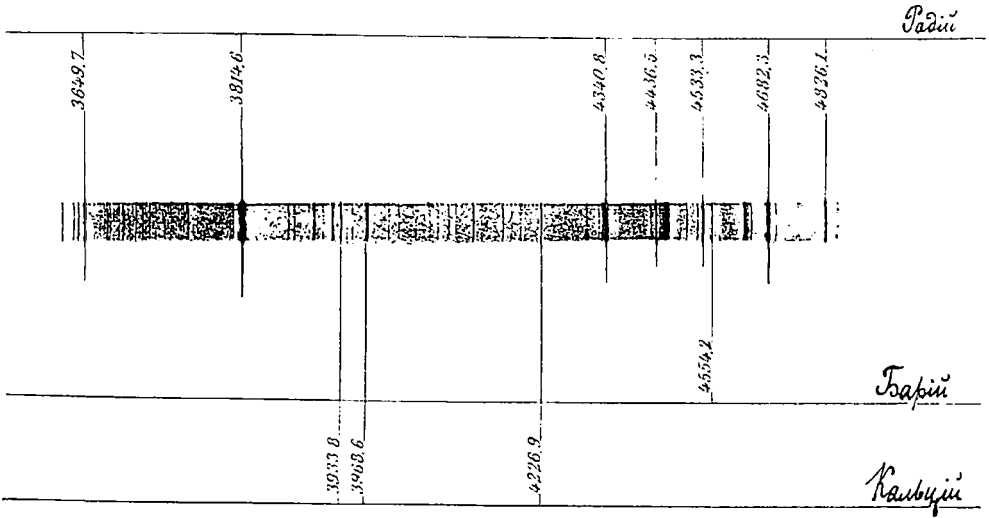
Я пользовалась классическимъ методомъ, состоящимъ въ опредѣленіи, въ состояніи хлористаго серебра, количества хлора въ опредѣленномъ вѣсѣ безводнаго хлористаго соединенія. Въ качествѣ повѣрочнаго опыта я опредѣляла атомный вѣсъ барія по тому же методу, при тѣхъ же условіяхъ и съ тѣмъ же количествомъ вещества,  $0^{гp},5$  сначала,  $0^{гp},1$  только потомъ. Найденныя числа всегда содержались между 137 и 138. Я увидѣла такимъ образомъ, что этотъ методъ даетъ удовлетворительные результаты, даже съ такимъ слабымъ количествомъ вещества.

Два первыхъ опредѣленія были сдѣланы съ хлористыми соединеніями, изъ которыхъ одно было въ 230 разъ, а другое въ 600 разъ активнѣе урана. Эти два опыта дали, въ предѣлахъ точности измѣреній, то же число, что и опытъ съ чистымъ хлористымъ баріемъ. Значитъ, надѣяться найти разность можно было только при употребленіи гораздо болѣе активнаго продукта. Слѣдующій опытъ былъ произведенъ съ хлористымъ соединеніемъ, активность котораго была приблизительно въ 3500 разъ больше активности урана; этотъ опытъ далъ впервые возможность замѣтить небольшую, но опредѣленную разность; я нашла, для средняго атомнаго вѣса металла, содержавагося въ этомъ хлористомъ соединеніи, число 140, а это указывало на то, что атомный вѣсъ радія долженъ быть выше атомнаго вѣса барія. Употребляя все болѣе и болѣе активные продукты, дающіе спектръ радія съ возрастающею интенсивностью, я констатировала, что полученныя числа также возрастали, какъ можно видѣть изъ слѣдующей таблички (А указываетъ приблизительную активность хлористаго соединенія, если активность урана принять за единицу;  $P$  — найденный атомный вѣсъ):

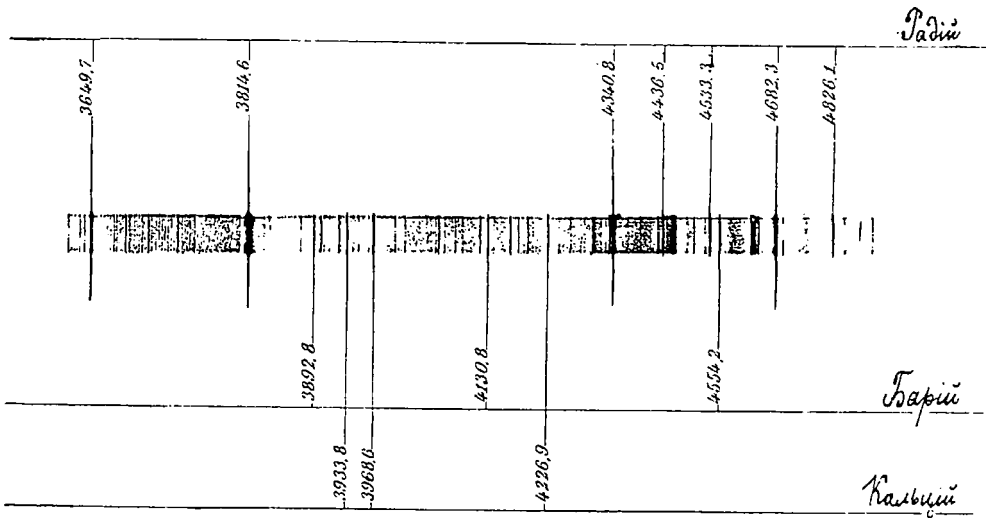
	А	P	
	3500	140	} спектръ радія очень слабъ.
	4700	141	
	7500	145,8	
Порядокъ величины 10 <sup>0</sup>	}	173,8	оба спектра почти одинаковой силы.
		223	видны только три наиболѣе рѣзкія линіи барія, съ весьма значительною интенсивностью.
		225,3	тѣ же три линіи очень слабы (опыты произведены приблизительно надъ $0^{гp},1$ хлористаго соединенія).
		226,45	наиболѣе рѣзкая линія барія ( $455^{u},42$ ) очень слаба (опыты произведены приблизительно надъ $0^{гp},4$ хлористаго соединенія).



Чистый хлористый Радий



Чистый хлористый Радий,  
смешанный с 0,6% хлористого бария



На числа столбца *A* должно смотрѣть, какъ на грубо приближенныя, дающія активность въ круглыхъ цифрахъ. Дѣйствительно, оцѣнка активности сильно радиоактивныхъ тѣлъ трудна по разнымъ причинамъ, о которыхъ рѣчь будетъ дальше.

Три ряда опытовъ, давшихъ три послѣднихъ числа въ столбцѣ *P*, преимущественно должны быть приняты во вниманіе при опредѣленіи атомнаго вѣса радія; эти опыты будутъ описаны здѣсь съ нѣкоторыми подробностями.

Занимаясь обработкою по очищенію, я получила, въ 1902 г.,  $0^{г},12$  почти чистаго хлористаго радія; спектръ съ этою солью являлъ еще три главныхъ линій барія съ значительною интенсивностью; но при данной чувствительности спектральной реакціи барія можно было думать, что это тѣло находилось въ довольно слабой пропорціи. Я произвела съ этимъ хлористымъ соединеніемъ четыре послѣдовательныхъ опредѣленія, давшихъ для атомнаго вѣса слѣдующія числа:

220,9,      223,2,      223,0,      223,3.

Я предприняла новую очистку этого хлористаго соединенія и добилась полученія еще гораздо болѣе чистаго вещества, въ спектрѣ котораго двѣ наиболѣе рѣзкія линіи барія очень слабы. По мнѣнію Demarçay'я это очищенное хлористое соединеніе могло содержать лишь ничтожныя слѣды барія, не могущіе вліять ощутительно на атомный вѣсъ. Я выполнила три опредѣленія съ этимъ очень чистымъ хлористымъ радіемъ, котораго было у меня только  $0^{г},09$ . Вотъ результаты:

Безводный хлористый радій . . . . .	P
0,0919 . . . . .	225,5
0,08935 . . . . .	226,0
0,0884 . . . . .	224,2

Средняя изъ значеній, полученныхъ для *P*, равнялась 225,2; при данномъ согласіи измѣреній я сочла возможнымъ принять это число за точное съ приближеніемъ до единицы.

Хлористый радій въ этихъ опытахъ употреблялся въ очень незначительномъ количествѣ и являлось желательнымъ произвести новый рядъ опредѣленій надъ бѣльшимъ количествомъ чистой соли. Я смогла предпринять эту работу въ 1907 г., имѣя въ своемъ распоряженіи  $0^{г},4$  тщательно очищеннаго хлористаго радія. Очистка производилась слѣдующимъ образомъ.

Хлористое соединеніе растворялось въ водѣ, смѣшанной съ соляною кислотою; растворъ выпаривался на водяной банѣ, и получались прекрасные кристаллы въ формѣ иголъ. Кристаллизацию продолжали до тѣхъ поръ, пока не осаждалась почти вся соль, затѣмъ давали остыть и сливали жидкость, содержащую лишь очень немного соли (1<sup>мг</sup> или 2<sup>мг</sup> на нѣсколько кубическихъ сантиметровъ маточнаго раствора). Я произвела большое число операций этого рода, соединяя всегда вмѣстѣ исключаемыя порціи. Соль оказалась раздѣленною такимъ образомъ на двѣ порціи: головную и концевую.

Успѣхи дробленія контролировались фотографіями спектра некръ. Въ особенности удобно сравнивать относительное значеніе линій 455,42 барія и 453,33 радія. Эти линіи, очень близкія и очень ясныя, легко поддаются сравненію. Линія 455,42—наиболѣе рѣзкая въ спектрѣ барія; линія 453,33 представляетъ, въ спектрѣ радія, линію средней интенсивности.

Послѣ нѣкотораго числа операций предѣлъ дѣйствительности метода казался достигнуть, и линія 455,42 барія, ставшая слабою, не уменьшалась болѣе въ относительной интенсивности. Тогда я снова прибѣгла къ методу осажденія алкоголемъ, уже употреблявшемуся мною раньше. Алкоголь прибавлялся каплями къ очень концентрированному и непрерывно взбалтывавшемуся водному раствору до тѣхъ поръ, пока соль не осаждалась почти сплошн. Затѣмъ жидкость сливалась и прибавлялась къ концевой порціи

Нѣсколькими такими операциями я достигла значительнаго улучшенія. Линія 455,42 стала крайне слабою, но совсѣмъ, однако, не исчезла. Напротивъ, въ спектрѣ концевой порціи эта линія явно была рѣзче смежной линіи 453,33 радія.

Когда очистка была прекращена, самая рѣзкая линія барія еще виднѣлась очень слабо возлѣ своей сосѣдки. Ея полное исключеніе являлось труднымъ съ тѣмъ количествомъ вещества, которымъ я располагала. Далѣе увидимъ, что чистота соли была, тѣмъ не менѣе, очень велика.

Вотъ числа, полученныя при трехъ послѣдовательныхъ опытахъ, произведенныхъ съ этимъ хлористымъ соединеніемъ:

Возвѣдный хлористый радій	P
0,4052 . . . . .	226,62
0,4020 . . . . .	226,31
0,39335 . . . . .	226,42

Эти три весьма согласныхъ опыта даютъ для атомнаго вѣса радія среднее значеніе

Ra . . . . . 226,45

Значенія этого атомнаго вѣса  $P$ , выведенныя изъ разныхъ опытовъ, были вычислены при допущеніи, что радій—двувалентный металлъ и что атомные вѣса серебра и хлора соотвѣтственно:

Ag . . . . . 107,93      Cl . . . . . 35,45

Во время операціи, имѣвшихъ цѣлью очищеніе хлористаго радія, встрѣтились нѣкоторыя затрудненія. При выпариваніи въ фарфоровой чашкѣ или въ стаканѣ свѣтлаго раствора радіевой соли сухая соль является, вообще, не вполне растворимою въ дистиллированной водѣ и оставляетъ остатокъ. Я убѣдилась, что этотъ остатокъ есть главнымъ образомъ сѣрнокислая соль.

Сѣрнокислая соль радія чрезвычайно мало растворима; дистиллированная вода и обычныя чистыя кислоты содержатъ слѣды сѣрной кислоты, достаточныя для осажденія радія. Присутствіе этихъ слѣдовъ сѣрной кислоты не можетъ быть установлено прямо посредствомъ хлористаго барія, но осаждается имъ остатокъ отъ выпариванія довольно большого объема дистиллированной воды или чистыхъ кислотъ обычнаго обращенія.

Всѣ эти реактивы были тогда приготовлены спеціально. Вода была вновь дистиллирована сначала въ стеклянныхъ сосудахъ; когда эта операція оказалась неудовлетворительною (можетъ-быть вслѣдствіе присутствія сѣрнокислыхъ солей въ стеклѣ), дистиллированіе было произведено въ платиновомъ приборѣ. Результатъ оказался хорошимъ. Эта вода служила для приготовленія соляной кислоты, которая сохранялась въ платиновой бутылкѣ. Также былъ вновь дистиллированъ алкоголь.

Эти предосторожности вели къ значительному сокращенію нерастворимыхъ остатковъ, но не къ полному ихъ устраненію. Присутствіе очень незначительныхъ нерастворимыхъ остатковъ, которые все-таки образовывались, можно было приписать только лишь развѣданію чашекъ и стакановъ хлористымъ радіемъ. Я пробовала испарять кислый растворъ хлористаго радія въ платиновой чашкѣ, но эта послѣдняя подверглась очевидному воздѣйствію съ раствореніемъ значительнаго количества платины. Значитъ, оставалось одно только средство—быстрота оперированія. Въ самомъ дѣлѣ,

воздѣйствіе на сосуды, повидному, имѣетъ мѣсто въ особенноти тогда, когда еще влажные кристаллы находятся въ соприкосновеніи со стѣнками. Растворъ хлористаго радія можетъ сохраняться свѣтлымъ въ теченіи долгаго времени, и если его выпарить, то нерастворимый остатокъ всегда сравнительно ничтоженъ. Точно такъ же сухая соль, заключенная въ пузырькъ или помѣщенная въ чашку, никогда не становится въ бѣльшей своей части нерастворимою, даже по истеченіи года или болѣе. Нерастворимое соединеніе образуется мало-по-малу при многочисленныхъ выпариваніяхъ раствора соли. Это соединеніе представляетъ, вѣроятно, силикатъ, но я въ этомъ не увѣрена.

Когда послѣ фильтраціи свѣтлый растворъ хлористаго радія, содержащій соляную кислоту, быстро и досуха выпаренъ на водяной банѣ, осѣвшіе кристаллы, собранные и высушенные въ сушильной печи при  $150^{\circ}$ , растворяются въ чистой водѣ безъ остатка и, слѣдовательно, могутъ служить для опредѣленія атомнаго вѣса.

Вотъ ходъ опредѣленія атомнаго вѣса.

Хлористый радій, только-что выкристаллизованный изъ свѣтлаго раствора, высушивается на водяной банѣ и перекладывается въ платиновый тигель, предварительно взвѣшенный. Тигель ставится въ сушильную печь и выдерживается въ ней въ теченіи получаса при  $150^{\circ}$ . Соль теряетъ тогда сполна свою кристаллизационную воду и принимаетъ постоянный вѣсъ, который опредѣляютъ, охлаждая тигель въ эксиккаторѣ съ фосфорнымъ ангидридомъ и взвѣшивая его съ наивозможною быстрою, чтобы избѣжать поглощенія водяныхъ паровъ во время взвѣшиванія. Я провѣрила, что вѣсъ соли не измѣняется при новомъ нагрѣваніи до  $150^{\circ}$ ; въ дѣйствительности кристаллизационная вода изгоняется уже при  $120^{\circ}$  или  $130^{\circ}$  въ теченіи времени получасоваго порядка для взятаго вѣса. Можно затѣмъ довести соль до температуры въ  $200^{\circ}$  безъ измѣненія ея вѣса; значить, соль находится въ совершенно опредѣленномъ состояніи, и допускается, что она отвѣчаетъ формулѣ  $RaCl^2$ .

По взвѣшиваніи соли растворяютъ ее въ водѣ въ стаканѣ и прибавляютъ горячаго раствора азотнокислаго серебра (очищеннаго посредствомъ кристаллизаціи) съ очень небольшимъ содержаніемъ очищенной азотной кислоты. При взбалтываніи и

умѣренномъ нагрѣваніи хлористое серебро собирается въ видѣ тяжелыхъ ключевъ. Когда растворъ свѣтлѣе, хлористое серебро отбирають фильтрованіемъ и промываютъ его горячею водою, слегка подкисленною азотною кислотою. Осадокъ высушиваютъ и отдѣляютъ отъ фильтра. Этотъ послѣдній сжигается въ тиглѣ; зола выпаривается сначала съ каплею азотной кислоты, затѣмъ съ каплею соляной кислоты. Остатокъ въ тиглѣ долженъ быть весьма ничтоженъ по сравненію со всею суммою осадка. Этотъ послѣдній прибавляется тогда въ тигель и нагрѣвается до плавленія, но не болѣе, чѣмъ нужно для полученія плавленія. Тиглю даютъ остыть въ эксиккаторѣ и взвѣшиваютъ его.

Взвѣшиванія производились на аперіодическихъ вѣсахъ Кюри съ непосредственнымъ отсчитываніемъ въ микроскопъ тяжести ниже дециграмма. Эти вѣсы съ весьма быстрыми взвѣшиваніями точны до  $\frac{1}{10}$  миллиграмма, и можно довести точность даже до  $\frac{1}{20}$  миллиграмма. Взвѣшиваемыя тяжести были въ предѣлахъ точности. Каждое взвѣшиваніе длилось весьма короткое время, при чемъ вѣсы приходили въ положеніе равновѣсія приблизительно 10 секундъ спустя послѣ своего отпусканія. Взвѣшиваніе хлористаго радія труднѣе взвѣшиванія хлористаго серебра, потому что первая изъ этихъ солей поглощаетъ воду даже тогда, когда вѣсы содержатъ высушивающія вещества, тогда какъ вторая не поглощаетъ ея сколько-нибудь ощутительно. Поэтому можно нѣсколько разъ возобновлять взвѣшиваніе хлористаго серебра, тогда какъ взвѣшиваніе хлористаго радія должно удался тотчасъ и не можетъ быть возобновлено иначе, какъ послѣ новаго выдерживанія соли въ сушильной печи. Быстрота взвѣшиваній представляетъ, въ этомъ случаѣ, существенное условіе для обезпеченія ихъ точности. Способъ отсчитыванія въ микроскопъ имѣетъ большое преимущество: малѣйшее быстрое измѣненіе въ вѣсѣ не ускользаетъ и непосредственно опредѣляется.

Послѣ каждаго дозированія прибавлялась соляная кислота къ раствору азотнокислыхъ солей радія и серебра; исключались хлористое серебро посредствомъ фильтрованія и азотная кислота посредствомъ кристаллизаціи, повторенной въ присутствіи избытка соляной кислоты. Пока есть еще азотная кислота, кристаллы окрашиваются въ красный цвѣтъ; соединеніе радія, окрашивающееся

такимъ образомъ, представляетъ, вѣроятно, сложное соединеніе, можетъ-быть, нитрозохлористое <sup>(1)</sup>.

Хлористое серебро, употребленное на дозированіе, всегда было радиоактивнымъ и свѣтящимся. Чтобы убѣдиться, что оно не увлекало съ собою вѣсимаго количества радія, опредѣлялось содержавшееся въ немъ количество серебра. Для этой цѣли расплавленное хлористое серебро, заключенное въ тигль, возстановлялось водородомъ, выдѣлявшимся отъ разложенія цинкомъ разбавленной соляной кислоты; послѣ промыванія тигель взвѣшивался вмѣстѣ съ полученнымъ металлическимъ серебромъ.

Равнымъ образомъ я констатировала, въ одномъ изъ опытовъ, что вѣсь возстановленнаго хлористаго радія вновь оказывался тотъ же, что и до операціи. Въ остальныхъ опытахъ я не дожидала, чтобы приступить къ новой операціи, испаренія всѣхъ промывныхъ водъ.

Наконецъ, количество радія, удерживаемое хлористымъ серебромъ, было опредѣлено посредствомъ эманации, выдѣляемой расплавленной солью (§ 70;) пропорція увлеченнаго радія оказалась не стоящею вниманія.

Сравнивая между собою числа, полученные мною для атомнаго вѣса радія въ 1902 г. и въ 1907 г., находимъ, что расхожденіе двухъ среднихъ 225,2 и 226,45 едва превосходитъ единицу. Въ спектрѣ хлористаго соединенія, дозированнаго (то, въ которомъ опредѣлены количества составныхъ частей) въ 1902 г., барій, повидимому, имѣетъ немного больше значенія, чѣмъ въ спектрѣ хлористаго соединенія, дозированнаго въ 1907 г. Въ обоихъ спектрахъ линія 455,42 барія весьма слабо видна возлѣ линіи 453,33 радія, но, однако, можетъ быть установлено небольшое различіе въ частотѣ въ пользу болѣе недавно приготовленной соли. Я убѣдилась непосредственнымъ опытомъ, что расхожденіе на единицу между атомными вѣсами не можетъ проистекать изъ этого различія, но должно считать менѣе точными опыты, произведенные въ 1902 г. Для этой цѣли я приготовила съ нѣсколькими миллиграммами хлористаго радія 1907 г. растворъ и разбавила его неболь-

---

<sup>(1)</sup> *Нитрозосоединеніями* называются вещества, въ которыхъ допускается остатокъ NO (въ соединеніяхъ азотистой кислоты), подобно тому какъ остатокъ NO<sup>2</sup> признается въ соединеніяхъ азотной кислоты. *Примч. пере.*

шимъ количествомъ титрированного<sup>(1)</sup> раствора хлористаго барія. Пропорція хлористаго барія въ смѣси обѣихъ солей была 0,61%. Въ спектрѣ этой соли констатируется большое возрастание интенсивности баріевыхъ линій. Линія 455,42 почти такъ же въ немъ рѣзка, какъ и линія 453,33 радія, и остальные линіи барія, въ особенности 389,28 и 413,08, очень видны. Однако измѣненіе атомнаго вѣса, вычисленное по извѣстному разбавленію хлористымъ баріемъ, ниже единицы (0,7 единицы). Значитъ, очевидно, что различіе между числомъ 1902 г. и числомъ 1907 г. должно быть приписано только увеличенію точности опытовъ.

Опытъ съ прибавленіемъ барія доказываетъ въ то же время, что спектральная реакція барія въ присутствіи радія очень чувствительна и что употребленный для дозирования хлористый радій, въ спектрѣ котораго наиболѣе рѣзкая линія барія 455,42 очень слаба, долженъ считаться чрезвычайно чистымъ. Я думаю, что это хлористое соединеніе содержитъ меньше 0,06% хлористаго барія и что, слѣдовательно, отъ такого его количества атомный вѣсъ радія могъ бы претерпѣть измѣненіе лишь на величину, меньшую одной десятой единицы.

Чтобы заставить совѣмъ исчезнуть наиболѣе рѣзкую линію барія въ спектрѣ радія, нужно было бы оперировать надъ большимъ количествомъ вещества. Къ тому же можно замѣтить, что эта линія слабѣе линій *H* и *K* (396,86 и 393,38) кальція, который, однако, не улавливается вѣсами.

Спектры чистаго хлористаго радія и хлористаго радія, смѣшаннаго съ 0,61% хлористаго барія, воспроизведены на Таблицѣ II съ указаніемъ наиболѣе важныхъ линій<sup>(2)</sup>.

Въ цѣломъ моя работа приводитъ къ тому, чтобы приписать радію атомный вѣсъ 226,45 при указанномъ выше основаніи. Разъ оказалось согласіе въ измѣреніяхъ и выполнены различные контрольные опыты, я полагаю возможнымъ считать это число точнымъ съ приближеніемъ до половины единицы. Весьма замѣ-

(1) *Титрование*—методъ химическаго анализа, состоящій въ измѣреніи объема данныхъ по крѣпости растворовъ; служитъ для скорого и точнаго количественнаго опредѣленія. *Примѣч. перв.*

(2) Слѣдуетъ замѣтить, что на этой репродукціи наиболѣе слабыя линіи вышли лучше наиболѣе сильныхъ, по сравненію съ клише, полученнымъ прямо фотографією. Такъ, линія 455,42 барія въ спектрѣ чистой соли гораздо виднѣе на репродукціи, чѣмъ на клише.



чательно, что въ распоряженіи имѣется достаточно совершенный методъ для полученія съ такою степенью точности столь высокаго атомнаго вѣса при оперированіи надъ столь незначительнымъ количествомъ вещества; это послѣднее, притомъ, слишкомъ драгоценно, чтобы можно было рисковать его потерей, выполняя много разъ рядъ необходимыхъ операцій для опредѣленія атомнаго вѣса.

Можно думать, что хлористое соединеніе, въ спектрѣ котораго линіи 455,42 барія и 453,33 радія имѣютъ одну и ту же интенсивность, соответствуетъ среднему атомному вѣсу 223 или 224.

Рядъ измѣреній, имѣющихъ цѣлью опредѣленіе атомнаго вѣса радія, былъ выполненъ Thorpe'омъ надъ количествомъ хлористаго радія отъ 0<sup>г</sup>р,06 до 0<sup>г</sup>р,08 (1). Эта соль была приготовлена Thorpe'омъ по моему методу, и методъ, употребленный для дозирования былъ также одинаковъ съ моимъ. Чистота соли контролировалась изслѣдованіемъ искрового спектра. Принимая за основаніе  $Ag = 107,93$ ,  $Cl = 35,45$ , онъ получилъ, въ трехъ послѣдовательныхъ опытахъ, числа: 226,8, 225,7 и 227,7. Средняя трехъ полученныхъ чиселъ есть 226,7; эта средняя отличается только на 0,25 единицы отъ числа 226,45, вытекающаго изъ моихъ опытовъ. Это согласіе въ результатахъ, полученныхъ различными экспериментаторами, надъ солью, приготовленною независимо во Франціи и въ Англии, весьма замѣчательно и представляетъ серьезную гарантію точности полученнаго числа для атомнаго вѣса радія. Притомъ является естественнымъ принять для этого послѣдняго значеніе 226,45, данное мною, такъ какъ мои опыты производились надъ количествомъ чистой соли въ пять разъ бѣльшимъ количествомъ, бывшаго въ распоряженіи Thorpe'a, и представляютъ между собою очень тѣсное согласіе.

Значеніе атомнаго вѣса радія, опубликованное мною въ 1902 г., было вскорѣ оспорено Рунге и Прехтомъ (2). Эти ученые сдѣлали сравнительное изслѣдованіе спектровъ щелочно-земельныхъ металловъ, включая сюда и радій, и сочли возможнымъ заключить изъ этого изслѣдованія, что атомный вѣсъ радія равенъ 258. Если бы это было такъ, то соль, которую я принимала за чистую, содержала бы въ сильной пропорціи барій (около 20%); такое предположеніе

(1) Thorpe, *Proc. Roy. Soc.*, 1908 г.

(2) Runge и Precht, *Phys. Zeit.*, 1903 г.

являлось недопустимымъ. Опыты, выполненные мною въ 1907 г., также какъ и одновременно произведенные опыты Thonre'a, ставятъ внѣ сомнѣнія, что атомный вѣсъ радія близокъ къ 226. Контрольный опытъ, выполненный съ прибавленіемъ хлористаго барія къ чистому хлористому радію, кромѣ того доказываетъ, что спектральная реакція барія въ присутствіи радія, какъ и должно было ожидать, очень чувствительна и что, значитъ, изслѣдованіе спектра представляетъ достаточную гарантію чистоты радіевой соли. Съ другой стороны, Watts<sup>(1)</sup> показалъ, что болѣе глубокое изслѣдованіе спектровъ можетъ дать результатъ, близкій къ тому, который получается изъ непосредственнаго опыта.

**§ 46. Свойства радіевыхъ солей.** Соли радія имѣютъ, вообще, химическія свойства, весьма аналогичныя свойствамъ солей барія. Мы видѣли, что хлористыя и бромистыя соединенія этихъ двухъ элементовъ кристаллизуются вмѣстѣ во всякой пропорціи; это изоморфныя соли, различающіяся между собою по различной растворимости: соли радія менѣе растворимы солей барія. Изоморфизмъ бромистыхъ соединеній барія и радія былъ доказанъ пзмѣреніемъ кристаллографическихъ элементовъ этихъ двухъ солей, которыя обѣ кристаллизуются въ одноклиномѣрной системѣ съ весьма подобными параметрами<sup>(2)</sup>. Вѣроятно поэтому, что бромистое соединеніе радія кристаллизуется, какъ и бромистое соединеніе барія, съ 2 молекулами воды. То же предположеніе можно сдѣлать и для хлористаго соединенія.

Хлористое и бромистое соединенія радія не растворяются ни въ концентрированныхъ кислотахъ, ни въ абсолютномъ спиртѣ.

Азотнокислый радій растворимъ въ водѣ; дробленіе смѣси азотнокислаго барія и азотнокислаго радія не ведетъ къ осуществленію концентраціи радія; поэтому растворимости обѣихъ солей, вѣроятно, сходны.

Сѣрнокислый радій нерастворимъ въ водѣ и въ кислотахъ, концентрированныхъ или разбавленныхъ. Углекислый радій нерастворимъ въ водѣ. Радій не осаждается ни сѣрнистымъ водородомъ въ кислотѣ, ни сѣрнистымъ аммоніемъ въ разбавленномъ щелочномъ растворѣ.

(1) Watts, *Phil. Mag.*, 1909 г.

(2) Rinne, *Jahrbuch d. Rad.*, 1906 г.

Нельзя осадить металлъ посредствомъ электролиза раствора азотнокислаго радія съ платиновыми электродами.

Магнитныя свойства металла неизвѣстны; однакожъ чистый хлористый радій парамагнитенъ, тогда какъ хлористый барій діамагнитенъ. Специфическій коэффициентъ намагниченія  $K$  (отношеніе магнитнаго момента единицы массы къ интенсивности поля) былъ измѣренъ П. Кюри и С. Шэневеау посредствомъ прибора, устроеннаго этими двумя физиками (1). Этотъ коэффициентъ былъ измѣренъ по сравненію съ коэффициентомъ воды и исправленъ на магнетизмъ воздуха. Такимъ образомъ было найдено для хлористаго радія

$$K = 1,05 \cdot 10^{-6}$$

и для хлористаго барія

$$K = -0,40 \cdot 10^{-6}.$$

Сверхъ того находимъ, согласно съ предыдущими результатами, что хлористый радіеносный барій, содержащій около 17% хлористаго радія, діамагнитенъ и обладаетъ специфическимъ коэффициентомъ

$$K = -0,20 \cdot 10^{-6} \text{ (}^2\text{)}.$$

Можно констатировать, что радій, по своимъ химическимъ свойствамъ и по внѣшнему виду своего спектра, относится къ группѣ щелочно-земельныхъ металловъ и представляетъ въ ней высшій гомологъ барія.

Равнымъ образомъ, по своему атомному вѣсу радій въ періодической системѣ Менделѣева слѣдуетъ за баріемъ въ столбцѣ щелочно-земельныхъ металловъ и одновременно находитъ мѣсто въ ряду, содержащемъ уже уранъ и торій.

(1) Curie и Chéneveau, *Soc. de Physique*, 1903 г.

(2) Въ 1899 г. Saint-Meyer высказалъ, что углекислый радіеносный барій парамагнитенъ (*Wied. Ann.*, т. LXVIII). Однакожъ Meyer оперировалъ съ продуктомъ, весьма мало богатымъ радіемъ и содержащимъ, вѣроятно, только  $\frac{1}{1000}$  радіевой соли. Этотъ продуктъ долженъ былъ бы оказаться діамагнитнымъ. Вѣроятно, вещество содержало небольшую примѣсь желѣза.



Если съ химической точки зрѣнія радіи представляется намъ со всѣми признаками щелочно-земельнаго металла, то онъ, одна-кожъ, существенно отличается отъ элементовъ этой группы сво-ими радиоактивными свойствами. Вотъ каковы признаки радія, какъ радиоактивнаго элемента.

Радіи надѣленъ длительною радиоактивностью. Онъ испускаетъ поглощаемые лучи и лучи проникающіе. Активность его солей увеличивается, начиная съ ихъ приготовленія въ твердомъ видѣ, и достигаетъ постояннаго предѣла приблизительно въ теченіи мѣсяца.

Соли радія служатъ источникомъ значительнаго выдѣленія теплоты, самопроизвольнаго и непрерывнаго, стремящагося поднять ихъ температуру выше температуры окружающей среды. Эти соли самопроизвольно свѣтящіяся; галоидныя соли, въ особенности, могутъ испускать яркіи свѣтъ. Одновременно соли испытываютъ постепенное измѣненіе, обнаруживающееся самопроизвольнымъ окрашиваніемъ первоначально безцвѣтной соли. Хлористое соединеніе выдѣляетъ кислородныя соединенія хлора, бромистое соединеніе—брома. Вблизи солей радія можно констатировать образованіе озона. Растворы этихъ солей порождаютъ непрерывное выдѣленіе газа, большею частію со взрывами; эта реакція въ своей непрерывности представляетъ весьма поразительный химическій эффектъ. Однакожъ констатируется еще болѣе замѣчательный фактъ: непрерывное образованіе гелія въ присутствіи солей радія. Всѣ эти эффекты будутъ рассмотрѣны подробно въ дальнѣйшемъ изложеніи. Здѣсь достаточно указать, какъ глубоко различіе между радіемъ и элементами его группы, въ особенности, баріемъ.

Соединенія радія порождаютъ непрерывное испусканіе радиоактивной эманации, характеризуемой закономъ самопроизвольнаго ея разрушенія въ функціи отъ времени; радиоактивность нѣкотораго количества этой эманации уменьшается на половину почти въ 4 дня. Эманация радія проявляетъ себя, какъ матеріальный газъ, надѣленный радиоактивностью; въ настоящее время она разсматривается, какъ газъ, испытывающій самопроизвольное и правильное разрушеніе, съ превращеніемъ въ матерію другого рода. Эманация радія обладаетъ свойствомъ сообщать временную активность тѣламъ, находящимся въ соприкосновеніи съ нею. Эта активность, называемая *индуктивною*, постепенно исчезаетъ по освобожденіи активированнаго тѣла отъ дѣйствія эманации; исчезаніе

индуктивной радиоактивности характеризуется весьма определенным законом: несколько часовъ спустя послѣ начала разактивирования активность уменьшается на половину въ каждыя 28 минутъ приблизительно.

**§ 47. Полоній. Приготовление и свойства.** — Полоній находится въ сѣрнистыхъ соединеніяхъ, образующихся въ кислотѣ растворѣ урановыхъ рудъ. Вотъ какъ можно добыть довольно быстро нѣкоторое количество полонійныхъ сѣрнистыхъ соединеній: обрабатываютъ разбавленною соляною кислотою руду (остатокъ смоляной урановой руды), которая не была еще подвергнута обычной обработкѣ; сливаютъ свѣтлый кислый растворъ и осаждаютъ его сѣрнистымъ водородомъ. Можно такимъ образомъ получить первую порцію активныхъ сѣрнистыхъ соединеній, обязанныхъ своею активностью полонію; затѣмъ получаютъ прочія полонійныя сѣрнистыя соединенія, пропуская сѣрнистый водородъ въ различные хлористоводородные растворы, получаемые во время полной обработки руды.

Неочищенные сѣрнистыя соединенія, происходящія отъ этой полной обработки, содержатъ главнымъ образомъ висмутъ, немного мѣди и свинца; этотъ послѣдній металлъ находится въ нихъ въ небольшой пропорціи, потому что въ значительной части онъ былъ удаленъ содовымъ растворомъ и потому что его хлористое соединеніе мало растворимо. Антимоній и мышьякъ находятся лишь въ ничтожныхъ количествахъ, такъ какъ ихъ окислы были растворены содою. Хлористоводородные растворы можно осадить сѣрнистымъ водородомъ въ присутствіи большого избытка кислоты; осаждающіяся при этихъ условіяхъ сѣрнистыя соединенія весьма активны, ихъ употребляютъ для приготовленія полонія; въ растворѣ остаются вещества, осажденіе которыхъ неполно въ очень кислотѣ растворѣ (висмутъ, свинецъ, антимоній). Чтобы закончить осажденіе, разбавляютъ растворъ водою, обрабатываютъ его снова сѣрнистымъ водородомъ и получаютъ вторую порцію сѣрнистыхъ соединеній, гораздо менѣе активныхъ, чѣмъ первыя; вообще, они отбрасывались. Для дальнѣйшей очистки сѣрнистыхъ соединеній ихъ промываютъ сѣрнистымъ аммоніемъ, что удаляетъ остающіеся слѣды антимонія и мышьяка. Затѣмъ ихъ промываютъ водою смѣшанной съ азотнокислымъ аммоніемъ, и обрабатываютъ разбавленною азотною кислотою.

Раствореніе никогда не бываетъ полнымъ; всегда получается болѣе или менѣе значительный нерастворимый остатокъ, который снова подвергаютъ обработкѣ, если находятъ это полезнымъ. Растворъ сокращается до небольшого объема и осаждается либо аммакомъ, либо большимъ количествомъ воды. Въ обоихъ случаяхъ мѣдь остается въ растворѣ; во второмъ случаѣ этотъ послѣдній содержитъ сверхъ того свинецъ и небольшое количество едва активнаго висмута.

Неочищенные сѣрнистыя соединенія, извлеченныя изъ перваго хлористоводороднаго раствора руды, содержатъ много антимонія и мышьяка, которые удаляютъ промываніями въ сѣрнистомъ аммоніи или кипяченіемъ съ растворомъ соды. Полоній остается въ этихъ условіяхъ съ висмутомъ въ состояніи сѣрнистаго соединенія или нерастворимаго окисла, тогда какъ антимоній и мышьякъ переходятъ въ растворъ.

Только-что указаннымъ способомъ обработки я пользовалась первоначально въ моихъ лабораторныхъ изслѣдованіяхъ.

Чтобы получить полоній въ болѣе концентрированномъ состояніи, я употребляла уже отмѣченные выше (§ 41) приемы дробленія:

1. Возгонку сѣрнистыхъ соединеній въ пустотѣ; активное сѣрнистое соединеніе возгоняется раньше;

2. Дробное осажденіе весьма кислаго хлористоводороднаго раствора сѣрнистымъ водородомъ; активное сѣрнистое соединеніе менѣе растворимо.

3. Осажденіе водою азотнаго раствора; осажденная первою основная азотнокислая соль наиболѣе активна.

Этотъ послѣдній методъ служилъ при многихъ попыткахъ концентраціи полонія. Осадокъ окисловъ или основныхъ азотнокислыхъ солей подвергался дробленію по слѣдующему способу: растворяютъ осадокъ въ азотной кислотѣ, къ раствору прибавляютъ воды до образованія достаточнаго количества осадка; при этой операциіи нужно принимать въ расчетъ, что осадокъ образуется иногда только по прошествіи нѣкотораго времени. Отдѣляютъ осадокъ отъ плавающей сверху жидкости, вновь его растворяютъ въ азотной кислотѣ; надъ двумя полученными такимъ образомъ жидкими порціями снова производятъ осажденіе водою, и т. д. Соединяютъ разныя порціи, основываясь на ихъ активности, и продолжаютъ концентрацію какъ можно далѣе. Я получила такимъ образомъ очень небольшое количество матеріи, активность которой

была сравнима съ активностью чистыхъ солей радія, но которая, тѣмъ не менѣе, давала въ спектроскопѣ только линіи висмута.

Указанный методъ есть въ то же время методъ очистки отъ слѣдовъ свинца и мѣди, которые могутъ сопровождать полонійный висмутъ; азотнокислыя соли этихъ тѣлъ, будучи растворимыми, оказываются совершенно исключенными. Этотъ методъ представляетъ, однако, большія затрудненія, такъ какъ часто образуются соединенія, совершенно нерастворимыя въ кислотахъ, разбавленныхъ или концентрированныхъ. Эти соединенія можно вновь растворить только по предварительномъ приведеніи ихъ въ металлическое состояніе, напр., посредствомъ сплавленія съ сперодистымъ калиемъ. Когда требуется выполнить значительное число операций, это обстоятельство не можетъ не представить огромнаго затрудненія для успѣховъ дробленія. Такое неудобство тѣмъ тяжелѣе, что полоній есть вещество, которое, разъ извлеченное изъ смоляной урановой руды, слабѣетъ въ своей активности. Пониженіе активности, впрочемъ, медленно; въ настоящее время извѣстно, что активность образца полонія уменьшается на половину приблизительно въ 140 дней.

Никакого аналогичнаго затрудненія не представляется для радія, концентрація котораго совершается весьма правильно; кромѣ того, успѣшность работы можно было, съ самаго начала, постоянно контролировать спектральнымъ анализомъ.

Когда стали извѣстными явленія индуктивной радиоактивности, существованіе полонія, какъ новаго элемента, подверглось сомнѣнію, и явилось предположеніе, что извлеченный изъ смоляной урановой руды висмутъ могъ быть временно активированъ содѣйствіемъ радія въ этой рудѣ. Эта гипотеза измѣнилась вслѣдствіе развитія ученія объ индуктивной радиоактивности. По нынѣшнему истолкованію этого явленія активность висмута, содержащагося въ смоляной урановой рудѣ, зависитъ, правда, отъ присутствія радія въ этой рудѣ; однако активнымъ элементомъ является не висмутъ, но совершенно новый элементъ, образующійся въ присутствіи радія и отдѣляющійся отъ него во время анализа руды, чтобы слѣдовать за висмутомъ, съ которымъ онъ имѣетъ больше химическаго сходства; этотъ элементъ должно считать неустойчивымъ, и допускаютъ, что онъ самопроизвольно разрушается въ функціи отъ времени.



Испускаемые полоніемъ лучи весьма поглощаемы, и вовсе не замѣчается пспусканія проникающихъ лучей. Это важное свойство лученспусканія полонія было доказано съ самаго начала изслѣдованій надъ составомъ лученспусканія радиоактивныхъ тѣлъ, Я тогда показала, что лучи полонія образуютъ родъ узкаго футляра, простирающагося въ воздухъ на разстояніе приблизительно 4<sup>см</sup> отъ активного вещества (1). Полоніи не даетъ эманации и не производитъ вблизи себя индуктивной радиоактивности.

Тогда какъ Demarcay не нашелъ никакой новой линіи въ спектрѣ приготовленнаго мною весьма активного полонійнаго висмута, Круксъ объявилъ о присутствіи новой линіи въ ультрафіолетовомъ спектрѣ и Берндтъ указалъ большое число новыхъ линій въ той же области спектра (2). Употребленный для этихъ изслѣдованій полоній былъ, конечно, гораздо менѣ активенъ, чѣмъ тотъ, которымъ располагалъ Demarcay, а въ частности, полоній, употребленный Берндтомъ, былъ только въ 300 разъ активнѣе урана. Значитъ, вѣроятно, что указанные линіи не принадлежатъ полонію.

Марквальду мы обязаны важною работою о радиоактивномъ веществѣ, содержащемся въ висмутѣ, извлеченномъ изъ смоляной урановой руды (3). Первая матерія, послужившая для этого изслѣдованія, состояла изъ 6<sup>кг</sup> хлорокиси висмута, полученныхъ на заводѣ при обработкѣ 2 тоннъ смоляной урановой руды. Способы концентраціи указаны слѣдующіе:

1. Осажденіе хлористымъ оловомъ въ хлористоводородномъ растворѣ: для этого прибавляютъ мало-по-малу, къ хлористоводородному раствору активного висмута, кислага хлористоводороднаго раствора хлорокиси олова; образуются черные клочки либо тотчасъ, либо по прошествіи нѣкотораго времени; ихъ отдѣляютъ отъ раствора. Этотъ осадокъ содержитъ активное вещество въ концентрированномъ состояніи, тогда какъ матерія, остающаяся въ растворѣ, гораздо менѣ активна, чѣмъ первоначальная.

2. Осажденіе активного вещества на металлахъ. Въ хлористоводородный растворъ активного висмута погружаютъ пластинку или пруть изъ мѣди, серебра или висмута. Активное вещество отлагается на этой пластинкѣ, получающей интенсивную актив-

(1) M<sup>me</sup> Curie, *Comptes rendus*, январь 1900 г.

(2) Crookes, *Proc. Roy. Soc.*, 1900 г. — Berndt, *Phys. Zeit.*, 1900 г.

(3) Markwald, *Ber. d. deutsch. chem. Gesell.*, 1902 г. и 1903 г.

ность; можно посредствомъ повторнаго погруженія пластинокъ въ растворъ получить осадокъ всей содержащейся въ немъ активной матеріи.

Марквальдъ считалъ, согласно этимъ опытамъ, что активная матерія была отлична отъ висмута и аналогична теллуру, вмѣстѣ съ которымъ она была увлекаема при осажденіи хлористымъ оловомъ. Притомъ онъ полагалъ, что вещество сохраняло постоянную активность. По этимъ причинамъ онъ описалъ приготовленное имъ вещество подъ новымъ названіемъ *радіотеллура*. Однакожъ являлось весьма вѣроятнымъ съ самаго начала, что радіотеллуръ былъ тождественъ съ полоніемъ. Въ самомъ дѣлѣ, оба вещества были извлечены изъ висмута, полученнаго при обработкѣ смоляной урановой руды, и оба были охарактеризованы испусканіемъ весьма мало проникающихъ лучей, распространяющихся въ воздухѣ лишь на незначительное разстояніе и не могущихъ проходить сквозь металлическій экранъ, если только послѣдній не очень тонокъ.

Рядъ изслѣдованій Марквальда показалъ, что радіотеллуръ теряетъ со временемъ свою активность и что можно отдѣлить активную матерію отъ теллура. Для этого осаждаютъ теллуръ прибавленіемъ хлористаго гидразина къ хлористоводородному раствору активной матеріи. Активность остается въ растворѣ. Осаждая затѣмъ матерію хлористымъ оловомъ, Марквальдъ получилъ 4<sup>мг</sup> осадка значительной активности. Погружая мѣдную пластинку въ растворъ этого осадка и позволяя собраться на ней лишь слабой порціи вещества, можно было, однако, сдѣлать пластинку чрезвычайно активной; эта послѣдняя производила потомъ на фосфоресцирующемъ экранѣ изъ сѣрнистаго цинка достаточно интенсивное освѣщеніе, которое могла наблюдать многочисленная аудитория.

Тождество радіотеллура и полонія было окончательно доказано точнымъ наблюденіемъ закона убыванія активности для обоихъ веществъ. Это опредѣленіе было сдѣлано Марквальдомъ на приготовленномъ имъ веществѣ, и мною на образцахъ вещества, приготовленныхъ: съ одной стороны по моему первоначальному методу, съ другой стороны по методу Марквальда (осажденіемъ на металлахъ)<sup>(1)</sup>. Изъ этихъ работъ вытекаетъ, что для каждаго изъ

(1) Marckwald, *Jahrbuch d. Rad.*, 1905 г. — М<sup>ms</sup> Curie, *Comptes rendus*, 1906 г.

обоихъ веществъ активность уменьшается на половину въ теченіе періода, равнаго 140 днямъ. Это число приблизительно въ 140 дней, одинаковое, съ довольно большимъ приближеніемъ, для радіотеллура и полонія, представляетъ *постоянную времени*, характеризующую эти вещества и позволяющую ихъ отождествить между собою. Точное изслѣдованіе измѣненія активности полонія и радіотеллура было сдѣлано тогда, когда была понята важность этихъ постоянныхъ времени, связанныхъ съ радиоактивными веществами, и когда было установлено, что ихъ употребленіе, какъ средства различенія радиоактивныхъ веществъ между собою, должно стать обязательнымъ и часто можетъ быть предпочтено указаніямъ химическаго анализа.

Теорія радиоактивныхъ преобразованій позволяетъ предвидѣть, что количество полонія, присутствующаго въ радиоактивныхъ минералахъ, должно быть очень слабымъ и что, напр., богатая смоляная урановая руда должна содержать лишь около  $0^{m}p,05$  полонія на тонну. Однако представляетъ большой интересъ получить полоній въ концентрированномъ состояніи. По нынѣшней теоріи этотъ элементъ есть дѣйствительно послѣдній радиоактивный членъ въ рядѣ производныхъ отъ радія, и можно надѣяться доказать образованіе неактивнаго элемента, начиная отъ полонія.

Я недавно предприняла, въ сотрудничествѣ съ Дебьерномъ, новую обработку, имѣющую цѣлью приготовленіе полонія въ очень концентрированномъ состояніи<sup>(1)</sup>. Эта обработка была выполнена надъ нѣсколькими тоннами остатка урановой руды.

Руда обрабатывалась горячимъ растворомъ довольно концентрированной соляной кислоты съ цѣлью почти сполна растворить полоній. Чтобы избѣжать осажденія сѣрнистымъ водородомъ большого количества жидкости, растворъ былъ обработанъ желѣзными пластинками; осажденные металлы (Cu, Pb, Bi, As, Sb и др.) содержали полоній. Эти металлы были вновь растворены въ состояніи хлористыхъ соединений, и растворъ былъ обработанъ мѣдными пластинками, вызвавшими образованіе осадка гораздо менѣе обильнаго, чѣмъ предыдущій, но содержащаго попрежнему всю активность. Осадокъ былъ вновь растворенъ и растворъ былъ осажденъ большимъ количествомъ воды. Растворъ полученнаго активнаго осадка былъ подвергнутъ обработкѣ хлористымъ оловомъ, что дало

(1) M<sup>m</sup>c Curie и A. Debierne, *Comptes rendus*, 1910 г.

возможность осуществить очень сильную новую концентрацию активной материи. Эта обработка дала  $200^{\text{гп}}$  материи, активность которой была приблизительно въ 3500 разъ больше активности урана и которая содержала главнымъ образомъ мѣдь, олово, свинецъ, уранъ, мышьякъ и антимоній.

Активная матерія была подвергнута обработкѣ по очищенію, заключающейся въ многочисленныхъ операціяхъ: въ осажденіи амміакомъ, въ кипяченіи съ растворомъ соды, въ настаиваніи съ горячимъ растворомъ углекислаго амміака, въ осажденіи сѣрнистымъ водородомъ, въ промываніи сѣристыхъ соединений сѣристымъ натріемъ, въ осажденіи хлористымъ оловомъ. Въ концѣ концовъ матерія привелась къ нѣсколькимъ миллиграммамъ, но далѣе нельзя было ее концентрировать, не разсѣивая активности. Реакціи, дающія возможность вополнѣ отдѣлять активность при сравнительно малой концентраціи материи, оказываются непригодными, когда этой материи лишь очень немного. Такъ въ попыткѣ отдѣленія свинца посредствомъ обработки поташомъ полоній перешелъ въ значительной части въ растворъ, тогда какъ эта же самая операція безъ всякой опасности обычно примѣнялась въ присутствіи элементовъ, нерастворимыхъ при этихъ условіяхъ; изъ этого щелочнаго раствора полоній можно было осадить только посредствомъ прибавленія щелочнаго сѣрнистаго соединенія. Реакціи, оказывающіяся всегда надежными, слѣдующія: осажденіе въ состояніи сѣрнистаго соединенія въ кислоту или щелочномъ растворѣ и осажденіе хлористымъ оловомъ.

Полоній очень легко и очень полно осаждается посредствомъ электролиза, но одновременно осаждаются и такіе металлы, какъ золото, платина, ртуть и др.

Активность полученной материи (нѣсколькихъ миллиграммовъ) была очень велика, она была близка къ активности  $1^{\text{дгп}}$  металлическаго радія въ максимумѣ его активности. Тѣмъ не менѣе можно было показать посредствомъ вычисленія, что количество полонія, согласно теоріи, было порядка только  $0^{\text{гп}},1$ .

Активная матерія могла такимъ образомъ содержать нѣсколько процентовъ полонія. Было получено и сфотографировано нѣсколько спектровъ искръ этой материи. Изслѣдованіе искровыхъ спектровъ позволило констатировать присутствіе многочисленныхъ металловъ: золота, платины, ртути, палладія, радія, придія, щелочно-земельныхъ металловъ, происходящихъ отъ развѣданія сосудовъ. Однако нѣкоторыя линіи можно, повидимому, приписать полонію, съ нѣкоторою

вѣроятностью; ихъ длины волнъ слѣдующія: 4642,0 (слабая); 4170,5 (довольно сильная); 3913,6 (слабая); 3652,1 (очень слабая).

Съ полученнымъ такимъ образомъ очень активнымъ веществомъ Дебьерну удалось доказать непрерывное образованія гелія.

Что касается химическихъ свойствъ полонія, то это вещество, по всему предыдущему, приближается къ металламъ, легко получаемымъ въ металлическомъ видѣ либо посредствомъ электролиза, либо посредствомъ восстановления солей или окисловъ. При обработкѣ руды полоніи почти сполна сопровождается висмутомъ во всѣхъ реакціяхъ; но онъ отдѣляется отъ висмута тѣмъ, что легче его осаждается металлами или хлористымъ оловомъ; изъ металловъ, влаждующихъ этимъ свойствомъ, полоніи могъ бы приближаться скорѣе къ ртути, чѣмъ къ висмуту. Химическія свойства полонія окончательно установить можно будетъ только тогда, когда наступитъ возможность получать это тѣло въ чистомъ или, по крайней мѣрѣ, очень концентрированномъ состояніи.

Нынѣ извѣстно, что радиоактивный свинецъ, извлекаемый изъ урановыхъ рудъ и, въ особенности, изъ смоляной урановой руды, есть длительный источникъ полонія. Этотъ свинецъ содержитъ полоніи, если онъ былъ предоставленъ самому себѣ въ теченіи достаточнаго времени съ момента извлеченія. Если въ хлористоводородный растворъ стараго радиоактивнаго свинца погрузить металлическую пластинку, то на ней получается активный осадокъ съ тѣми же свойствами, что и осадокъ, получаемый на металлической пластинкѣ, погруженной въ растворъ полоніи висмута. Можно также выкристаллизовать посредствомъ охлажденія горячій хлористоводородный растворъ хлористаго свинца; хлористый свинецъ кристаллизуется въ замѣтно неактивномъ состояніи, маточная же вода содержитъ полоніи. Однакожъ активность хлористаго свинца, отъ котораго такимъ образомъ отдѣлили полоніи, постепенно возрождается; радиоактивный свинецъ, лишенный полонія, снова его содержитъ по прошествіи нѣкотораго времени, такъ что можно возобновить отдѣленіе этого тѣла.

**§ 48. Актиній.**—Актиній былъ открытъ Дебьерномъ въ окислахъ группы желѣза, извлеченныхъ изъ смоляной урановой руды <sup>(1)</sup>. Въ этой группѣ актиній долженъ, повидимому, помѣщаться среди элементовъ ряда рѣдкихъ земель. Извѣстно, какъ велики трудно-

(1) A. Debierne, *Comptes rendus*, 1899 г. и 1900 г.

сти, представляемыя химіей рѣдкихъ земель, и какъ тяжелы отдѣленія элементовъ этой группы. Эти трудности предстаютъ при приготовленіи актинія; химическія реакціи, испробованныя для концентраціи этого тѣла, оказываются, вообще, неполными, и активная матерія испытываетъ разсѣяніе, дѣлающее очень тяжелыми успѣхи концентраціи. Актиній можетъ сопровождать титанъ, торій, дидимъ, лантанъ, и въ настоящее время трудно имѣть прочное представленіе о химической его природѣ. Однако кажется законнымъ предвидѣть, что онъ останется приобщеннымъ къ группѣ рѣдкихъ земель.

Съ самаго начала своихъ изслѣдованій надъ актиніемъ Дебьернъ констатировалъ, что это тѣло очень легко увлекается вмѣстѣ съ желѣзомъ и рѣдкими землями осадкомъ сѣрнокислаго барія. Если растворъ руды (остатокъ смоляной урановой руды) осаждается сѣрною кислотою, то осаждающійся радіеносный сѣрнокислый барій содержитъ тѣла группы желѣза, которыя активны и своею активностью обязаны актинію. Для отдѣленія этого тѣла сѣрнокислыя соли преобразовываютъ въ хлористыя соединенія, и перекисленный растворъ этихъ послѣднихъ осаждаютъ амміакомъ. Такимъ именно образомъ неочищенные сѣрнокислыя соли, получаемыя изъ руды, служатъ наиболѣе важнымъ источникомъ актинія; но его также находятъ въ растворахъ, получаемыхъ въ рядѣ воздѣйствій соляною кислотою, имѣющихъ мѣсто во время обработки. Эти растворы осаждаются сначала сѣрнистымъ водородомъ; но удаленіи сѣрнистыхъ соединеній остающійся растворъ, перекисленный и осажженный амміакомъ, даетъ актинійные гидраты. Совокупность разныхъ гидратовъ составляетъ первую матерію, которую подвергаютъ обработкѣ для извлеченія изъ нея актинія.

Способъ концентраціи и очистки, вообще употреблявшійся Дебьерномъ, былъ слѣдующій: гидраты, свѣже осажженные амміакомъ, обрабатываются разбавленною плавиковою кислотою; нерастворимыя фтористыя соединенія наиболѣе активны, они содержатъ актиній съ лантаномъ, дидимомъ, церіемъ, торіемъ. Эти фтористыя соединенія преобразовываются въ хлористыя, и растворъ этихъ послѣднихъ осаждается щавелевою кислотою. Щавелевокислыя соли преобразовываются въ окислы, затѣмъ въ азотнокислыя соли. Образуютъ двойныя азотнокислыя соли этихъ земель и магнія или марганца. Эти двойныя азотнокислыя соли подвергаются дроб-

ной кристаллизаціи; при дробленіи актиніи накопляется въ маточныхъ водахъ вмѣстѣ съ самаріемъ и неодимомъ (методъ отдѣленія рѣдкихъ земель Demarçay'a).

Одна изъ реакцій, указанныхъ вначалѣ Дебьерномъ для концентраціи актинія, состояла въ осажденіи этого тѣла сѣрноватистокислымъ натріемъ въ горячемъ хлорпстоводородномъ растворѣ; осажденная матерія была активна. По Boltwood'у актиніи не осаждается при этихъ условіяхъ, и реакція принадлежитъ радиоактивному элементу іонію, открытіемъ котораго мы обязаны работамъ Rutherford'a и Boltwood'a. Однако нѣтъ вѣроятія, по причинамъ, которыя будутъ изложены дальше, чтобы полученная Дебьерномъ матерія содержала много іонія. Активное тѣло, осажденное сѣрноватистокислымъ натріемъ, должно было быть главнымъ образомъ радиоактивіемъ, который не былъ еще извѣстенъ во время первыхъ изслѣдованій надъ актиніемъ и радиоактивность котораго длится въ теченіи мѣсяцевъ. Впрочемъ, указанная реакція не была использована для приготовленія актинія.

Актиніи пмѣетъ длительную активность. Спектроскопическое изслѣдованіе очень активныхъ образцовъ актинія было выполнено Demarçay'емъ, который не могъ замѣтить никакой новой линіи. Въ образцахъ приготовленныхъ позже посредствомъ дробной кристаллизаціи двойныхъ азотнокислыхъ солей, актиніи находится связаннымъ съ церитовыми землями<sup>(1)</sup>.

Дебьернъ констатировалъ, что актиніи порождаетъ испусканіе поглощаемыхъ лучей и лучей проникающихъ, при чемъ эти послѣдніе отчасти катоднаго рода. Онъ также замѣтилъ, что актиніи порождаетъ вблизи себя образованіе индуктивной радиоактивности и что эта индуктивная радиоактивность исчезаетъ по опредѣленному закону, отличному отъ закона, характеризующаго индуктивную радиоактивность отъ радія<sup>(2)</sup>. Индуктивная радиоактивность, вызываемая актиніемъ, связана съ тѣмъ фактомъ, что это тѣло испускаетъ радиоактивную эманацию. Эффекты этого выдѣленія можно легко наблюдать на твердыхъ соляхъ, активность которыхъ оказывается чрезвычайно чувствительною къ движеніямъ воздуха и можетъ быть значительно уменьшена токомъ воздуха, проходящимъ по веществу.

(1) Debierne, *Comptes rendus*, 1904 г.

(2) Debierne, *Comptes rendus*, 1900 г. и 1903 г.

Гизель, занимаясь приготовленіемъ радіоактивныхъ веществъ, и въ особенности радія, при чемъ исходнымъ матеріаломъ ему служили урановыя руды, замѣтилъ въ 1902 г., что нѣкоторые продукты, получавшіеся во время обработки, порождали весьма паразитическое испусканіе радіоактивной эманации. Гизелю удалось констатировать, что эта эманация можетъ давать прекрасные свѣтовые эффекты на экранѣ изъ фосфоресцирующаго сѣрнистаго цинка. Достаточно направить на этотъ экранъ токъ воздуха, проходящій по веществу, отъ котораго исходитъ эманация, чтобы получить яркое освѣщеніе на экранѣ; сіяніе перемѣщается, когда токъ воздуха измѣняетъ направленіе. Гизель рѣшилъ, что тѣло, порождающее эти явленія, содержитъ новое радіоактивное вещество, которое онъ назвалъ *эманіемъ* (1). Онъ постарался изолировать это вещество и нашелъ, что оно сопровождается рѣдкія земли церитовой группы, подражая имъ въ реакціяхъ. Активность вещества сначала послѣ приготовленія въ твердомъ видѣ увеличивалась и достигала постоянного предѣла приблизительно въ мѣсяцъ. Активное вещество оказывалось отдѣленнымъ вмѣстѣ съ лантаномъ и небольшимъ количествомъ церія. Никакой новой линіи не могли замѣтить Рунге и Прехтъ въ спектрѣ этихъ активныхъ земель. Позже Гизель нашелъ, что эманіи можно отдѣлить отъ лантана дробной кристаллизаціею двойныхъ азотнокислыхъ солей активныхъ земель и магнія. Онъ также констатировалъ, что увлеченіе сѣрно-кислымъ баріемъ представляетъ очень хорошій способъ для полученія рѣдкихъ земель, богатыхъ эманіемъ (2). Оба эти способа употреблялись раньше для приготовленія актинія.

Казалось весьма вѣроятнымъ, что приготовленное Гизелемъ вещество было тождественно съ актиніемъ. Эффекты фосфоресценціи, наблюдавшіеся сначала съ эманіемъ, могли быть потомъ воспроизведены съ актиніемъ. Значитъ, актиній и эманій обнаруживали свойства, какъ радіоактивныя, такъ и химическія, весьма аналогичныя между собою. Тождество обоихъ веществъ было окончательно доказано изученіемъ ихъ эманации и возникающей вблизи нихъ индуктивной радіоактивности. Эманация имѣетъ весьма краткую продолжительность; ея активность уменьшается на половину приблизительно въ 4 секунды; индуктивная радіоактивность

(1) Giesel, *Ber. d. deutsch. chem. Gesell.*, 1902 г. и 1903 г.

(2) Giesel, *Chem. Ber.*, 1905 г.



постепенно исчезаетъ на активированныхъ тѣлахъ по ихъ удаленіи отъ активирующаго вещества, и это исчезаніе идетъ медленно, чѣмъ для индуктивной радиоактивности отъ радія; активность уменьшается на половину въ 36 минутъ<sup>(1)</sup>.

По своимъ химическимъ свойствамъ и по своей эманации, отличающейся очень краткою продолжительностью, активной представляется намъ, какъ новое радиоактивное вещество, существенно отличное отъ радія и отъ полонія. Притомъ это вещество одно изъ наиболее важныхъ по причинѣ длительности своей активности. Активной не могъ быть изолированъ до настоящаго времени, и неизвѣстенъ его спектръ. Его активность въ чистомъ состояніи должна быть значительною, потому что очень активные образцы (приблизительно въ 100 000 разъ активнѣе урана) содержатъ его, вѣроятно, лишь въ слабой пропорціи.

Дебьернъ показалъ, что активной порождаетъ непрерывное образованіе гелія<sup>(2)</sup>. Нѣкоторыя соли рѣдкихъ земель, содержащая активной, самопроизвольно свѣтящаяся (безводная хлористая и бромистая соединенія).

**§ 49. Радиоактивный свинецъ.** — Свинецъ, извлеченный изъ урановыхъ рудъ, представляетъ, вообще, нѣкоторую активность. Эта активность часто наблюдалась на свинцѣ, полученномъ при первыхъ выполненныхъ нами (П. Кюри и мною) анализахъ смоляной урановой руды; но, не имѣя возможности изслѣдовать ее тогда же, мы ея не отмѣтили. Свинецъ, уже нѣсколько лѣтъ какъ извлеченный изъ руды радія (остатокъ смоляной урановой руды), обладаетъ активностью, повидимому, длительною; эта активность приблизительно въ два раза больше активности урана.

Гофманъ и Штраусъ первые обратили вниманіе на радиоактивныя свойства свинца, содержащагося въ смоляной урановой рудѣ, который они называли *радіосвинцомъ* и который они считали отличнымъ отъ обыкновеннаго свинца<sup>(3)</sup>. Изъ другихъ работъ по этому предмету были опубликованы Гизелемъ<sup>(4)</sup>. Однакожъ полученнымъ результатамъ недоставало ясности, и активность матеріи послѣ

(1) Debierne, *Comptes rendus*, 1903 г. и 1904 г.—Giesel, *Chem. Ber.*, 1904 г.—Hahn и Sackur, *Chem. Ber.*, 1905 г.

(2) Debierne, *Comptes rendus*, 1905 г.

(3) Hofmann и Strauss, *Ber. d. deutsch. chem. Gesell.*, 1901 г.

(4) Giesel, *Ber. d. deutsch. chem. Gesell.*, 1901 г.

разныхъ обработокъ была то замѣтно постоянною, то пере-  
мѣнною.

Позже Дебьернъ показалъ, что радиоактивность радиоактивнаго свинца, уже нѣсколько лѣтъ какъ извлеченнаго изъ руды, обязана главнымъ образомъ находящемуся въ немъ полонію, который можетъ быть оттуда извлеченъ выкристаллизовываніемъ хлористаго соединенія изъ раствора, насыщеннаго въ горячемъ состояніи; полоній остается въ маточной водѣ, и хлористый свинецъ кристаллизуется почти неактивнымъ.

Однако изъ болѣе свѣжихъ работъ вытекаетъ, что полоній не единственное радиоактивное составляющее радиоактивнаго свинца. Указаніе на присутствіе разныхъ составляющихъ было дано въ работѣ Hofmann'a, Gonder'a и Wolff'a<sup>(1)</sup>. Очень интересная теорія относительно природы радіосвинца была предложена Рутерфордомъ на основаніи его изслѣдованія объ индуктивной радиоактивности, вызываемой радіемъ (§ 185). Эта теорія вполне подтверждена работами Meyer'a и Schweidler'a и работами другихъ ученыхъ.

По этой теоріи первичное составляющее радиоактивнаго свинца есть тѣло, производимое радіемъ и увлекаемое вмѣстѣ со свинцомъ; это тѣло не представляетъ само по себѣ ощутительной активности, но оно порождаетъ радиоактивный элементъ, испускающій проникающіе лучи; этотъ послѣдній въ свою очередь превращается въ радиоактивный элементъ, испускающій поглощаемые лучи и являющійся ничѣмъ инымъ, какъ полоніемъ. Итакъ, активность матеріи въ итогѣ поддерживается непрерывнымъ образованіемъ активныхъ тѣлъ, начиная съ первичнаго элемента. Теорія указываетъ, что активность радіосвинца должна кончатъ исчезаніемъ по истеченіи большого числа лѣтъ послѣ своего извлеченія изъ урановой руды.

**§ 50. Радіоторій. Мезоторій.**—Вслѣдъ за открытіемъ новыхъ веществъ, надѣленныхъ весьма большою радиоактивною, долженъ былъ естественно возникнуть вопросъ, нельзя ли относительно слабую активность урана и торія объяснить присутствіемъ вмѣстѣ съ этими элементами слѣда сильно радиоактивной матеріи съ такими свойствами, чтобы она не отдѣлялась отъ разсматриваемыхъ элементовъ въ теченіи обработки, имѣющей цѣлью ихъ извлеченіе изъ руды. При томъ, такъ какъ у радиоактив-

(1) *Ann. d. Phys.*, 1904 г.

ностей урана и торія не одни и тѣ же главныя свойства, то было бы необходимо допустить присутствіе сильно радіоактивныхъ веществъ, различныхъ между собою. Исслѣдованія въ этомъ направленіи были предприняты разными учеными; далѣе мы увидимъ, какіе были получены результаты съ ураномъ. Что касается торія, то Гофманъ и Цербанъ утверждаютъ, что это тѣло не активно, если оно получено изъ рудъ, не содержащихъ урана<sup>(1)</sup>. Баскервилль и Цербанъ объявили, что торій, извлеченный изъ одной бразильской руды, неактивенъ<sup>(2)</sup>. Эти результаты требуютъ еще подтвержденія. Но нынѣ извѣстно, что радіоактивность торія тѣсно связана съ радіоактивностью сильно радіоактивного вещества, открытаго Ганомъ и получившаго имя *радіоторій*<sup>(3)</sup>.

Радіоторій былъ извлеченъ изъ продуктовъ обработки руды, названной *торіанитомъ*. Эта руда, недавно найденная на Цейлонѣ, представляется подъ видомъ небольшихъ довольно правильныхъ кубическихъ кристалловъ; она состоитъ главнымъ образомъ изъ окиси торія (отъ 70% до 80%) и окиси урана (отъ 10% до 15%); она также содержитъ свинецъ, желѣзо, рѣдкія земли. Наконецъ, эта любопытная руда очень богата газомъ геліемъ; она его содержитъ 9 куб. сант. на граммъ. Довольно значительное количество торіанита (250 гр., было пріобрѣтено Ramsay'емъ и подвергнуто обработкѣ. Эта обработка дала нѣкоторое количество радіенснаго бромистаго барія, которое было подвергнуто Ганомъ дробной кристаллизаціи съ цѣлью извлеченія радія. Во время этого дробленія можно было констатировать, что если активность накоплялась, какъ обыкновенно, въ наименѣ растворимыхъ кристаллахъ, то съ другой стороны, имѣлось накопленіе активности въ наиболѣе растворимой порціи соли. Однако активная матерія растворимой порціи не была радіемъ, но обнаруживала всѣ признаки активности торія съ гораздо бѣльшею интенсивностью при равномъ вѣсѣ; она испускала, въ особенности, эманацию краткой продолжительности, которую можно было отождествить съ эманациею торія. Новая матерія была связана съ торіемъ и съ желѣзомъ; реакціи, вообще, неполны, и концентрація трудна. Тѣмъ не менѣе, Гану удалось получить 11<sup>мг</sup> матеріи, дававшей эманацию въ

(1) Hofmann и Zerban, *Ber. d. deutsch. chem. Gesell.*, 1903 г.

(2) Baskerville и Zerban, *Amer. chem. Soc.*, 1904 г.

(3) Hahn, *Jahrbuch d. Rad.*, 1905 г.

500 000 разъ больше, чѣмъ такой же вѣсъ окиси торія. Эта матерія осаждается амміакомъ и, слѣдовательно, входитъ въ группу желѣза. Ганъ далъ сильно радиоактивному элементу, существованіе котораго онъ такимъ образомъ констатировалъ, названіе *радіоторій*. Бланкъ это же самое вещество нашелъ въ осадкахъ источниковъ d'Échallion и de Salins-Montiers; онъ констатировалъ, что оно слѣдуетъ реакціямъ торія. Онъ также доказалъ, что можно извлечь радіоторій изъ обычнаго азотнокислаго торія; для этого смѣшиваютъ горячій растворъ этой соли съ небольшимъ количествомъ раствора ѣдкаго барита и затѣмъ осаждаютъ барій сѣрною кислотою; осадокъ сѣрнокислаго барія, образующійся изъ горячаго раствора, увлекаетъ торій и радіоторій. Сѣрнокислыя соли преобразовываютъ въ хлористыя соединенія и растворъ этихъ послѣднихъ осаждаютъ амміакомъ; полученные гидраты не даютъ сначала эманации торія, но мало-по-малу образованіе ея возрастаетъ и достигаетъ постояннаго предѣла спустя приблизительно мѣсяцъ. Бланкъ получилъ такимъ образомъ гидраты, дававшіе эманации въ 5000 разъ больше, чѣмъ гидратъ торія, при равномъ вѣсѣ<sup>(1)</sup>.

Эльстеръ и Гейтель нашли радіоторій въ осадкахъ источниковъ Бадена и равнымъ образомъ извлекли его изъ обычныхъ солей торія<sup>(2)</sup>.

Работы Бланка, Эльстера и Гейтеля доказываютъ, что активность обычныхъ солей торія, какъ и можно было предположить, обязана если не всецѣло, то, по крайней мѣрѣ, въ значительной части содержащемуся въ нихъ радіоторію.

Изъ всѣхъ этихъ работъ вытекаетъ, что радіоторій есть сильно радиоактивное вещество, близкое, по всей вѣроятности, къ торію. Это вещество имѣетъ весьма долговременную активность; однако она не постоянна, и можно наблюдать медленное ея пониженіе въ функціи отъ времени, начиная съ изготовленія. По Бланку активность радіоторія уменьшается по слѣдующему закону: періодъ уменьшенія ея на половину равенъ 737 днямъ, т.-е. приблизительно двумъ годамъ<sup>(3)</sup>.

Признаки радиоактивности радіоторія тѣ же, что и признаки активности торія; но мы констатируемъ то важное различіе, что

(1) Blanc, *Phys. Zeit.*, 1906 г.

(2) Elster и Geitel, *Phys. Zeit.*, 1906 г.

(3) Blanc, *Phys. Zeit.*, 1907 г.

активность радіоторія идетъ, уменьшаясь по правильному закону, тогда какъ активность обычныхъ солей торія претерпѣваетъ болѣе сложныя измѣненія. Изученіе этихъ измѣненій привело къ открытію новаго вещества: *мезоторія*, который разрушается лишь очень медленно, порождая радіоторіи<sup>(1)</sup>. Это вещество разсматривается, какъ производное отъ торія, и можетъ быть получено изъ рудъ и солей этого послѣдняго, какъ исходнаго матеріала; въ частности, оно отдѣляется отъ торія при осажденіи амміакомъ<sup>(2)</sup>.

§ 51. *Іоній*. — Новое сильно радіоактивное вещество было открыто въ урановыхъ рудахъ Рутерфордомъ и Больтвудомъ, при чемъ послѣдній далъ ему названіе *іоній*<sup>(3)</sup>. Это вещество принадлежитъ, вѣроятно, къ группѣ рѣдкихъ земель, и есть основанія полагать, что оно обладаетъ длительною радіоактивностью, иначе говоря, радіоактивностью весьма долгой продолжительности. По Больтвуду іоній особенно близокъ къ торію и осаждается одновременно съ нимъ изъ раствора хлористыхъ соединеній рѣдкихъ земель прибавленіемъ въ избытокъ сѣрниоватистокислаго натрія. Съ іоніемъ связывается особенный интересъ: это тѣло, повидимому, порождаетъ непрерывное образованіе радія и представляетъ, по терминологіи, принятой въ современныхъ теоріяхъ радіоактивности, *прямого отца радія*. Далѣе мы увидимъ, каковъ былъ ходъ развитія этой идеи.

\* \* \*

Полезно обратить вниманіе на тѣ затрудненія, которыя встрѣчаются при стараніи точно опредѣлить химическія свойства новыхъ радіоактивныхъ веществъ. Въ самомъ дѣлѣ, часто приходится наблюдать, что химическія реакціи веществъ, находящихся въ смѣси въ чрезвычайно слабой пропорціи, должны зависѣть отъ природы веществъ, находящихся въ той же смѣси въ болѣе концентрированномъ состояніи. Сильно радіоактивное вещество, подобное полонію или радію, находится въ растворѣ руды въ такомъ состояніи разжиженія, что въ отдѣльности дѣйствительно не должно осаждаться никакимъ реактивомъ; въ самомъ дѣлѣ, всѣ соли обладаютъ нѣкоторою растворимостью, которая, какъ бы

(1) Hahn, *Phys. Zeit.*, 1907 г.

(2) Boltwood, *Phys. Zeit.*, 1908 г.

(3) Rutherford, *Phil. Mag.*, 1907 г.—Boltwood, *Amer. Journal of Science*, 1908 г.

слаба она ни была, повидимому, должна была бы, въ разсматриваемомъ случаѣ, всегда оказаться достаточною, чтобы воспрепятствовать осажденію. Если это послѣднее имѣетъ мѣсто, это значитъ, что оно вызывается присутствіемъ въ растворѣ достаточнаго количества такой матеріи, которая, осаждаясь сама употребленнымъ реактивомъ можетъ *увлечь* съ собою активную матерію. Увлечаніе часто рѣшается тѣмъ обстоятельствомъ, что оба вещества связаны настоящимъ химическимъ родствомъ и что они могутъ, въ частности, кристаллизоваться вмѣстѣ во всякой пропорціи, такъ какъ ихъ соли изоморфны. Таковъ случай радія и барія. Въ радіеносныхъ растворахъ, получаемыхъ прямо изъ руды, радій столь разжиженъ, что его осажденіе, повидимому, не возможно; это осажденіе совершается, однако сполна въ присутствіи небольшого количества барія всѣми реактивами, осаждающими барій.

Если правильное увлечаніе нѣкоторымъ веществомъ есть серьезное указаніе на химическое родство, то всё-же извѣстны случаи, гдѣ увлечаніе имѣетъ мѣсто между двумя веществами, принадлежащими къ разнымъ группамъ. Извѣстно, напр., съ какою легкостью осадокъ сѣрнокислаго барія увлекаетъ часть желѣза, находящагося въ растворѣ вмѣстѣ съ баріемъ; затѣмъ, когда эта сѣрнокислая соль преобразована въ хлористое соединеніе, можно раздѣлить желѣзо и барій, осаждаая перекисленный растворъ амміакомъ.

Студенистые осадки обладаютъ также способностью увлекать нѣкоторыя вещества; такъ, осадокъ гидрата глинозема увлекаетъ щелочные гидраты, присутствующіе въ растворѣ.

Наконецъ, увлечаніе можно получить также посредствомъ нерастворимыхъ веществъ, введенныхъ въ растворъ; не подвергаясь сами воздѣйствію, они оказываютъ на нѣкоторыя растворенныя вещества поглощающее или склеивающее дѣйствіе. Такова, напр., роль голландской сажки, поглощающей нѣкоторыя радиоактивныя вещества (уранъ X), когда она смѣшана съ ихъ кипящимъ растворомъ.

Мы видимъ, что химическія свойства весьма разжиженныхъ веществъ могутъ быть точно опредѣлены, безъ боязни ошибки, только по соображеніи всѣхъ опытовъ, указывающихъ, какъ разсматриваемое вещество проявляетъ себя въ присутствіи разныхъ извѣстныхъ веществъ. Различеніе можетъ оказаться легкимъ,

когда дѣло идетъ объ элементахъ, принадлежащихъ къ группѣ съ рѣзко очерченными химическими признаками; таковъ случай радія, химическая природа котораго обнаруживается съ самаго начала безъ всякой двусмысленности. Но когда идетъ дѣло о веществахъ, охотно сопровождающихъ элементы болѣе сложныхъ химическихъ группъ, истолкованіе экспериментальныхъ результатовъ можетъ оказаться труднымъ по недостатку ясности въ химическихъ реакціяхъ (активній, радиоактивній, и проч.).

Я описала или, по крайней мѣрѣ, указала въ этой главѣ только тѣ радиоактивныя вещества, которыя надѣлены достаточно продолжительною радиоактивностью, чтобы ихъ можно было сохранять въ теченіи времени порядка нѣсколькихъ лѣтъ. Можно надѣяться на отдѣленіе этихъ веществъ въ состояніи чистой соли, подобно тому какъ это сдѣлано для радія.

Но нынѣшнія теоріи радиоактивности приводятъ насъ къ усмотрѣнію существованія очень большого числа другихъ радиоактивныхъ веществъ съ эфемерною жизнью, степень разжиженія которыхъ въ содержащей ихъ матеріи такова, что трудно надѣяться на возможность полученія ихъ въ вѣсомомъ количествѣ. Эти вещества могутъ быть твердыми или газообразными; въ послѣднемъ случаѣ они носятъ названіе *эманаций*. Эманация радія есть та эманация, которую можно получить сравнительно въ большемъ количествѣ; удалось наблюдать ея спектръ и объемъ.

Эти вещества будутъ, вообще, охарактеризованы природою испускаемыхъ ими лучей, которые мы изучимъ подробно въ главѣ объ излученіяхъ. Эти лучи входятъ въ составъ трехъ главныхъ группъ, которыя можно, въ первомъ приближеніи, характеризовать ихъ проникающею способностью и которымъ даютъ, по обозначенію Рутерфорда, названіе лучей  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ .

Лучи  $\alpha$ , или *положительные лучи*, образуются положительно заряженными частицами, надѣленными большою скоростью; они не могутъ проходить сквозь толщину алюминія въ  $0^{m}1$ .

Лучи  $\beta$ , или *отрицательные лучи*, образуются отрицательно заряженными частицами, надѣленными большою скоростью. Они могутъ проходить сквозь толщины металла, достигающія нѣсколькихъ миллиметровъ.

Лучи  $\gamma$ , весьма проникающіе, могутъ пронизывать металлы на глубину въ нѣсколько сантиметровъ. Они не несутъ электрическаго заряда.

Лучи  $\alpha$  и  $\beta$  считаются соответственно аналогичными положительнымъ и катоднымъ лучамъ Круксовыхъ трубокъ. За лучами  $\gamma$  чаще всего не признаютъ корпускулярной природы.

Лучи  $\beta$  и  $\gamma$  въ своей совокупности носятъ названіе *проникающихъ лучей*.

Лучеиспусканіе  $\alpha$ , всякій разъ какъ оно происходитъ, составляетъ самую важную часть лучеиспусканія радиоактивныхъ тѣлъ, когда это послѣднее оцѣнивается по своему ионизирующему дѣйствию. Величина іонизаціи отъ всего лучеиспусканія мало, вообще, отличается отъ величины, полученной только отъ лучеиспусканія  $\alpha$ , и чаще всего можетъ быть принята за эту послѣднюю, по крайней мѣрѣ, въ первомъ приближеніи.



## ГЛАВА ПЯТАЯ

Радиоактивность съ ограниченою продолжительностью. Индуктивная радиоактивность. Эманации. Химическое отдѣленіе веществъ съ недолговѣчною активностью

---

§ 52. Радиоактивности: длительная и эфемерная. — Первое извѣстное радиоактивное вещество уранъ обладаетъ, какъ извѣстно, длительною радиоактивностью, которая, притомъ, оказывается постоянною съ большимъ приближеніемъ въ теченіи многихъ лѣтъ. Эта именно длительность лученспусканія, придающая явленію особенно таинственный характеръ, наиболѣе живо заинтересовала физиковъ и вслѣдствіе этого явилась одною изъ самыхъ дѣятельныхъ причинъ быстраго успѣха въ познаваніи новой области, открытой для изслѣдованія. И однакожь длительность лученспусканія не есть существенный признакъ радиоактивности.

Открытие радиоактивности торія и первые результаты, относящіяся къ новымъ радиоактивнымъ веществамъ, оставили въ силѣ понятіе длительной радиоактивности. Активность торія, хотя и менѣе правильная, казалась постоянною, подобно активности урана. Нынѣ извѣстно, что обычныя соли торія претерпѣваютъ весьма медленные измѣненія въ активности, которыя могутъ быть подмѣнены только на протяженіи годовъ; и опытъ, притомъ, никоимъ образомъ не ведетъ къ предположенію, что активность этихъ солей можетъ исчезнуть въ болѣе или менѣе близкомъ будущемъ. Съ момента открытія въ 1898 г. новыхъ радиоактивныхъ веществъ, *радія* и *полонія*, радій сразу же получилъ большее значеніе, потому что его приготовленіе казалось болѣе легкимъ и по-

тому что спектральный анализ обнаружил характеристичную линію этого тѣла. Активность радія длительна и постоянна. Измѣненіе активности полонія, не будучи быстрымъ, ускользало нѣкоторое время отъ вниманія; въ первый разъ оно было отмѣчено Гизелемъ въ 1900 г. и съ достовѣрностью было наблюдено лишь нѣкоторое время спустя. Нынѣ извѣстно, что радиоактивность полонія длится два-три года.

Однако, во время перваго анализа смоляной урановой руды, выполненнаго въ 1898 г., П. Кюри и я наблюдали любопытное явленіе временной активности. Мы нагрѣли смоляную урановую руду въ пустотѣ и собрали газообразные продукты возгонки. Полученный газъ, заключенный въ стеклянную трубку, дѣйствовалъ еще снаружи, какъ значительно радиоактивное тѣло. Лучеиспусканіе этого газа въ теченіи мѣсяца дало намъ фотографическіе оттиски и вызвало разрядъ наэлектризованныхъ тѣлъ; но активность мало-по-малу уменьшалась и закончилась полнымъ исчезновеніемъ. Въ спектроскопѣ активный газъ показывалъ линіи окиси углерода. Смоляная урановая руда содержитъ, кромѣ того, аргонъ и гелій. Мы убѣдились, что окись углерода, аргонъ и гелій не радиоактивны. Такъ какъ природа этого радиоактивнаго газа не могла быть изучена въ то время, то наблюденіе его существованія оставалось въ положеніи изолированнаго факта и было опубликовано только въ 1900 г. (1). Нынѣ извѣстно, что полученный нами газъ долженъ былъ содержать эманацию радія.

Такъ какъ этотъ первый примѣръ временной активности былъ тогда оставленъ въ сторонѣ передъ тѣмъ напряженіемъ, котораго требовала предпринятая нами работа по извлеченію новыхъ радиоактивныхъ веществъ, то оставалась господствующею идея длительной радиоактивности, когда въ 1899 г. произошло открытіе новаго факта высокой важности: индуктивной радиоактивности. Это открытіе намъ показало, *что существуютъ крайне эфемерныя формы радиоактивности*, продолжительность которыхъ не превосходятъ нѣсколькихъ часовъ. За открытіемъ индуктивной радиоактивности вскорѣ послѣдовало открытіе радиоактивныхъ эманаций, доставляющихъ новый примѣръ формъ радиоактивности съ ограниченной продолжительностью въ предѣлахъ отъ минуты до мѣсяца. Наконецъ, разысканія надъ радиоактивностью урана и торія

(1) Rapport au Congrès de Physique.

доказали, что приемы химического анализа приводят въ нѣкоторыхъ случаяхъ къ отдѣленію веществъ, имѣющихъ всѣ признаки радиоактивныхъ тѣлъ, но съ радиоактивностью, длящейся не болѣе нѣсколькихъ мѣсяцевъ (уранъ X и торій X).

§ 53. **Индуктивная радиоактивность.**— Явленіе индуктивной радиоактивности было открыто П. Кюри и мною въ 1899 г.

Во время нашихъ разысканій надъ радиоактивными веществами мы, Петръ Кюри и я, замѣтили, что всякое вещество, находящееся нѣкоторое время вблизи радіеносной соли, является само радиоактивнымъ <sup>(1)</sup>.

Мы тотчасъ постарались доказать, что радиоактивность, приобретенная такимъ образомъ веществами первоначально неактивными, не обязана переносу радиоактивныхъ пылинокъ, которыя могли бы осѣсть на поверхности этихъ веществъ. Этотъ нынѣ достовѣрный фактъ со всею очевидностью доказанъ правильностью законовъ, по которымъ радиоактивность, вызванная въ веществахъ отъ природы неактивныхъ, исчезаетъ, когда эти вещества освобождаются отъ дѣйствія радія.

Мы дали новому такимъ образомъ открытому явленію названіе *индуктивной радиоактивности*.

Одновременно мы указали существенные признаки этого явленія. Активировавъ дѣйствіемъ твердыхъ радіеносныхъ солей пластинки различныхъ веществъ, мы изучили радиоактивность этихъ пластинокъ по электрическому методу; мы констатировали такимъ образомъ, что всѣ вещества активируются по одному и тому же образцу и что индуктивная радиоактивность, приобретенная какимъ-угодно изъ этихъ веществъ, не длится неопредѣленно долго. Когда пластинка, активированная дѣйствіемъ радія, освобождается отъ этого дѣйствія, активность пластинки исчезаетъ постепенно и совершенно потухаетъ менѣ, чѣмъ въ день.

Немного спустя Рутерфордъ опубликовалъ работу, изъ которой вытекаетъ, что соединенія торія способны производить индуктивную радиоактивность <sup>(2)</sup>; онъ также нашелъ, что тѣла, заряженные отрицательнымъ электричествомъ, активируются энергичнѣе другихъ. Этотъ фактъ равнымъ образомъ справедливъ и въ случаѣ активированія радіемъ. Индуктивная радиоактивность, обязанная торію,

(1) М. и М<sup>ме</sup> Curie, *Comptes rendus*, 6 ноября 1899 г.

(2) Rutherford, *Phil. Mag.*, январь и февраль 1900 г.

отличается отъ радиоактивности, производимой радіемъ, гораздо большею стойкостью по сравненію съ этой послѣдней; почти полное ея исчезаніе требуетъ около трехъ дней, начиная съ момента, когда активированное тѣло освобождено отъ дѣйствія активизирующаго тѣла, торія.

Дебьернъ затѣмъ показалъ, что актиній очень легко производитъ индуктивную радиоактивность. Эта радиоактивность исчезаетъ немного медленнѣе радиоактивности радія, но гораздо быстрѣе радиоактивности торія; она также концентрируется на тѣлахъ, несущихъ отрицательный зарядъ<sup>(1)</sup>.

§ 54. Радиоактивныя эманации. Зависимость между эманациями и индуктивными радиоактивностями.—Открытие радиоактивныхъ эманаций послѣдовало почти тотчасъ за открытіемъ индуктивной радиоактивности. Его начало коренится въ изученіи активности соединений торія. Мы видѣли (§ 37), какъ Рутерфордъ, рассматривая вліяніе токовъ воздуха на активность торія, пришелъ къ допущенію, что соединенія торія выдѣляютъ радиоактивную эманацию, аналогичную газу и могущую распространяться въ пространствѣ, окружающемъ активную матерію. Эта эманация существуетъ около 10 минутъ, что можно констатировать, увлекая ее въ пріемникъ, не содержащій активной матеріи.

Дорнъ показалъ, что можно воспроизвести тотъ же опытъ съ радіеносою солью барія, испускающей также радиоактивную эманацию; сверхъ того онъ показалъ, что выдѣленіе эманации является болѣе значительнымъ, когда соль сильно нагрѣта<sup>(2)</sup>.

Наконецъ активній порождаетъ значительное выдѣленіе радиоактивной эманации. Токи воздуха сильно вліяютъ на активность актинія; это было отмѣчено Дебьерномъ<sup>(3)</sup>. Мы видѣли, какъ Гизель, приготовивъ образцы активного вещества, которое потомъ оказалось тождественнымъ съ актиніемъ, пришелъ къ наблюденію надъ полученными тѣлами образованія радиоактивной эманации, очень легко истекавшей изъ вещества; это характерное явленіе опредѣлило выборъ названія *эманій*, предложеннаго Гизелемъ для вещества<sup>(4)</sup>.

(1) Debierne, *Comptes rendus*, июль 1900 г. и февраль 1903 г.

(2) Dorn, *Abh. Naturforsch. Gesell.*, Halle, 1900 г.

(3) Debierne, *Comptes rendus*, 1903 г.

(4) Giesel, *Chem. Ber.*, 1902 г.

До сихъ поръ неизвѣстно никакой другой родіоактивной эманациі сверхъ тѣхъ, которыя испускаются торіемъ, радіемъ и актиніемъ. Притомъ эманациі, происходящія отъ этихъ трехъ веществъ, различной природы; онѣ различаются между собою по своей неодинаковой стойкости. Въ то время какъ эманациія торія уменьшаетъ свою активность приблизительно на 1% въ теченіи 10 минутъ, тотъ же результатъ для эманациі радія получается только въ теченіи мѣсяца, а для эманациі актинія черезъ полминуты.

Эманациі не могутъ пронизывать никакого твердаго экрана, лишеннаго скважинъ, какъ бы онъ ни былъ тонокъ.

Существуетъ зависимость между эманациями и индуктивными родіоактивностями. Вещества, производящія индуктивную родіоактивность, тѣ же, что и вещества, испускающія эманациі. Совокупность разысканій надъ способомъ образованія индуктивной родіоактивности доказываетъ, что эта послѣдняя развивается на твердыхъ тѣлахъ только тогда, когда они находятся въ соприкосновеніи съ эманацией. Значитъ, на эманацию можно смотрѣть, какъ на причину, порождающую индуктивную родіоактивность.

Слово *эманациія*, вызывающее идею о газѣ, было предложено Рутерфордомъ уже въ 1900 г. для обозначенія причины родіоактивнаго явленія, ограниченнаго по мѣсту газомъ, окружающимъ активное вещество. Это обозначеніе не сразу установилось, потому что совершенно отсутствовали указанія относительно природы явленія. Рутерфордъ интуитивно возымѣлъ весьма счастливую мысль разсмотрѣть эманациі, какъ матеріальные газы, испускаемые въ очень небольшомъ количествѣ активными веществами. Эта гипотеза получила разнообразныя подтвержденія въ трудахъ, начиная, главнымъ образомъ, только лишь съ 1903 г. Одновременно было окончательно принято названіе *эманациі*. Нынѣ можно считать, что матеріальная природа эманациі радія установлена съ достовѣрностью наблюденіемъ характеристичнаго спектра и объемными измѣреніями.

Петромъ Кюри и Дебьерномъ былъ выполненъ рядъ важныхъ опытовъ надъ способомъ образованія индуктивной активности, вызываемой радіемъ и его растворами въ закрытомъ помѣщеніи (1). Эти опыты показали, что родіоактивная энергія, обнаруживающаяся въ такомъ помѣщеніи въ видѣ родіоактивности, распространен-

(1) Curie и Debierne, *Comptes rendus*, 1901 г. (нѣсколько Замѣтокъ).

ной по объему (эманации), и въ видѣ радиоактивности, покрывающей стѣнки (индуктивной радиоактивности), заимствуется прямо отъ радія, активность котораго настолько же уменьшается. Если радій легко испускаетъ часть своей активности наружу въ формѣ эманации и индуктивной радиоактивности, то его собственная активность становится слабою и является, такъ сказать, *экстерьерованною* (выведенною наружу). Однако форма активности, способная отдѣляться такимъ образомъ отъ радія, не стойка и со временемъ исчезаетъ. Съ другой стороны, она возрождается самопроизвольно въ соли радія, защищенной отъ потери эманации и индуктивной радиоактивности; эта соль принимаетъ тогда снова мало-по-малу свою прежнюю активность, которая получается, когда непрерывное и постоянное образование радіемъ эманации и индуктивной радиоактивности компенсируетъ самопроизвольное разрушеніе этихъ формъ активности.

§ 55. Приготовление химическимъ путемъ радиоактивныхъ веществъ съ ограниченою продолжительностью.—Первый опытъ этого рода былъ сдѣланъ Дебьерномъ, который старался получить индуктивную радиоактивность, выдерживая соли барія въ растворѣ съ сильно активнымъ актиніемъ<sup>(1)</sup>; растворъ былъ затѣмъ осажденъ амміакомъ для отдѣленія актинія. Въ другихъ опытахъ растворъ, содержащій актиній и барій, осаждался сѣрною кислотою; сѣрнокислый барій увлекалъ актиній; сѣрнокислыя соли надолго оставались вмѣстѣ, потомъ преобразовывались въ хлористыя соединения и актиній отдѣлялся посредствомъ осажденія амміакомъ. Получалась такимъ образомъ активная соль барія, которую можно было подвергнуть дробленію, подобно радіеносной соли барія, съ концентраціею активности въ наименѣе растворимой части. Дебьернъ получилъ такимъ образомъ хлористый барій въ 1000 разъ активнѣе урана; это хлористое соединеніе было самопроизвольно свѣтящимся. Въ то время возникалъ вопросъ, не преобразовался ли барій, въ этомъ опытѣ, частично въ радій. Однако активированный барій не давалъ спектра радія; кромѣ того, его активность со временемъ уменьшалась и кончала по прошествіи нѣсколькихъ мѣсяцевъ исчезаніемъ. Нынѣ извѣстно, что прибавленіе барія не необходимо и что при осажденіи раствора актинія амміа-

(1) Debierne, *Comptes rendus*, іюль 1900 г.

комъ отдѣляется отъ актинія растворимое въ амміакѣ активное вещество, активность котораго имѣетъ лишь ограниченную продолжительность. Это вещество получило названіе *актинія X*, по аналогіи съ веществами, полученными подобнымъ же образомъ съ ураномъ и торіемъ.

Важный опытъ былъ произведенъ Круксомъ надъ солями урана. Осаждая урановую соль углекислымъ аммоніемъ въ избыткѣ, Круксъ получалъ, по новомъ раствореніи начального осадка, легкой нерастворимый остатокъ въ избыткѣ реактива. Этотъ остатокъ концентрировалъ въ себѣ почти сполна первоначальную активность урана, при чемъ эта активность оцѣнивалась по радіографическому методу. Встряхивая съ эиромъ концентрированный водный растворъ азотнокислаго урана, Круксъ также нашелъ, что активность, оцѣненная по радіографическому методу, концентрировалась въ водной порціи раствора, тогда какъ порція, богатая эиромъ и содержащая уранъ, производила, по выпариваніи, лишь очень уменьшенный эффектъ. Круксъ заключилъ по этимъ результатамъ, что активность должно было приписать веществу, отличному отъ урана, которое онъ назвалъ *уранъ X* <sup>(1)</sup>.

Равнымъ образомъ Беккерель предпринялъ опыты въ этомъ направленіи. Пользуясь реакціей, которую Дебьернъ употреблялъ съ актиніемъ, онъ прибавилъ немного хлористаго барія къ раствору урановой соли и осадилъ барій сѣрною кислотою. Рядомъ операций такого рода можно получить уранъ, замѣтно неактивный съ радіографической точки зрѣнія. Однако Беккерель нашелъ, что спустя годъ *уранъ вполне воспринималъ свою первоначальную активность, тогда какъ уранъ X, который былъ отдѣленъ вмѣстѣ съ баріемъ, сталъ совершенно неактивнымъ* <sup>(2)</sup>.

Въ этихъ опытахъ активность урана оцѣнивалась по радіографическому результату, всецѣло обязанному проникающимъ лучамъ. При оцѣнкѣ активности по электрическому методу констатируется, что уранъ не испытываетъ значительной потери активности отъ химическихъ реакцій, отдѣляющихъ уранъ X.

Эти опыты надъ ураномъ были произведены съ цѣлью убѣдиться, активенъ ли уранъ самъ по себѣ или вслѣдствіе присоединенія посторонней матеріи. Они доказали, что потеря активности

<sup>(1)</sup> Crookes, *Proc. Roy. Soc.*, 1900 г.

<sup>(2)</sup> Becquerel, *Comptes rendus*, 1900 г. и 1901 г.

въ проникающихъ лучахъ, которой можетъ подвергнуться уранъ, кратковременна и что отдѣлимая активность имѣетъ ограниченную продолжительность.

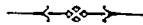
Рутерфордъ и Содди предприняли аналогичные опыты надъ солями торія. Осаждая растворъ соли торія амміакомъ, они получили осадокъ торія, потерявшій болѣе половины своей первоначальной активности. Потерянная активность осталась въ растворѣ; выпаривая этотъ послѣдній насухо и удаляя амміачныя соли, получали остатокъ, могшій быть въ нѣсколько тысячъ разъ активнѣе торія, отъ котораго онъ произошелъ. Притомъ, какъ и въ предыдущихъ случаяхъ, активность торія возвращается спустя нѣкоторое время (приблизительно черезъ мѣсяць послѣ операціи) свою первоначальную величину, тогда какъ активность вещества, отдѣленнаго отъ торія, мало-по-малу уменьшается и кончается исчезаніемъ въ такой же промежутокъ времени. Вещество, отдѣляющееся отъ торія при осажденіи этого послѣдняго амміакомъ и увлекающее значительную часть активности торія, было названо *торіемъ X*, по аналогіи съ ураномъ X Крукса<sup>(1)</sup>. Связь между торіемъ и торіемъ X была предметомъ очень подробнаго изученія со стороны Рутерфорда и Содди, которые показали, что торій X образуется въ соляхъ торія непрерывнымъ и равномернымъ образомъ и накапливается въ нихъ до тѣхъ поръ, пока скорость образованія не начинаетъ компенсировать скорости самопроизвольнаго разрушенія.

**§ 56. Образованіе и разрушеніе радіоактивныхъ веществъ.**—Мы только-что видѣли, какъ опыты, произведенныя въ различныхъ направленіяхъ, привели къ согласному заключенію, что можно наблюдать формы радіоактивности съ продолжительностью явно ограниченной и, притомъ, весьма измѣнчивою. Во всѣхъ случаяхъ такого рода форма болѣе или менѣе эфемерной радіоактивности происходитъ отъ вещества съ длительною радіоактивностью и можетъ быть изъ него извлечена и отдѣлена; въ то же время первичное вещество, которое оказывается такимъ образомъ лишеннымъ части своей радіоактивности, обладаетъ способностью возрождать эту послѣднюю по способу непрерывнаго образованія. Значить, постоянную активность первичнаго вещества должно считать вытекающею изъ равновѣсія стаціонарнаго состоянія. Первичное вещество порождаетъ непрерывное образованіе формы радіоактивности,

(1) Rutherford и Soddy, *Phil. Mag.*, 1902 г.



которая самопроизвольно разрушается; скорость разрушенія растеть, притомъ, съ возрастаніемъ интенсивности. Равновѣсіе получается, когда образование компенсируетъ самопроизвольное разрушеніе. Такимъ образомъ радій непрерывно производитъ эманацию и индуктивную радиоактивность; уранъ производитъ уранъ X; торій производитъ торій X; актиній производитъ актиній X. Мы увидимъ, что законы образования и разрушенія просты или могутъ приводиться къ простымъ законамъ. Изученіе явленій образования и разрушенія различныхъ формъ радиоактивности и законовъ, характеризующихъ эти явленія, послужило основаніемъ для развитія нынѣшней теоріи радиоактивности, въ которой предполагается, что образование или разрушеніе нѣкоторой формы радиоактивности всегда сопровождается образованиемъ или разрушеніемъ нѣкотораго рода матеріальныхъ атомовъ. Гипотеза атомическаго превращенія была предумотрѣна П. Кюри и мною съ самаго начала нашихъ изслѣдованій надъ радиоактивными веществами. Но эта гипотеза, нынѣ твердо установленная, обязана своимъ развитіемъ и своими первыми приложеніями трудамъ Рутерфорда и Содди. Точный механизмъ, предложенный этими учеными, оказалъ большія услуги въ качествѣ руководителя для экспериментальнаго изслѣдованія. Къ тому же языкъ, основанный на гипотезѣ матеріальной природы всякой формы радиоактивности, способной къ отдѣленію въ явственномъ состояніи (такова эманация или индуктивная радиоактивность), особенно удобенъ и будетъ обычно употребляться въ слѣдующихъ главахъ этого Труда.



## ОПЕЧАТКИ

Стран.	Строка	Напечатано:	Должно быть:
2	24 св.	въ смыслѣ оконча- тельной концентраціи.	въ направленіи паденія концентраціи.
4	12 >	былъ полученъ,	получается,
>	25 и 26 >	разсматривать	разсмотрѣть
5	14 >	безъ задержки	обычно
7	5 сн.	такому,	такого,
8	6 св.	значеніе пониженія	значеніе
10	10 и 9 сн.	быстро расходующихъ	обычно употребляемыхъ
12	23 св.	опыту,	тому опыту,
16	14 >	характера	направленія
18	15 >	заслонками,	частыми сѣтками,
30	5 сн.	пара вокругъ	пара
32	5 св.	выходѣ	выходѣ изъ
92	10 >	компенсируются	компенсируется
125	12 и 11 сн.	прямолинейна,	прямолинейна;
126	1 св.	соединеніе	соединеніе урана
134	4 >	свойство, могла	свойство,
140	5 >	клевеитъ,	клевеитъ,
144	1 сн.	въ извѣстныхъ единицахъ,	въ нѣкоторой мѣрѣ,
181	3 >	радія,	родія,
188	21 св.	(250 кгр,	(250 кгр)
190	3 сн.	1908 г.	1907 г.

# ОГЛАВЛЕНИЕ

## Первого выпуска I-го тома

### ГЛАВА ПЕРВАЯ

#### Ионы и электроны

		СТРАН.
	Введение . . . . .	III—X
и	1. Проводимость газовъ. Газовые ионы. Токъ насыщѣнія . . . . .	1
и	2. Основныя уравненія. Равномѣрная ионизація. Образованіе и возста- новленіе ионовъ . . . . .	5
и	3. Дѣйствіе электрическаго поля . . . . .	8
и	4. Распредѣленіе потенціала и электрическаго поля . . . . .	13
и	5. Поверхностная ионизація . . . . .	14
и	6. Измѣреніе коэффиціента возстановленія . . . . .	17
и	7. Измѣреніе подвижностей . . . . .	20
и	8. Сгущеніе іонами водяного пара . . . . .	26
и	9. Зарядъ ионовъ . . . . .	29
и	10. Диффузія ионовъ . . . . .	31
и	11. Элементарный зарядъ . . . . .	35
и	12. Источники возникновенія ионовъ и ихъ природа . . . . .	39
и	13. Теорія ионизаціи отъ столкновенія ионовъ и теорія колебательнаго разряда . . . . .	43
и	14. Катодные лучи . . . . .	46
и	15. Дѣйствіе магнитнаго и электрическаго поля на катодные лучи . . . .	47
и	16. Измѣреніе отношенія $\frac{e}{m}$ и скорости для электрона въ движеніи . . .	53
и	17. Электроны . . . . .	55
и	18. Положительные лучи . . . . .	58
и	19. Лучи Рѣнтгена . . . . .	60
и	20. Электромагнитное поле, вызываемое заряженною частицею . . . . .	61
и	21. Инерція и электромагнитная масса . . . . .	64
и	22. Излученіе энергіи электрономъ, подвергнутымъ ускоренію . . . . .	68

### ГЛАВА ВТОРАЯ

#### Приемы изученія и измѣренія радиоактивности

и	23. Методы наблюденія . . . . .	73
и	24. Электроскопы . . . . .	77
и	25. Электрометры. Методъ скорости отклоненія . . . . .	82
и	26. Методъ постояннаго отклоненія . . . . .	91
и	27. Методы компенсаціи. Пьезоэлектрической кварцъ . . . . .	94
и	28. Компенсація заряднымъ токомъ конденсатора . . . . .	104
и	29. Поправки къ измѣреніямъ . . . . .	106
и	30. Расположенія приборовъ въ опытахъ . . . . .	107
и	31. Диски-эталонны . . . . .	113
и	32. Вліяніе разстоянія между электродами, давленія и температуры воз- духа на результаты измѣреній . . . . .	114

## ГЛАВА ТРЕТЬЯ

## Радиоактивность урана и тория. Радиоактивные минералы

	СТРАН.
§ 33. Открытие радиоактивности . . . . .	119
§ 34. Урановые лучи . . . . .	120
§ 35. Ионизация урановыми лучами. . . . .	123
§ 36. Изучение урановых соединений . . . . .	128
§ 37. Радиоактивность тория . . . . .	129
§ 38. Радиоактивность есть атомическое свойство. Представляет ли она общее явление? . . . . .	133
§ 39. Радиоактивные минералы . . . . .	140

## ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ

## Новые радиоактивные вещества

§ 40. Новый метод разыскания химических элементов, основанный на радиоактивности . . . . .	143
§ 41. Исследование смоляной урановой руды. Открытие полония и радия. Актиний. Радиоактивный свинец. Торанит и радоторий. Ионий. . . . .	146
§ 42. Извлечение новых радиоактивных веществ. Обработка руды . . . . .	151
§ 43. Приготовление чистых солей радия. . . . .	153
§ 44. Спектр радия . . . . .	159
§ 45. Атомный вес радия . . . . .	161
§ 46. Свойства радиевых солей . . . . .	171
§ 47. Полоний. Приготовление и свойства . . . . .	175
§ 48. Актиний . . . . .	182
§ 49. Радиоактивный свинец. . . . .	186
§ 50. Радоторий. Мезоторий . . . . .	187
§ 51. Ионий . . . . .	190
* * . . . . .	190

## ГЛАВА ПЯТАЯ

## Радиоактивность с ограниченной продолжительностью. Индуктивная радиоактивность. Эманации. Химическое отделение веществ с недолговечною активностью

§ 52. Радиоактивности: длительная и эфемерная . . . . .	194
§ 53. Индуктивная радиоактивность . . . . .	196
§ 54. Радиоактивные эманации. Зависимость между эманациями и индуктивными радиоактивностями. . . . .	197
§ 55. Приготовление химическим путем радиоактивных веществ с ограниченной продолжительностью . . . . .	199
§ 56. Образование и разрушение радиоактивных веществ . . . . .	201
Портрет П. Кюри . . . . .	<i>Фротисис</i>
Таблица I. Радиографическое изображение руды . . . . .	74
Таблица II. Спектр радия . . . . .	161
Опечатки. . . . .	203

мѣнныхъ.—Глава VI. Разложенія въ прозведенія съ безконечнымъ числомъ множителей.—Глава VII. Разложенія въ непрерывныя дроби.—Глава VIII. Теорія вычетовъ (résidus).—Глава IX. Выраженія неопредѣленнаго вида и теорія особенныхъ точекъ.—Глава X. Теорія значеній maxima и minima.

Третья книга (3-й выпускъ). **Геометрическія приложенія.**

Глава I. Кривизна плоскихъ линій.—Глава II. Кривизна линій, нанесенныхъ на сферѣ.—Глава III. Соприкасающаяся плоскость кривой двоякой кривизны.—Глава IV. Двѣ кривизны кривой, соприкасающейся кругъ и соприкасающаяся сфера.—Глава V. Теорія кривизны поверхностей.—Глава VI. Ученіе о нормаляхъ къ одной и той же поверхности.—Глава VII. Теорія линій кривизны.—Глава VIII. Ученіе о линіяхъ, нанесенныхъ на поверхности.

**ПИРОЖКОВЪ, М. В. Ариметика ирраціональныхъ чиселъ.** Спб. 1898 г. 1 р. 50 к.

— **Дополнительныя статьи по Алгебрѣ.** Курсъ 7-го и 8-го классовъ гимназій. Посobie для готовящихся въ высшія техническія учебныя заведенія. Спб. 1900 г. 75 к.

Содержаніе: Теорія соединеній, биномъ Ньютона, непрерывныя дроби, неопредѣленныя уравненія первой степени съ двумя независимыми, несоизмѣримыя (ирраціональныя) числа, задачи.

Одобрено **Учен. Ком.** Мин. Нар. Просв. для фундам. библ. всѣхъ сред. учеб. завед. и для учен. библ. старшаго возраста мужскихъ гимн. и реальн. учил.; реком. **Главн. Управ.** военно-учебн. завед. для фундам. библ. кадет. корпусовъ.

— **Прибавленіе къ первой части Алгебры Бертрапа.** Сборникъ задачъ съ рѣшеніями. 2-ое изд. Спб. 1909 г. 1 р. 25 к.

— **Сборникъ задачъ для вступительныхъ экзаменовъ въ высшія техническія учебныя заведенія.** Посobie для гг. экзаменаторовъ. Спб. 1903 г. 1 р. 50 к.

**СЕРРЕ (Ж.-А.). Прямолинейная тригонометрія,** въ переводѣ *М. В. Пирожкова.* Спб. 1902 г. 60 к.

Допущено **Учен. Ком.** Мин. Нар. Просв. въ качествѣ руководства для сред. учебн. завед. Мин. Нар. Просв.

— **Сферическая тригонометрія,** въ переводѣ *М. В. Пирожкова.* Спб. 1902 г. 40 к.

Допущено **Учен. Ком.** Мин. Нар. Просв. въ ученич., старшаго возраста, библ. средн. учебн. завед.

— **Дополненіе къ «Теоріи круговыхъ функціи»,** въ переводѣ *М. В. Пирожкова.* Спб. 1906 г. 50 к.

---

Уступка книгопродавцамъ: въ Спб. 20<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, въ провинцію 25<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

Пересылка за счетъ заказчика.

Н  
4151  
№ 11М 14  
7 60

---

**Цѣна каждаго выпуска 2 р. 50 к.**

---

Все сочиненіе выйдетъ въ 2 томахъ, при чемъ каждый томъ будетъ разбитъ на 2 выпуска. При подпискѣ сразу на всѣ 4 выпуска цѣна 8 р. Подписка принимается въ конторѣ Издательства «Наука и Жизнь» (Спб., Петерб. Стор., Большой пр., д. 32) и во всѣхъ большихъ книжныхъ магазинахъ.

---

Портретъ М-ше Кюри будетъ приложенъ при II-мъ томѣ.