

Madame КЮРИ,
Профессоръ Физико-Математическаго Факультета въ Парижѣ

РАДІОАКТИВНОСТЬ

ТОМЪ I

ВЫПУСКЪ II

Переводъ М. Пирожнова

Цѣна наждаго выпуска 2 р. 50 к.



С.-ПЕТЕРБУРГЪ
ИЗДАТЕЛЬСТВО И КНИЖНЫЙ СКЛАДЪ „НАУКА И ЖИЗНЬ“
(Слб., Пет. Стор., Ижорская ул., 14)
1912

Издательство и книжный складъ „Наука и Жизнь“

В. Д. Дорнбергъ

(СПБ., Петерб. Стор., Ижорская ул., 14)

при ближайшемъ участіи М. В. Пирожкова.

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

Часть I. 2-ое изд. Спб. 1901 г. 2 р. См. дальше: *Пирожковъ. Приво-
леніе къ первой части Алгебры Бертрана.*

Часть II (Высшая Алгебра). Спб. 1908 г. 2 р.

Содержаніе: ГЛАВА I. Дополненія къ элементарной алгебрѣ (Ряды, сочетанія, биномъ Ньютона, логариѳмы, методъ неопредѣ-
ленныхъ коэффиціентовъ). — ГЛАВА II. Теорія производныхъ (Соста-
вленіе производныхъ, изученіе функцій при помощи производныхъ,
ряды для вычисленія логариѳмовъ и числа π). — 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 (Обозна-
ченія и основныя формулы, интерполированіе, рѣшеніе численныхъ
и трансцендентныхъ уравненій). — Приложенія (Разложеніе ратион.
дробей на простѣйшія, мнимыя выраженія, уравненія 3-ей степени,
рѣшеніе системы двухъ уравненій 2-ой степени съ двумя неизвѣст-
ными, о рѣшеніи уравненій первой степени, непрерывныя дроби,
методъ исключенія Безу и Эйлера).

Одобрены Учен. Ком. Мин. Нар. Просв. для фундам. библи. всѣхъ
средн. учебн. завед. и учен. библи. старшаго возраста мужскихъ гимн.
и реальн. учил.; реком. Главн. Управл. военно-учебн. завед. для
фундам. библи. кадетскихъ корпусовъ.

— Ариѳметика, въ переводѣ М. В. Пирожкова. Спб. 1901 г. 2 р.

— Дифференціальное Ичисленіе. Съ портретомъ автора. Переводъ М. В.
Пирожкова, безъ всякихъ сокращеній и измѣненій съ послѣдняго
французскаго изданія. Въ одномъ томѣ большаго формата 1п-4.
(X+756 стр.). Ц. 7 р. 50 к. За пересылку 75 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 употре-
бленіе въ геометріи. — ГЛАВА II. Производныя и дифференціалы пер-
ваго порядка. — ГЛАВА III. Функціональный опредѣлитель. —
ГЛАВА IV. Аналитическая теорія касательныхъ линій и касательныхъ
плоскостей. — ГЛАВА V. Дифференціалы нѣкоторыхъ функцій,
заданныхъ геометрически. — ГЛАВА VI. Производныя и дифферен-
ціалы порядка выше перваго. — ГЛАВА VII. За мѣна переменныхъ. —
ГЛАВА VIII. Составленіе дифференціальныхъ уравненій.

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

ГЛАВА I. Общее ученіе о рядахъ. — ГЛАВА II. Теорема Тэй-
лора. — ГЛАВА III. Нѣкоторыя разложенія въ ряды. — ГЛАВА IV.
Функціи отъ мнимой переменнй. — ГЛАВА V. Разложеніе функцій

Madame КЮРИ,
Профессоръ Физико-Математическаго Факультета въ Парижѣ

РАДІОАКТИВНОСТЬ

ТОМЪ I

Переводъ М. Пирожнова

Съ портретомъ П. КЮРИ



С.-ПЕТЕРБУРГЪ
ИЗДАТЕЛЬСТВО И КНИЖНЫЙ СКЛАДЪ „НАУКА И ЖИЗНЬ“
(Спб., Пет. Стор., Ижорская ул., 14)

1912

5298 $\frac{71}{62}$

$\frac{H}{4151}$

11/20

ГЛАВА ШЕСТАЯ

Радиоактивные газы или эманации

§ 57. Радиоактивныя эманации.—Газы, находящіяся въ помѣщеніи, содержащемъ радій, активій или торій, радиоактивны. Эта радиоактивность остается по высасываніи этихъ газовъ и по отдѣленіи ихъ отъ активнаго вещества. Отдѣленные такимъ образомъ газы теряютъ свою активность постепенно до полного ея исчезновенія. Время, необходимое для разактивированія газовъ, весьма различно, смотря по тому, какъ эти послѣдніе были получены: отъ радія, отъ активія или отъ торія. Допустима возможность наблюденія въ теченіи мѣсяца активности газовъ, находившихся въ соприкосновеніи съ радіемъ, въ теченіи 10 минутъ активности газовъ, находившихся въ соприкосновеніи съ торіемъ, и въ теченіи только минуты активности газовъ, находившихся въ соприкосновеніи съ активіемъ.

Когда газъ сталъ активнымъ въ соприкосновеніи съ радіемъ, торіемъ или активіемъ, говорятъ, что этотъ газъ содержитъ *радиоактивную эманацию*, происходящую отъ одного изъ этихъ тѣлъ. Слово *эманация* вызываетъ представленіе о газѣ; радиоактивныя эманации называются, притомъ, совершенно аналогичными матеріальнымъ газамъ.

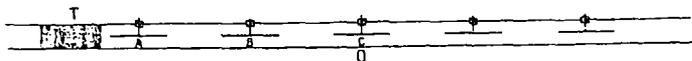
Радиоактивныя эманации не проходятъ сквозь стѣнки изъ металла, стекла или слюды, хотя бы очень тонкія, но онѣ могутъ проходить сквозь пористыя тѣла.

Стѣнки приемниковъ, содержащихъ радиоактивныя эманации, являются сами радиоактивными вслѣдствіе развитія на этихъ стѣнкахъ индуктивной радиоактивности. Каждой изъ трехъ эманаций соотвѣтствуетъ своя отличительная индуктивная радиоактивность.

§ 58. Эманация торія.—Для наблюденія эффектовъ эманации торія пропускаютъ по соединенію торія токъ воздуха, увлекающій эманацию

въ аппаратъ, гдѣ она подвергается изученію. *Черт. 43* представляетъ расположеніе прибора, аналогичное съ тѣмъ, которымъ пользовался Рутерфордъ въ своихъ изысканіяхъ по этому предмету.

Активное вещество, окись или гидратъ торія, помѣщается въ трубкѣ *O* въ *T*. Въ эту трубку впускаютъ токъ воздуха, предвари-



Черт. 43

тельно высушенный прохожденіемъ черезъ флаконъ съ сѣрною кислотою; этотъ токъ воздуха проходитъ черезъ хлопчатобумажную пробку, предназначенную задерживать капельки увлекаемой жидкости. Послѣ своего прохожденія по соединенію торія воздухъ, содержащій эманацию, фильтруется черезъ вторую хлопчатобумажную пробку, задерживающую пылинки и іоны, образующіеся въ *T*. Затѣмъ воздухъ идетъ вдоль металлической трубки *O*; эта трубка образуетъ цилиндрической конденсаторъ съ изолированными электродами *A*, *B*, *C* . . . , защищенными предохранительными кольцами. Трубку *O* доводятъ до высокаго потенциала; каждый изъ электродовъ можетъ быть соединенъ съ электрометромъ; электроды, остающіеся безъ употребленія, ссоединяются съ землею, также какъ и предохранительныя кольца. Проводимость, сообщенная воздуху содержащейся въ немъ эманациею, измѣряется токомъ насыщенія, который можно получить между цилиндромъ и однимъ изъ электродовъ.

Констатируется, что проводимость всецѣло обязана присутствію эманации и не можетъ происходить отъ увлеченія іоновъ, образующихся въ *T* подѣ дѣйствіемъ лучей торія. Дѣйствительно, замѣняя соединеніе торія урановымъ соединеніемъ и сохраняя то же расположеніе прибора, видимъ, что прибывающій въ трубку *O* воздухъ не есть проводникъ. По прошествіи 10 минутъ, какъ установился токъ воздуха съ постоянною скоростью, наступаетъ правильное стационарное состояніе, и токъ, который можетъ быть полученъ на каждомъ изъ электродовъ, постояненъ. Этотъ токъ не имѣетъ одного и того же значенія для разныхъ электродовъ; его интенсивность тѣмъ слабѣе, чѣмъ дальше электродъ отъ активного вещества. Кромѣ того, пониженіе интенсивности тока, констатируемое при замѣнѣ одного изъ электродовъ, напр., *A*, слѣдующимъ электродомъ *B*, тѣмъ больше, чѣмъ слабѣе скорость тока воздуха. Итакъ, проводимость воздуха, содержащаго эманацию,

убывать съ теченіемъ времени. Зная скорость тока воздуха, можно вычислить время, необходимое для прохожденія воздухомъ пути между двумя электродами, и такимъ образомъ можно узнать уменьшеніе проводимости въ теченіи даннаго времени. Можно также, задержавъ токъ воздуха, наблюдать на одномъ изъ электродовъ постепенное убываніе проводимости воздуха, содержащагося въ трубкѣ O , выходы которой должны быть при этомъ закрыты.

Вотъ рядъ чиселъ, полученныхъ Рутерфордомъ въ опытъ этого рода; t —обозначаетъ время, протекшее съ момента приостановки тока воздуха, а i —токъ насыщенія, измѣненный въ моментъ t и выраженный въ произвольныхъ единицахъ:

t секундъ	i
0	100
28	69
62	51
118	25
155	14
210	6,7
272	4,1
360	1,8

Строя кривую, представляющую интенсивность тока въ функціи отъ времени, замѣчаемъ, что эта кривая соотвѣтствуетъ приближенно простому численному соотношенію: интенсивность тока уменьшается на половину приблизительно въ минуту. Можно допустить, что именно по этому закону исчезаетъ эманация торія, если интенсивность тока въ каждое мгновеніе предполагать пропорціональной количеству эманации, присутствующей въ газѣ.

Законъ убыванія эманации торія былъ впоследствии опредѣленъ съ большою точностью другими наблюдателями. Rossignol и Gimmingham⁽¹⁾ нашли, что активность убываетъ на половину въ теченіи періода, равнаго 51 сек.; Bronson⁽²⁾ нашелъ для той же постоянной значеніе, равное 54 сек.; Hahn получилъ значеніе 53,3 сек.⁽³⁾ Употребленный методъ въ принципѣ былъ одинаковъ съ методомъ Рутерфорда.

Выдѣленіе эманации окисью или гидратомъ торія тѣмъ значительнѣе, чѣмъ толще слой употребляемаго вещества. Для слоевъ достаточной толщины радиоактивность, распространенная въ газѣ, вслѣдствіе

(1) Rossignol и Gimmingham, *Phil. Mag.*, 1904 г.

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

(3) Hahn, *Jahrbuch d. Rad.*, 1905 г.

присутствія эманациі, значительна по сравненію съ прямымъ лученспусканіемъ вещества. Когда радиоактивный газъ увлекается токомъ воздуха, проводимость воздуха въ соприкосновеніи съ веществомъ оказывается сильно уменьшившеюся, потому что эманациія торія не можетъ въ немъ накапливаться.

§ 59. Эманациія радія.—Эманацию радія можно получить либо съ твердыми радіеносными соединеніями, либо съ растворами радіеносныхъ солей. Твердые соединенія выдѣляютъ весьма мало эманациі при обыкновенной температурѣ; радиоактивность, распространенная въ воздухѣ, находящемся въ соприкосновеніи съ этими соединеніями, незначительна по сравненію съ радиоактивностью самого твердаго продукта; если пропускать токъ воздуха по твердой радіеносной соли, то проводимость воздуха въ соприкосновеніи съ веществомъ не испытываетъ замѣтнаго уменьшенія.

Когда твердая соль доведена до высокой температуры, выдѣленіе эманациі происходитъ значительно легче. Но предпочтительнѣе пользоваться растворами радіеносныхъ солей, такъ какъ соль въ растворѣ порождаетъ изобильное выдѣленіе эманациі радія при обыкновенной температурѣ.

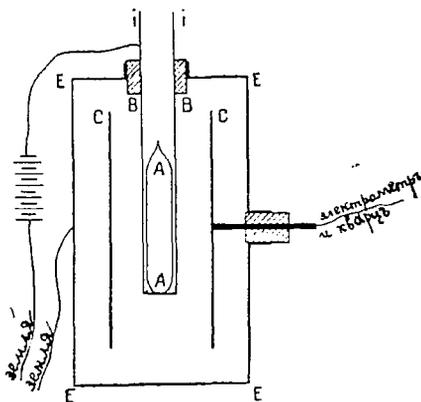
Эманациія радія гораздо стойче эманациі торія. Можно вытянуть воздухъ, заряженный этой эманацией, въ газовый конденсаторъ; эманациія, отдѣленная такимъ образомъ отъ радія, обнаруживаетъ постепенно убывающую радиоактивность, которую можно наблюдать въ теченіи мѣсяца и долѣе посредствомъ метода электрическихъ измѣреній. Можно также вытянуть воздухъ, содержащій эманацию радія, въ стеклянный баллонъ, стѣнка котораго покрыта фосфоресцирующимъ сѣрнистымъ цинкомъ. Радиоактивность газа, содержащагося въ баллонѣ, обнаруживается свѣченіемъ сѣрнистаго цинка, которое можно наблюдать въ теченіи нѣсколькихъ дней и даже свыше мѣсяца.

Первое точное изученіе закона измѣненія активности эманациі радія было сдѣлано П. Кюри посредствомъ двухъ различныхъ расположеній приборовъ (1).

Эманациія доставлялась растворомъ радіеносной соли барія, сохраняемымъ въ закрытомъ флаконѣ, снабженномъ краномъ, и запирающимъ только часть объема флакона. Воздухъ, содержащійся въ флаконѣ, заряжается эманацией и затѣмъ можетъ быть вытянутъ въ пріемникъ, въ которомъ предварительно произведена пустота.

(1) *Comptes rendus*, 1902 г.

Первый ряд опытов состоялъ въ высасываніи активнаго газа въ стеклянную трубку *A* (черт. 44), которая затѣмъ запаивалась на лампѣ. Эту стеклянную трубку помѣщали внутри тонкой алюминіевой трубки, составлявшей внутреннюю обкладку цилиндрическаго конденсатора. Испускаемые трубкою лучи проходили сквозь алюминій и обращали въ проводникъ воздухъ, содержащійся между обкладками конденсатора. Внутренняя обкладка *B* доводилась до высокаго потенциала, внѣшняя обкладка *C* соединялась съ электрометромъ. Токъ насыщенія, который могъ быть полученъ въ конденсаторѣ, измѣрялся при помощи пьезоэлектрическаго кварца.



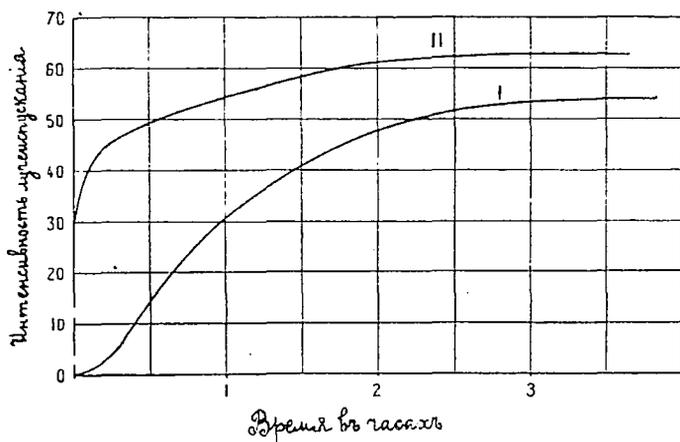
Черт. 44

Измѣренное такимъ образомъ лучеиспусканіе было обязано исключительно радиоактивности стѣнокъ трубки, а не радиоактивности газа. Дѣйствительно, при быстромъ извлеченіи изъ трубки воздуха, заряженного эманацией, не происходитъ никакого рѣзкаго измѣненія въ интенсивности лучеиспусканія, которая, будучи измѣрена непосредственно до и послѣ извлеченія активнаго газа, имѣетъ замѣтно одно и то же значеніе. Однако законъ разактивированія стѣнки трубки оказывается измѣнившимся. По удаленіи эманации трубка разактивируется быстро, и ея активность замѣтно обращается въ нуль по истеченіи нѣсколькихъ часовъ. Если же, напротивъ, эманация остается заключенною въ трубкѣ, эта послѣдняя теряетъ свою активность гораздо медленнѣе; интенсивность лучеиспусканія убываетъ тогда на половину приблизительно въ 4 дня. Слѣдовательно, въ этомъ второмъ опытѣ можно допустить, что заключенная въ трубкѣ эманация поддерживаетъ радиоактивность стѣнокъ и что эта послѣдняя длится столь же долго, какъ и сама эманация.

Если, внезапно введя эманацию въ трубку, быстро эту послѣднюю запереть и тотчасъ приступить къ ряду измѣреній проникающаго лучеиспусканія, съ надлежащими между ними промежутками, то констатируется, что это лучеиспусканіе въ самомъ началѣ замѣтно нулевое, но что постепенно оно увеличивается. Увеличеніе, сначала быстрое,

становится все болѣе и болѣе медленнымъ, и интенсивность лучеиспускания стремится къ максимальному значенію, которое наступаетъ черезъ три часа и затѣмъ въ теченіи слѣдующихъ двухъ часовъ сохраняется замѣтно постояннымъ. За этимъ максимумомъ слѣдуетъ медленное и правильное убываніе, продолжающееся въ теченіи нѣсколькихъ недѣль, до полного почти исчезанія активности.

Только-что описанные опыты доказываютъ, что внѣшнее лучеиспускание трубки не обязано непосредственно эманацин, но должно быть приписано индуктивной радиоактивности, образующейся постепенно на стѣнкахъ въ присутствіи эманацин. Максимумъ наступаетъ, когда эта индуктивная радиоактивность достигаетъ предѣльнаго значенія, соответствующаго наличному количеству эманацин. Кривая, представляющая приращеніе интенсивности тока i въ функции отъ времени, воспроизведена на *черт. 45, I*.



Черт. 45

II. Кюри нашелъ, что законъ медленнаго убыванія внѣшняго лучеиспускания трубки, содержащей эманацин, очень простъ. Интенсивность лучеиспускания J выражается въ функции отъ времени t по показательному закону

$$J = J_0 e^{-\frac{t}{\theta}} = J_0 e^{-\lambda t}.$$

Въ этой формулѣ J_0 выражаетъ начальную интенсивность, измѣренную нѣсколько часовъ спустя послѣ введенія эманацин; e —основаніе натуральныхъ логарифмовъ и θ —постоянная, изображающая время. Нанося логарифмъ величины J въ ординатахъ и t въ абсциссахъ, ви-

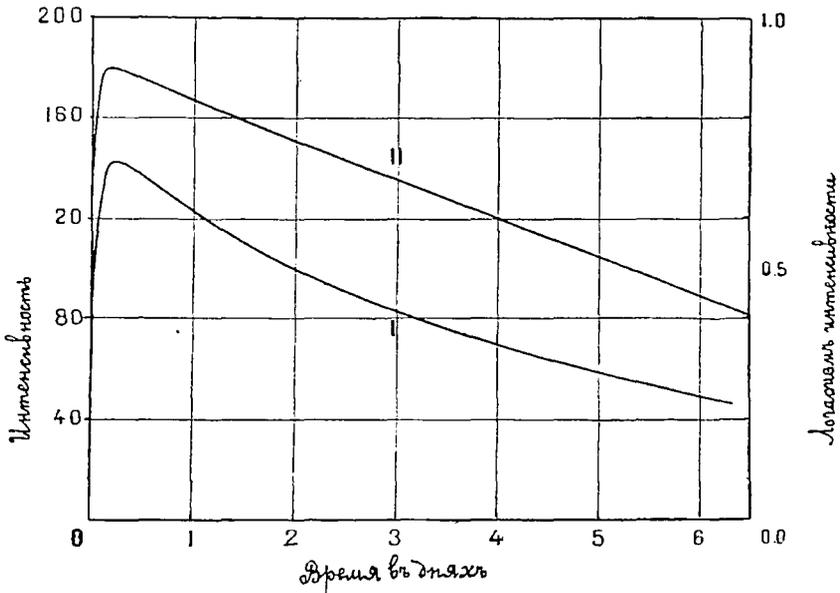
димъ, что соотвѣтственные точки опытовъ размѣщаются въ послѣдовательномъ порядкѣ весьма точно по одной прямой, которая можетъ быть продолжена на протяженіи отъ 20 до 30 дней, хотя интенсивность лученспусканія и упала по прошествіи этого времени менѣе, чѣмъ на одну тридцатую начальнаго значенія.

Опыты выполнялись при весьма разнообразныхъ условіяхъ. Для доставленія эманации брались растворы солей радія весьма различной активности, а также твердые радіеносныя соли; варьировались размѣры (отъ 3 кв. см. до 200 кв. см.) помѣщеній, содержащихъ эманацию, и форма этихъ помѣщеній; варьировалась толщина стекла и употреблялись помѣщенія съ мѣдною или алюминіевою стѣнкою; активированіе помѣщенія выполнялось введеніемъ въ него эманации либо посредствомъ широкой и короткой трубки, либо посредствомъ длинной и капиллярной трубки; варьировалось время активированія радіемъ между 15 минутами и мѣсяцемъ; варьировалось давленіе воздуха, заряженнаго эманацией, отъ атмосфернаго до давленія въ $2^{\text{см}}$ ртутнаго столба, и трубку оставляли разактивировываться, послѣ того какъ она была залаяна подъ этимъ уменьшеннымъ давленіемъ; оперировали съ водородомъ или углекислымъ газомъ вмѣсто воздуха внутри активныхъ трубокъ. Однакожъ законъ убыванія вѣшняго лученспусканія оставался все тотъ же, несмотря на эти измѣненія условій опыта.

Второй рядъ опытовъ II. Кюри выполнилъ, принимая за мѣру активности интенсивность тока насыщенія, получаемаго между двумя электродами, расположенными внутри трубки, содержащей эманацию. При такомъ оперированіи измѣряемая проводимость обязана за-разъ лученспусканію газа и лученспусканію стѣнокъ. Въ самомъ дѣлѣ, если быстро удалить эманацию токомъ воздуха и оставить трубку наполниться неактивнымъ воздухомъ, то констатируется, что проводимость воздуха между двумя электродами, измѣренная тотчасъ послѣ операціи, гораздо слабѣе, чѣмъ до операціи. Такимъ образомъ мы видимъ, что эманации должно приписать лученспусканіе въ собственномъ смыслѣ, не достаточно проникающее, чтобы проходить сквозь стѣнку трубки и дѣйствовать снаружи, но энергично іонизирующее воздухъ, содержащій эманацию; это — поглощаемое лученспусканіе. Когда эманация вводится въ трубку внезапно, токъ, измѣренный непосредственно послѣ введенія, не является нулемъ, но обладаетъ нѣкоторымъ начальнымъ значеніемъ; затѣмъ токъ растетъ въ функціи отъ времени и достигаетъ максимальнаго значенія по прошествіи 3 часовъ; за максимумомъ слѣдуетъ медленное и правильное убываніе, какъ въ томъ случаѣ, когда

измѣряется проникающее лученепусканіе. Зависимость въ теченіи 3 часовъ между интенсивностью лученепусканія и временемъ, отсчитаннымъ съ момента введенія эманацин, представлена кривою II на *черт.* 45. Значеніе максимальнаго тока приблизительно въ два раза выше значенія начальнаго тока. Можно замѣтить, что возрастаніе интенсивности тока для начала гораздо быстрее, чѣмъ въ томъ случаѣ, когда пользуются только проникающими лучами (кривая I).

Въ этихъ опытахъ съ внутренними электродами законъ убыванія лученепусканія тотъ же, что и въ предыдущихъ опытахъ съ электродами внѣшними по отношенію къ газу, содержащему эманацию. Кривая I (*черт.* 46) представляетъ интенсивность лученепусканія въ функции отъ времени въ теченіи 6 дней, начиная съ момента, когда



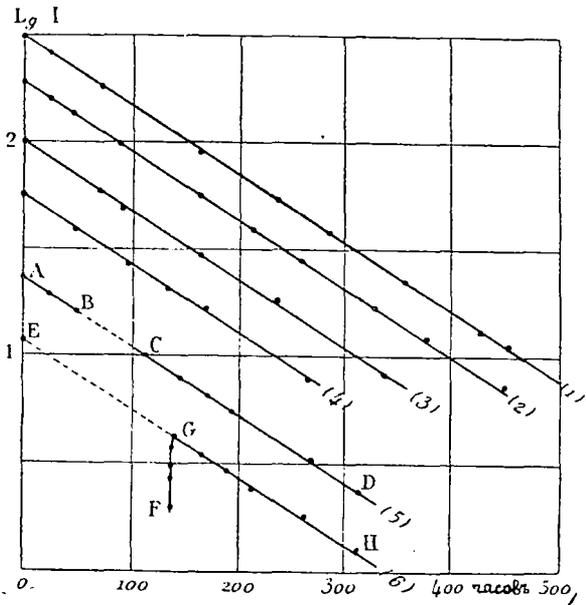
Черт. 46

была введена эманация въ приборъ. Кривая II (*черт.* 46) представляетъ для того же промежутка времени логарифмъ интенсивности въ функции отъ времени.

Работа, выполненная П. Кюри надъ эманацией радія, представляетъ первое точное и полное изученіе закона убыванія формы радиоактивности съ ограниченной продолжительностью. Вытекало, изъ совокупности опытовъ, произведенныхъ для этого изученія, что законъ убы-

ванія можетъ быть строго представлень простою показательною формулою, характеризуемою только одною постоянною времени. П. Кюри допустилъ, что наблюденный законъ характеристиченъ для исчезанія эманациі радія. Постоянная времени, характеризующая это исчезаніе, оказалась независящею отъ условій опыта, отъ природы газа, наполняющаго помѣщеніе, и отъ матеріи стѣнокъ.

Сверхъ того П. Кюри показалъ, что законъ исчезанія эманациі не зависитъ отъ температуры въ предѣлахъ между 450° и температурою жидкаго воздуха (1). Запаянныя трубки, содержащія эманацию, поддерживались въ теченіи 3 дней на температурѣ въ 450° въ электрической печи. Затѣмъ трубки приводились къ окружающей температурѣ. Измѣрялась ихъ активность и констатировалось, что вся потеря за время нагрѣванія равнялась потерѣ, которую испытала бы трубка въ такой же промежутокъ времени при окружающей температурѣ. На *черт. 47* представлены опыты съ нанесеніемъ логарифма лученспусканія въ



Черт. 47

ординатахъ и времени въ абсциссахъ. Получаются такимъ образомъ параллельныя между собою прямыя (1), (2), (3), (4), представляющія 4 ряда опытовъ, выполненныхъ при окружающей температурѣ. Кри-

(1) *Comptes rendus*, январь 1908 г.

вая (5) даетъ результатъ опыта при 450° ; точки отъ A до B представляютъ измѣренія до нагрѣванія, точки отъ C до D — измѣренія послѣ нагрѣванія; всѣ эти точки расположены на одной и той же прямой, параллельной четыремъ предыдущимъ прямымъ. Въ другомъ опытѣ трубки охлаждались въ жидкомъ воздухѣ при -180° . Точка E , кривая (6), представляетъ первое измѣреніе, сдѣланное при окружающей температурѣ; затѣмъ трубка оставалась погруженною въ жидкій воздухъ въ теченіи 6 дней; потомъ были возобновлены измѣренія при окружающей температурѣ. Первое измѣреніе, точка F , полученное непосредственно послѣ разогрѣванія трубки, дало для лучеспусканія значеніе въ два раза слабѣе того значенія, которое получилось бы, если бы трубка оставалась все время при окружающей температурѣ. Но вслѣдъ за этимъ активность трубки быстро увеличивается приблизительно въ теченіи полчаса (точки отъ F' до G). Сдѣланныя послѣ этого измѣренія, отъ G до H , даютъ значенія, которыя получались бы, если бы трубка оставалась все время при окружающей температурѣ. Прямая GH при своемъ продолженіи проходитъ черезъ точку E ; эта прямая имѣетъ то же наклоненіе, что и прямая (1), (2), (3), (4). Послѣ временной пертурбаціи возстановляется обычный законъ убыванія. Пертурбація обязана сгущенію эманациі радія при низкой температурѣ.

Численное значеніе постоянной времени эманациі радія, по опытамъ П. Кюри, слѣдующее:

$$\theta = 138 \text{ час.} = 4,97 \cdot 10^5 \text{ сек.},$$

или

$$\frac{1}{\theta} = \lambda = 2,01 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{сек.}}$$

Можно еще охарактеризовать третью постоянную, связанную съ предыдущими. Эта постоянная есть необходимое время, въ теченіи котораго эманация разрушалась бы на половину.

Пусть

$$J = J_0 e^{-\lambda t} = J_0 e^{-\frac{t}{\theta}}$$

будетъ формула, дающая интенсивность лучеспусканія въ функціи отъ времени, отсчитываемаго съ момента, когда установленъ законъ правильнаго пониженія.

Имѣемъ:

$$\lambda = \frac{\text{Log } J_0 - \text{Log } J}{t \text{Log } e},$$

гдѣ знакъ Log обозначаетъ десятичные логарифмы.

Обозначая черезъ T такое время, въ которое $J = \frac{J_0}{2}$, находимъ:

$$T = \frac{\text{Log } 2}{\lambda \text{Log } e} = \frac{\text{Log } 2}{\left(\frac{\text{Log } J_0 - \text{Log } J}{t} \right)}.$$

Значеніе T , которое выводится изъ даннаго передъ тѣмъ значенія λ , есть

$$T = 3,99 \text{ дн.}$$

Угловой коэффициентъ прямой, представляющей пониженіе логарифма интенсивности, пропорціоналенъ λ .

П. Кюри показаль, что постоянная времени, измѣренная для эманации радія, будучи независимою отъ условій опытовъ, должна быть считаема характеристичною для этой эманации и что, кромѣ того, эта постоянная, не посящая никакого специфическаго признака, должна имѣть общее значеніе. Притомъ она доступна для опредѣленія съ большою точностью. Этою постоянною можно было бы воспользоваться для установленія *эталоны времени, независимаго отъ всѣхъ единицъ, принятыхъ для прочихъ физическихъ величинъ* (1). Точно такимъ же образомъ можно использовать аналогичныя постоянныя, относящіяся къ другимъ случаямъ радиоактивности съ ограниченою продолжительностью.

Рутерфордъ и Содди показали, во время своихъ опытовъ надъ сгущеніемъ эманации торія, что и этой послѣдней скорость разрушенія измѣняется не болѣе при температурѣ жидкаго воздуха.

Убываніе эманации радія изучалось и другими учеными. Рутерфордъ и Содди (2) собрали воздухъ, заряженный эманацией, въ газовую бюретку надъ ртутью. Время отъ времени опредѣленный объемъ этой смѣси извлекался газовой пипеткою и вводился въ газовый конденсаторъ. Этотъ послѣдній состоялъ изъ латунной цилиндрической коробки, въ которую входилъ изолированный соосный цилиндрический электродъ, при чемъ всѣ швы были непроницаемы для воздуха. Ко-

(1) P. Curie, *Soc. de Phys.*, 1902 г.

(2) Rutherford и Soddy, *Phil. Mag.*, 1903 г.

робка доводилась до высокаго потенціала, центральнй электродъ соединялся съ электрометромъ съ присоединеніемъ конденсатора надлежащей емкости. Измѣряли методомъ скорости отклоненія токъ насыщенія, получаемый въ конденсаторѣ *непосредственно* послѣ введенія эманаци; этотъ токъ принимался за мѣру активности эманаци, содержащейся въ конденсаторѣ. Измѣреніе затруднялось быстрымъ возрастаніемъ тока вслѣдствіе развитія индуктивной радиоактивности на стѣнкахъ конденсатора. Измѣренія продолжались въ теченіи 33 дней. Онѣ привели къ допущенію уменьшенія активности по показательному закону, но со значеніемъ постоянной λ немного бѣльшимъ, чѣмъ найденное П. Кюри. Рутерфордъ и Содди указали значенія

$$\lambda = 2,16 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{сек.}}, \quad T = 3,71 \text{ дн.}$$

Хотя эти результаты сходятся, въ первомъ приближеніи, съ результатами П. Кюри, отступленіе значеній, полученныхъ обѣими сторонами для постоянной T , превышаетъ ошибки опытовъ; дѣйствительно, это отступленіе достигаетъ отъ 7% до 8%. Изъ другихъ экспериментаторовъ, Bumstead и Wheeler указали значеніе $T = 3,88$ дн. Sackur, пользуясь методомъ Рутерфорда и Содди, нашель $T = 3,86$ дн. (1).

Rümelin (2) употребилъ слѣдующій методъ: два сосуда A и B , сообщающихся узкою трубкою, содержатъ заряженный эманацией воздухъ въ состояніи однородной смѣси; эти сосуды отдѣльно и одновременно запаиваются. Активность эманаци, содержащейся въ каждомъ сосудѣ, измѣряется по истеченіи времени t_1 для сосуда A и по истеченіи времени t_2 для сосуда B . Для этого содержащаяся въ сосудѣ эманация переводится въ ионизаціонную камеру, приложенную къ электро-скопу; токъ пара, идущій изъ баллона съ кипящею водою, выгоняетъ заряженный эманациею воздухъ, находящійся въ сосудѣ, и увлекаетъ его въ газометръ, гдѣ этотъ воздухъ собирается надъ водою, прежде чѣмъ быть вытянутымъ въ ионизаціонную камеру. Токъ насыщенія, измѣренный 3 часа спустя послѣ вытягиванія, когда достигнутъ максимум, пропорціоналенъ количеству введенной въ камеру эманаци. Пусть i_1 и i_2 будутъ токи, соотвѣтственно полученные съ эманациями сосудовъ A и B . Количества эманаци, содержавшіяся при началѣ времени

(1) Sackur, *Ber. d. deutsch. chem. Gesell.*, 1905 г.—Bumstead и Wheeler, *Amer. Journ. Sc.*, 1904 г.

(2) Rümelin, *Phil. Mag.*, 1907 г.

въ обонхъ сосудахъ, были пропорціональны ихъ объемамъ v_1 и v_2 и затѣмъ были уменьшены въ отношеніи $e^{-\lambda t_1}$ для сосуда A и $e^{-\lambda t_2}$ для сосуда B . Итакъ, имѣемъ:

$$i_1 = kv_1 e^{-\lambda t_1}, \quad i_2 = kv_2 e^{-\lambda t_2},$$

$$\frac{i_1}{i_2} = \frac{v_1}{v_2} e^{-\lambda(t_1 - t_2)},$$

откуда можно вывести значеніе λ .

Полученныя такимъ образомъ для T числа варьировались между 3,70 и 3,80 днями со среднею въ 3,75 дн. Однако методъ имѣеть очень большое неудобство, заключающееся въ пропусканіи эманациі сквозь воду до измѣренія ея активности. Эманация же радія растворима въ водѣ, и коэффициентъ растворимости не очень малъ; слѣдовательно, неизбѣжно теряется эманация при оперированіи по этому способу, и потеря, вѣроятно, не такова, чтобы ею можно было пренебречь при точныхъ опытахъ.

Я предприняла нѣсколько серій измѣреній съ цѣлью точнаго опредѣленія постоянной T . Эти измѣренія производились по методу П. Кюри, состоящему въ измѣреніи тока, который можетъ дать эманация, заключенная въ абсолютно непроницаемомъ приѣмникѣ, при чемъ измѣреніе велось либо по методу внѣшнихъ, либо по методу внутреннихъ электродовъ. Дѣйствительно, этотъ методъ заслуживаетъ, повидимому, наибольшаго довѣрія, такъ какъ исключаетъ причины ошибки, связанная съ переводомъ эманациі изъ одного сосуда въ другой. Употребленіе пьезоэлектрическаго кварца даетъ, къ тому же, возможность выполнить рядъ измѣреній на протяженіи отъ 20 до 25 дней, при чемъ всѣ измѣренія абсолютно сравнимы безъ всякихъ заботъ о чувствительности электрометра или о емкости измѣрительныхъ приборовъ.

Приборъ, служившій для измѣреній посредствомъ внѣшнихъ электродовъ, подобенъ изображенному на *черт.* 44. Приборъ, служившій для измѣреній посредствомъ внутреннихъ электродовъ, представляетъ газовый конденсаторъ вида, изображеннаго на *черт.* 38; коробка B этого конденсатора была снабжена двумя узкими выходными трубками, изъ которыхъ одна оканчивалась укороченнымъ манометромъ очень малаго объема, тогда какъ другая служила трубкою сообщенія. Предварительная операція состоитъ въ образованіи пустоты въ конденсаторѣ и въ запаиваніи трубки сообщенія. Затѣмъ оставляютъ приборъ подъ наблюдениемъ въ теченіи нѣсколькихъ дней для провѣрки, вполнѣ

ли онъ непроницаемъ. Тогда вытягиваютъ въ конденсаторъ надлежащее количество содержащейся въ сухомъ воздухѣ эманации, дополняютъ сухимъ воздухомъ, до тѣхъ поръ пока давленіе не станетъ замѣтно равнымъ атмосферному, и запаиваютъ трубку, служившую для вытягиванія. Послѣ этого приборъ готовъ для ряда измѣреній.

Каждый рядъ измѣреній по методу внѣшнихъ или внутреннихъ электродовъ продолжался отъ 20 до 30 дней, при чемъ измѣренія производились, вообще, одинъ или два раза въ день. Maximum интенсивности тока наступалъ 3 часа спустя съ момента, когда была вытянута эманация въ конденсаторъ; однако показательный законъ уменьшенія интенсивности, повидимому, устанавливается вполнѣ лишь 24 часа спустя послѣ вытягиванія. Я въ особенности надѣялась констатировать, что въ моихъ опытахъ съ внутренними электродами токъ по достиженіи максимума убываетъ все быстрѣе и быстрѣе между $t=3$ час. и $t=20$ час., при чемъ время t отсчитывается съ момента ввода эманации въ приборъ; но, начиная съ $t=20$ час., скорость поппженія оказывается немного меньшею и принимаетъ постоянное стаціонарное состояніе, продолжающееся затѣмъ въ теченіи болѣе 20 дней. Поэтому, если построить кривую, изображающую логарифмъ интенсивности въ функціи отъ времени, то эта кривая представитъ точку перегиба между $t=4$ час. и $t=20$ час. Эта непредвидѣнная теоріей точка перегиба мало еще отмѣчена, и трудно что-нибудь утверждать по этому поводу.

Во всѣхъ опытахъ токъ насыщенія былъ всегда достигнутъ; разность потенциаловъ между двумя обкладками измѣрительнаго конденсатора была 800 вольтъ.

Въ опытахъ, произведенныхъ по методу внутреннихъ электродовъ, масса газа, подвергавшаяся ионизирующему дѣйствію, оставалась постоянною; значитъ, не было надобности ни въ какой поправкѣ отъ измѣненія давленія и температуры окружающаго воздуха. Но въ опытахъ, произведенныхъ съ приборомъ съ внѣшними электродами, ионизаціонная камера не была закрыта герметически. Ионизація, производимая въ воздухѣ, содержащемся въ этой камерѣ, проникающими лучами, исходящими изъ трубки съ эманацией, растетъ съ плотностью воздуха, подвергаемаго дѣйствію лучей; ее можно было бы считать пропорціональною плотности, если бы проникающая сила использованныхъ лучей была достаточно велика. Въ такомъ случаѣ мы имѣли бы:

$$\frac{i_n}{i} = \frac{d_n}{d} = \frac{p_n}{p} \frac{1 + at}{1 + at_n},$$

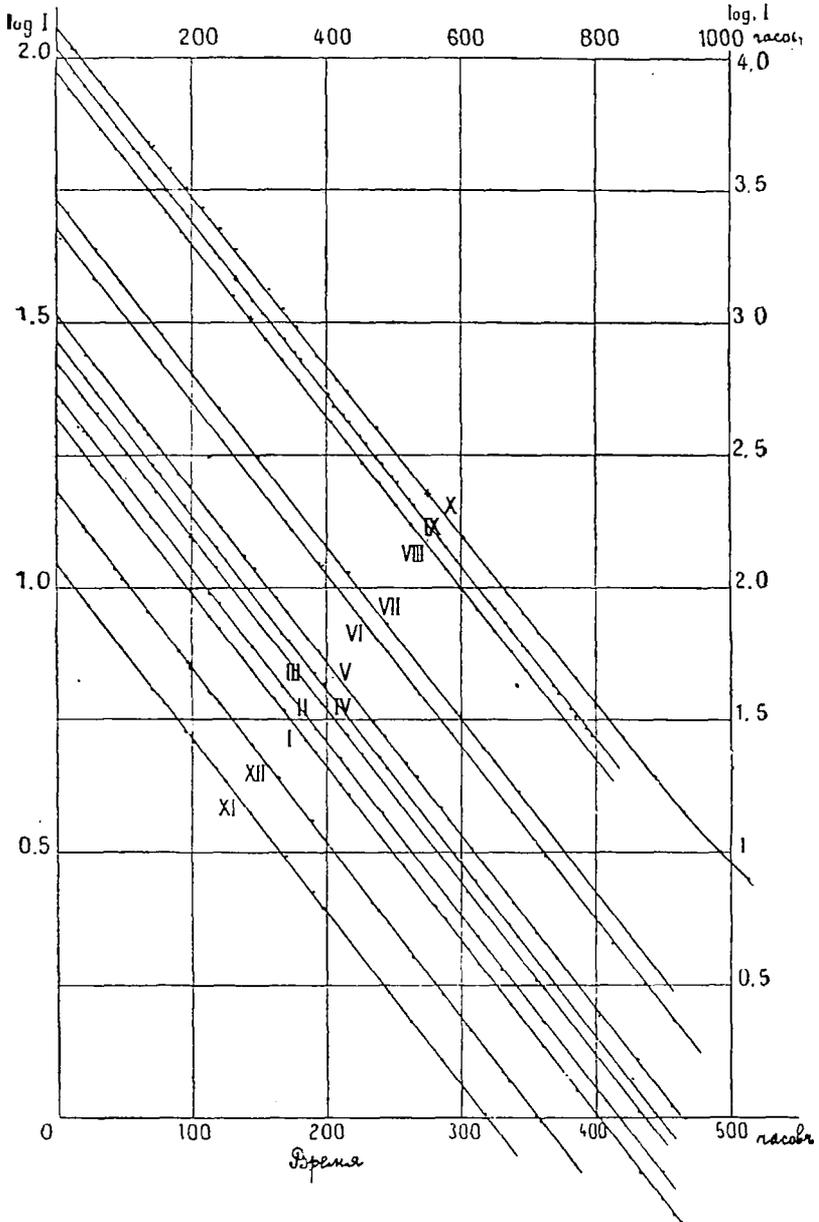
гдѣ i обозначаетъ токъ, измѣренный при давленіи p и температурѣ t , а i_0 —токъ, отнесенный къ давленію p_0 и температурѣ t_0 . Поправка ϵ , которую должно прибавить къ i , чтобы получить i_0 , дается тогда приближенною формулою

$$\epsilon = i [0,0013 (760 - p) + 0,0037 (t - t_0)],$$

гдѣ p измѣряется въ миллиметрахъ ртутнаго столба. Эта поправка, должно быть, не слишкомъ значительна, такъ какъ среди первичныхъ и происходящихъ отъ нихъ вторичныхъ лучей, вѣроятно, имѣются сравнительно поглощаемые; но можно замѣтить, что въ среднемъ видѣ кривыхъ лишь едва измѣняется отъ поправки.

Слѣдуетъ рассмотреть другую поправку, вытекающую изъ радиоактивности, свойственной измѣрительному прибору. Эта послѣдняя всегда была очень слаба въ началѣ опыта, достигая, напр., только 0,1% тока, подлежащаго измѣренію; она сильно возрастала по мѣрѣ уменьшенія тока, обязаннаго эманациі, и могла достигнуть 5% измѣряемаго значенія. Методъ пьезоэлектрическаго кварца позволяетъ выполнить рядъ измѣреній на протяженіи приблизительно 30 дней. При пользованіи способомъ вѣшнихъ электродовъ можно продлить продолжительность опыта, употребляя большое количество эманациі и сокращая вначалѣ интенсивность лучеиспусканія посредствомъ толстаго свинцоваго экрана, обертывающаго активную трубку и удаляемаго по прошествіи 20 дней. Однако констатируется, что нѣтъ интереса продолжать измѣренія свыше 30 дней, такъ какъ простой показательный законъ оказывается съ этого времени измѣненнымъ, и убываніе тока является все болѣе и болѣе медленнымъ. Этотъ фактъ обязанъ постепенному проявленію *индуктивной радиоактивности съ очень медленнымъ развитіемъ*, отличной отъ той, которая требуетъ только всего 3 часа для достиженія равновѣсія стационарнаго состоянія съ эманациею радія (§ 77). Важно убѣдиться, что эта радиоактивность не можетъ способствовать ощутительнымъ образомъ образованію тока въ измѣрительномъ аппаратѣ. Въ самомъ дѣлѣ, если бы это было такъ, наблюденный законъ убыванія былъ бы немного медленнѣе закона, характеризующаго эманацию, при чемъ, однако, деформациа могла бы оказаться слишкомъ слабою и нельзя было бы ясно увидѣть, что законъ не чисто показательный. Это соображеніе представляетъ важный доводъ противъ употребленія методовъ, состоящихъ въ измѣреніи активности эманациі при оставленіи ея въ одномъ и томъ же сосудѣ. Можно устранить этотъ доводъ слѣдующимъ образомъ. По окончаніи ряда

измѣреній удаляютъ эманацию изъ содержащаго ее приемника; ожидаютъ 24 часа, до полного потуханія индуктивной радиоактивности съ



Черт. 48

быстрымъ развитіемъ, и измѣряютъ тогда лучеиспускаваніе, принадлежащее прибору. При оперированіи съ внутренними электродами приемникомъ служить просто измѣрительный конденсаторъ; при оперированіи съ внѣшними электродами этимъ приемникомъ является содержащая эмалацию трубка, которая послѣ опоражниванія должна быть снова вставлена на мѣсто для выполненія повѣрки по истеченіи 24 часовъ. Въ обоихъ случаяхъ констатируется, что наблюденная такимъ образомъ активность по истеченіи 25-тидневнаго опыта очень слаба и не могла бы измѣнить полученныхъ результатовъ.

Каждый рядъ измѣреній изображался кривою съ нанесеніемъ въ абсциссахъ времени, измѣреннаго въ часахъ, и въ ординатахъ десятичнаго логарифма числа, измѣряющаго токъ въ произвольныхъ единицахъ. Полученныя такимъ образомъ кривыя воспроизведены на *черт.* 48. Ихъ можно принять, съ очень большою точностью, за прямыя съ угловымъ коэффициентомъ a (уменьшеніе десятичнаго логарифма интенсивности въ часъ), указаннымъ въ слѣдующей таблицѣ:

Внутренніе электроды

	Время наблюденія	a
I.	470 часовъ	0,003279
II.	450 "	0,003270
III.	430 "	0,003265
IV.	430 "	0,003280
V.	580 "	0,003258
	Среднее значеніе	<u>0,003270</u>

Масштабъ для этихъ прямыхъ указанъ на чертежѣ внизу и слѣва.

Внѣшніе электроды

	Время наблюденія	a
VI.	460 часовъ	0,003255
VII.	360 "	0,003270
VIII.	700 "	0,003244
IX.	800 "	0,003255
X.	1040 "	0,003200
	Среднее значеніе	<u>0,003246</u>

Прямые VI и VII построены по тому же масштабу, как и прямые от I до V. Прямые VIII, IX, X изображают опыты гораздо большей продолжительности и построены по масштабу вдвое мельче предыдущаго, указанному на чертежѣ сверху и справа. Начальная концентрація эманации въ трубкѣ была въ этомъ случаѣ больше, по интенсивность лученспусканія вначалѣ была уменьшена употребленіемъ свинцоваго экрана, окружавшаго трубку; когда интенсивность становилась слабою, экранъ удалялся, и измѣренія продолжались въ томъ же аппаратѣ. Соединеніе двухъ частей прямой, полученныхъ съ экраномъ и безъ экрана, обозначено на чертежѣ всюду крестикомъ, и мы видимъ, что въ этихъ точкахъ нѣтъ никакого измѣненія въ направленіи. Искривленіе прямой X, начиная съ 800 часовъ, обязано появленію индуктивной радиоактивности съ медленнымъ развитіемъ.

Въ опытахъ съ VI по X начальная концентрація эманации была значительно больше, чѣмъ въ опытахъ съ I по V, при отношеніи порядка 10^5 . Такимъ образомъ въ теченіи отдѣльнаго опыта концентрація можетъ уменьшиться въ отношеніи приблизительно 1000 безъ нарушения показательнаго закона, и, кромѣ того, коэффициентъ a является замѣтно одинаковымъ во всѣхъ опытахъ, какова бы ни была начальная концентрація въ указанныхъ предѣлахъ. Отсюда вытекаетъ, что законъ разрушенія эманации не зависитъ отъ концентраціи этой послѣдней въ очень широкихъ предѣлахъ. Этотъ фактъ подтверждается также опытами, произведенными съ очень концентрированной эманацией (считая, что максимальное количество эманации, помѣщающееся въ маленькой трубкѣ объемомъ около 0,1 куб. мм., можетъ дать 1^{400} радія). Начальная концентрація въ этомъ случаѣ была въ 2×10^{11} разъ больше, чѣмъ въ опытахъ съ внутренними электродами, и тѣмъ не менѣе законъ разрушенія не является измѣненнымъ. Прямая XI изображаетъ одинъ изъ этихъ опытовъ съ $a = 0,00323$.

Прямая XII представляетъ результаты ряда измѣреній, полученныхъ въ приборѣ съ внутренними электродами, съ эманацией, остающейся отъ опыта, произведеннаго передъ тѣмъ въ приборѣ съ внѣшними электродами. Законъ разрушенія замѣтно всегда одинъ и тотъ же ($a = 0,00330$). Къ концу этого ряда измѣреній эманация являлась отдѣленною отъ радія уже 3 мѣсяца.

Мы видимъ, поэтому, что постоянная эманации доступна для опредѣленія съ большою точностью обоими употреблявшимися методами. Однако методъ внутреннихъ электродовъ даетъ для a болѣе согласныя значенія, и въ среднемъ слегка большія значенія, полученныхъ по дру-

тому методу (расхождение средних ниже 1%). Метод внутренних электродов, в котором излучение эманации происходит непосредственно рядом с излучением индуктивной радиоактивности, казалось бы, имѣть, в этомъ отношеніи, преимущество передъ методомъ вѣшнихъ электродовъ, в которомъ излучение индуктивной радиоактивности является единственнымъ; за то этотъ послѣдній методъ представляетъ больше безопасности, такъ какъ никакая утечка эманации навѣрное не можетъ имѣть мѣста. Впрочемъ, полная теорія показываетъ, что для временъ, превышающихъ нѣсколько часовъ и ниже одного мѣсяца, убываніе всего лучеспусканія и убываніе провикающаго лучеспусканія должны оба представлять весьма точно законъ убыванія эманации.

Я замѣтила, что результаты, полученные съ вѣшними электродами, сильно зависятъ отъ состоянія влажности воздуха, содержащаго эманацию. Если, въ особенности, этотъ послѣдній совершенно высушенъ, результаты очень неправильны, до такой степени, что опытъ не можетъ служить для опредѣленія постоянной. Это явленіе объясняется условіями осажденія индуктивной радиоактивности въ трубкѣ, содержащей эманацию. Далѣе мы увидимъ, что въ газѣ образуется активная матерія и осаждается на стѣнкахъ трубки вслѣдствіе диффузій; на эту послѣднюю сильно вліяютъ измѣненія окружающей температуры, порождающія образованіе волненій въ газовой массѣ. Всякое измѣненіе въ распредѣленіи активнаго осадка можетъ отозваться измѣненіемъ интенсивности ионизаціи въ приборѣ, утилизирующемъ лучи. Можно регулировать явленіе двумя способами: 1) пользуясь очень узкою трубкою, въ которой активный осадокъ достигаетъ очень легко стѣнки и не застаивается въ газѣ; такой опытъ представленъ прямою VII; 2) пользуясь влажнымъ воздухомъ, въ которомъ активный осадокъ проявляетъ себя, какъ тяжелое тѣло, и быстро достигаетъ дна (нижней стѣнки) (§ 87); прямая VI представляетъ опытъ, выполненный при этихъ условіяхъ.

Можно заключить, что, принимая значеніе $a = 0,00326$, мы получаемъ постоянную эманации радія съ ошибкою ниже 1%. По этому значенію a находимъ:

$$\lambda = 2,085 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{сек.}} = 0,00751 \frac{1}{\text{часъ}},$$

$$\theta = 4,796 \cdot 10^5 \text{ сек.} = 133,2 \text{ час.},$$

$$T = 3,324 \cdot 10^5 \text{ сек.} = 92,34 \text{ час.} = 3,85 \text{ дн.}$$

Въ концѣ этого тома приложена таблица, съ помощью которой можно вычислять, для извѣстнаго количества начальной эманации, дробь,

остающуюся по прошествіи даннаго времени (Таблица А), при чемъ λ принято равнымъ $0,0075 \frac{1}{\text{часъ}}$.

§ 60. Эманация активія.—Активіеносныя рѣдкія земли чрезвычайно легко выдѣляютъ эманацию активія. Пропуская токъ воздуха надъ активіеноснымъ твердымъ продуктомъ, помѣщеннымъ въ измѣрительный конденсаторъ, констатируемъ увлеканіе значительной активности и сильное уменьшеніе активности продукта. Значить, эта активность обязана въ очень значительной части эманации, накопившейся между отдѣльными крупинками и въ ихъ непосредственной близости. Направляя токъ воздуха, заряженный эманацией активія, на экранъ изъ фосфоресцирующаго сѣрнистаго цинка, получаемъ прекрасное свѣченіе на мѣстѣ ихъ встрѣчи. Измѣняя направление тока воздуха, перемѣщаемъ по желанію свѣтящееся пятно. Когда токъ воздуха направленъ почти параллельно поверхности экрана, мы видимъ появленіе свѣтового слѣда, подобнаго струѣ свѣтящагося дыма, который постепенно расплзается, потому что эманация активія, какъ весьма непрочная, разрушается одновременно съ увлеканіемъ ея газомъ. Если продуктъ активенъ, опытъ отличается большою красотою.

Законъ убыванія эманации активія былъ изученъ Дебьерномъ (¹), употребившимъ для этой цѣли экспериментальное расположеніе, показанное на *черт.* 43. Активіеносная матерія въ крупинкахъ, освобожденныхъ отъ слишкомъ тонкой пыли, помѣщалась между двумя хлопчатобумажными пробками въ концѣ трубки *O*. Быстрый токъ воздуха проходилъ сквозь вещество и увлекалъ эманацию вдоль трубки. Трубка доводилась до высокаго потенциала; она содержала, какъ указываетъ чертёжъ, нѣсколько изолированныхъ электродовъ, равноотстоящихъ другъ отъ друга и размѣщенныхъ по ея оси. Какой-нибудь изъ этихъ электродовъ могъ быть соединенъ съ электрометромъ, и измѣрялся токъ насыщенія, который можно было получить между каждымъ изъ электродовъ и трубкою. Этотъ токъ пропорціоналенъ проводимости воздуха въ моментъ его прохожденія по разсматриваемому электроду, и предполагалось, что эта проводимость сама пропорціональна активности эманации, содержащейся въ воздухѣ. Зная скорость тока воздуха, можно вычислить время, соотвѣтствующее прохожденію отъ одного электрода къ слѣдующему.

Такимъ образомъ констатируется, что проводимость весьма быстро

(¹) Debierné, *Comptes rendus*, 1904 г.

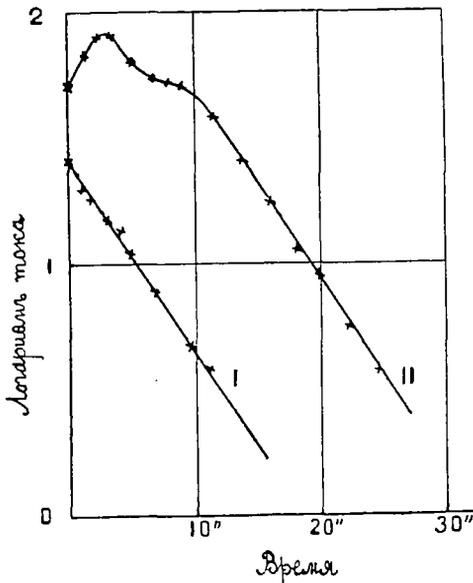
убываетъ вдоль трубки и что необходимо употреблять очень быстрый токъ воздуха (около $20 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$), если желательно использовать нѣсколько электродовъ, занимающихъ большую длину въ трубкѣ. Законъ убыванія есть простой показательный законъ. Интенсивность тока дается выраженіемъ

$$J = J_0 e^{-\lambda t},$$

или же

$$J = J_0 e^{-\lambda \frac{l}{V}},$$

гдѣ черезъ J_0 обозначена интенсивность на электродѣ, выбранномъ за начало, черезъ J —интенсивность, измѣренная на одномъ изъ слѣдующихъ электродовъ, центръ котораго находится на разстояніи l отъ центра электрода, принятаго за начало, черезъ V —скорость тока воздуха, черезъ t —время, равное $\frac{l}{V}$. На черт. 49 линия I



Черт. 49

представляетъ логарифмъ ионизирующей силы эманации въ функціи отъ времени.

Коэффициентъ λ имѣетъ значеніе 0,18. Это значеніе таково, что

активность эманации уменьшается на половину в теченіи времени $T = 3,9$ сек.

Въ предыдущемъ опытѣ концентрація эманации измѣряется непосредственно іонизаціею газа. Полную серію измѣреній можно выполнить прежде, чѣмъ трубка и электроды приобрѣтутъ ощутительную индуктивную радиоактивность.

Въ другомъ рядѣ опытовъ Дебьернъ постарался измѣрить концентрацію эманации на уровнѣ опредѣленнаго электрода, посредствомъ индуктивной радиоактивности, которую можно наблюдать по прошествіи достаточнаго времени на стѣнкѣ цилиндрическаго конденсатора, образуемаго этимъ электродомъ съ трубкою O . Для этого поддерживаютъ въ теченіи нѣсколькихъ часовъ токъ воздуха, увлекающій эманацию въ трубку; затѣмъ удаляютъ активное вещество, изгоняютъ эманацию и тотчасъ измѣряютъ іонизацию въ каждомъ изъ послѣдовательныхъ конденсаторовъ. Эта іонизация обязана единственно индуктивной радиоактивности стѣнокъ; къ тому же, она убываетъ правильно въ функціи отъ времени, при чемъ активность конденсатора уменьшается на половину приблизительно въ 36 минутъ. Выполняя перекрестныя измѣренія, можно установить, каковы, въ одинъ и тотъ же моментъ, активности всѣхъ конденсаторовъ. Констатируется, что активность сначала возрастаетъ, когда удаляются отъ начала трубки, гдѣ находилось активное вещество; далѣе, она проходитъ черезъ maximum, затѣмъ начинаетъ убывать; законъ убыванія тогда тотъ же, какой наблюдается и при измѣреніяхъ іонизирующей силы эманации, такъ что въ области трубки, слѣдующей за максимумомъ, индуктивная радиоактивность пропорціональна концентраціи породившей ее эманации и можетъ служить для измѣренія этой концентраціи. На *черт.* 49 линія II представляетъ логарифмъ активирующей силы эманации въ функціи отъ времени. Наблюдаемое отступленіе въ части трубки между началомъ и максимумомъ не вполне еще объяснено. Можно, вмѣстѣ съ Дебьерномъ, представить себѣ, что эманация состоитъ изъ двухъ различныхъ газообразныхъ продуктовъ: первая эманация, образуемая активіемъ, надѣленная іонизирующею силою и имѣющая законъ убыванія, характеризуемый постоянною $T = 3,9$ сек., превращалась въ неактивную вторую эманацию, но производящую индуктивную радиоактивность и разрушающуюся гораздо быстрѣе первой. Тогда понадобилось бы нѣкоторое время, чтобы образовалась въ газѣ вторая эманация, проходящая надъ активіемъ и увлекающая первую. Когда область максимума пройдена, концентраціи обѣихъ эманаций пропорціональны, при

чемъ пропорціональность вытекаетъ изъ равновѣсія стаціонарнаго состоянія между образованіемъ и разрушеніемъ второй эманации. Индуктивная радіоактивность пропорціональна концентраціи второй эманации.

Можно также попытаться объяснить то же явленіе безъ допущенія существованія двухъ эманаций, предполагая, что образующійся въ газѣ осадокъ индуктивной радіоактивности требуетъ нѣкотораго времени, впрочемъ, очень короткаго, чтобы диффундировать и отложиться на стѣнкѣ трубки. Нѣкоторые опыты благоприятны этой точкѣ зрѣнія, но вопросъ всё-же не можетъ считаться рѣшеннымъ.

Убываніе эманации активія можно наблюдать съ качественной стороны при помощи слѣдующаго расположенія, использованнаго Дебьерномъ. Токъ воздуха увлекаетъ эманацию вдоль стеклянной трубки, въ которой находятся сходные между собою экраны, расположенные на равныхъ другъ отъ друга разстояніяхъ и покрытые фосфоресцирующимъ сѣрнистымъ цинкомъ. Эманация вызываетъ свѣщеніе этого сѣрнистаго соединенія, и фосфоресценція тѣмъ сильнѣе, чѣмъ больше концентрація эманации вблизи экрана. Начиная съ момента установленія тока воздуха, мы видимъ послѣдовательное освѣщеніе экрановъ въ порядкѣ ихъ разстоянія отъ источника, по мѣрѣ того какъ даетъ себя чувствовать прибытіе эманации. Когда стаціонарное состояніе установилось, интенсивность фосфоресценціи идетъ, слабѣя, отъ одного экрана къ слѣдующему, по мѣрѣ того какъ увеличивается разстояніе отъ источника, и граница, до которой явленіе видимо, растетъ со скоростью тока воздуха. При приѣстановкѣ этого послѣдняго видно постепенное потуханіе фосфоресценціи экрановъ; но если токъ воздуха поддерживался въ теченіи достаточнаго времени, полного потуханія нѣтъ, и каждый экранъ сохраняетъ тѣмъ большій остатокъ свѣщенія, чѣмъ сильнѣе была фосфоресценція въ стаціонарномъ состояніи. Эта остаточная фосфоресценція обязана не эманации, но образовавшейся на экранѣ индуктивной радіоактивности, и исчезаетъ одновременно съ послѣднею по прошествіи нѣсколькихъ часовъ.

Измѣренія, выполненныя Нahn'омъ и Sackur'омъ по методу газоваго потока, подтвердили значеніе, указанное Дебьерномъ, для постоянной эманации активія (1).

Въ силу своего быстрого разрушенія эманация активія не можетъ быть переведена посредствомъ вытягиванія въ измѣрительный конденсаторъ такъ, чтобы быть отдѣленною отъ порождающей ее активной матеріи.

(1) Hahn и Sackur, *Chem. Ber.*, 1905 г.

Дебьернъ показалъ, что продукты активныя выбрасываютъ помимо своей характеристичной эманацин весьма незначительную порцію очень стойкой эманацин (¹). Чтобы въ этомъ убѣдиться, достаточно вытянуть въ измѣрительный конденсаторъ газъ, находящійся въ баллонѣ, содержащемъ растворъ активнаго. Эманация активнаго непосредственно разрушается; остается одна болѣе стойкая эманация, и можно изучить законъ ея измѣненія съ теченіемъ времени. Констатируется, что эта эманация проявляетъ себя, какъ эманация радія, и должна считаться тождественною съ этою послѣднею. Выдѣленіе эманацин радія растворами активнаго весьма незначительно; однакожъ невозможно, повидимому, приписывать ея присутствію небольшого количества радія, какъ бы оставшагося съ активіемъ во время его приготовленія. Нынѣ доказано, что активнѣе содержитъ небольшое количество радиоактивнаго элемента іонія, порождающаго медленное образованіе радія.

§ 61. Сравненіе трехъ эманаций.— Мы только-что видѣли, что три радиоактивныя эманацин разрушаются по закону одного и того же вида, но что скорость разрушенія весьма различна въ каждомъ случаѣ. Вотъ значенія характеристичныхъ коэффициентовъ для каждой эманацин:

Эманация радія . . .	$\lambda = 2,085 \cdot 10^{-6}$	$\frac{1}{\text{сек.}}$	$T = 3,324 \cdot 10^5$ сек.
„ торія . . .	$\lambda = 0,013$	„	$T = 53^{\circ},5$
„ активнаго . .	$\lambda = 0,18$	„	$T = 3^{\circ},9$

Можно замѣтить, что разрушеніе эманацин активнаго приблизительно въ 87000 разъ быстрѣе разрушенія эманацин радія.

Испускаемыя радиоактивными тѣлами эманацин постепенно диффундируютъ въ воздухъ, окружающій вещество; но вслѣдствіе весьма различной продолжительности ихъ жизни получаемые эффекты — не одного и того же характера.

Въ сосудѣ, содержащемъ растворъ радіеносной соли, эманация радія оказывается распространенною замѣтно равномернымъ образомъ, когда достигнуто равновѣсіе стационарнаго состоянія; дѣйствительно, эта эманация довольно устойчива, чтобы диффундировать въ просторномъ сосудѣ, не испытывая разрушенія въ значительной пропорціи.

Напротивъ, эманация торія не можетъ диффундировать на значительное разстояніе отъ испускающаго ее вещества; это явленіе еще въ большей степени обнаруживается съ активіемъ, эманация котораго можетъ распространяться лишь на нѣсколько сантиметровъ отъ активнаго

(¹) Debiern e, *Comptes rendus*, 1904 г.

вещества; концентрація еманациі убываетъ въ этомъ случаѣ весьма быстро съ удаленіемъ отъ актинія.

Но если, вмѣсто того чтобы сохранять активное вещество въ приемникѣ, наполненномъ воздухомъ при атмосферномъ давленіи, оперируютъ подъ уменьшеннымъ давленіемъ, явленія оказываются измѣненными. Въ такомъ случаѣ эманациі торія и актинія могутъ легко диффундировать и распространяться въ сосудѣ на подобіе эманациі радія.

Всѣ три эманациі владѣютъ свойствомъ іонизировать газы, въ которыхъ онѣ находятся, дѣйствовать на фотографическія пластинки и вызывать свѣченіе фосфоресцирующихъ веществъ, въ особенности, свѣченіе фосфоресцирующаго сѣрнистаго цинка. Токъ, получаемый въ измѣрительномъ конденсаторѣ, содержащемъ газъ, заряженный эманацией, растетъ вмѣстѣ съ давленіемъ газа, если количество эманациі остается постояннымъ.

Всѣ три эманациі владѣютъ свойствомъ сообщать твердымъ веществамъ, съ которыми онѣ находятся въ соприкосновеніи, временную радиоактивность, называемую *индуктивною*. Каждой эманациі соответствуетъ особая и характеристичная индуктивная радиоактивность, не зависящая отъ получающей ее матеріи.

Эманациі можно изучать по ихъ іонизирующимъ дѣйствіямъ или по ихъ способности вызывать фосфоресценцію. Съ этой послѣдней точки зрѣнія, какъ фосфоресцирующая матерія, предпочтительно употребляется сѣрнистый цинкъ. Мы видѣли, какъ экранъ изъ сѣрнистаго цинка можетъ служить для нагляднаго доказательства увлекающаго эманациі актинія токами воздуха. Точно такъ же можно получить освѣщеніе экрана изъ сѣрнистаго цинка эманацией радія, втягивая ее въ стеклянный приемникъ, содержащій такой экранъ; съ большими количествами эманациі явленіе очень блестяще. Стекло приемника также становится свѣтящимся подъ дѣйствіемъ эманациі радія; между различными сортами стекла тюрингенское особенно чувствительно, однакожь свѣченіе всегда гораздо слабѣе, чѣмъ съ сѣрнистымъ цинкомъ.

По мѣрѣ распространенія эманациі радія вдоль капиллярной трубки можно наблюдать свѣченіе стекла вдоль этой трубки.

Свѣченіе сѣрнистаго цинка въ присутствіи эманациі обнаруживаетъ особенный признакъ: это—*мерцанія*. Наблюдая свѣченіе въ лупу, видимъ появленіе множества свѣтящихся точекъ, каждая изъ которыхъ существуетъ лишь очень короткое время. Это явленіе, къ которому мы дальше вернемся, особенно поразительно съ эманацией актинія.

§ 62. Диффузія еманцій. — Множество изслѣдованій было выполнено для точнаго опредѣленія природы радиоактивныхъ эманцій. Эти изслѣдованія наглядно доказали, что эманации проявляютъ себя во всѣхъ отношеніяхъ, какъ неустойчивые матеріальные газы, надѣленные радиоактивностью. Предпріятыя съ этой точки зрѣнія изслѣдованія допускаютъ изученіе диффузіи эманцій, ихъ растворимости, ихъ сгущенія при низкой температурѣ, также какъ и попытки изолированія эманации радія въ виду опредѣленія ея спектра и измѣренія ея объема подъ опредѣленнымъ давленіемъ. Эти изслѣдованія будутъ здѣсь изложены въ вышеуказанномъ порядкѣ.

П. Кюри и Дебернъ показали, что если помѣщеніе A , содержащее радій, сообщается посредствомъ длинной капиллярной трубки съ другимъ помѣщеніемъ B , первоначально неактивнымъ, то это послѣднее постепенно активизируется вслѣдствіе распространенія активности вдоль капиллярной трубки (¹). Это распространеніе соотвѣтствуетъ перемѣщенію эманации радія, которая въ этомъ случаѣ проявляетъ себя, какъ газъ, диффундирующий изъ помѣщенія A къ помѣщенію B внутри воздуха, наполняющаго капиллярную трубку, въ силу разности своихъ концентрацій въ двухъ помѣщеніяхъ. По установленіи равновѣсія оба помѣщенія, если они сходны, обнаруживаютъ одну и ту же внѣшнюю активность.

П. Кюри и Даниъ изучили потомъ количественно распредѣленіе эманцій радія между двумя резервуарами (²). Количество эманации, содержащейся въ каждомъ резервуарѣ, считалось по внѣшнему лучеспусканію этого резервуара, при чемъ это лучеспусканіе измѣнялось по достиженіи равновѣсія стаціонарнаго состоянія между эманацией и индуктивною радиоактивностью стѣнокъ. Пусть v_1 будетъ объемъ резервуара, производящаго лучеспусканіе i_0 ; приводимъ его въ сообщеніе съ неактивнымъ вторымъ резервуаромъ объема v_2 ; часть эманации переходитъ въ этотъ второй резервуаръ, но стаціонарное состояніе устанавливается лишь по прошествіи нѣкотораго времени t . Въ теченіи этого времени эманация разрушается въ извѣстной пропорціи. Пусть i будетъ лучеспусканіе, которое произвелъ бы первый резервуаръ по прошествіи времени t , если бы не было установлено сообщенія со вторымъ резервуаромъ. Пусть i' будетъ лучеспусканіе, измѣренное въ дѣйствительности по прошествіи времени t . Находимъ, что

(¹) Curie и Debierne, *Comptes rendus*, мартъ и декабрь 1901 г.

(²) Curie и Danne, *Comptes rendus*, 1903 г.

$$\frac{i'}{i} = \frac{v_1}{v_1 + v_2}, \quad \text{гдѣ} \quad i = i_0 e^{-\lambda t}.$$

Итакъ, эманация распредѣляется между двумя резервуарами пропорціонально ихъ объемамъ. Опытъ даетъ одинъ и тотъ же результатъ съ разными степенями пустоты.

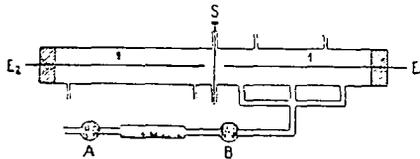
Въ описанномъ опытѣ оба резервуара—при одной и той же температурѣ. Были произведены другіе опыты, въ которыхъ одинъ изъ резервуаровъ имѣлъ окружающую температуру, тогда какъ другой доводился до 350° . Констатируется, что эманация дѣлится между двумя резервуарами въ той же пропорціи, какъ и масса газа при тѣхъ же условіяхъ, т.-е. по закону Бойля-Гей-Люссака (Boyle-Gay-Lussac). Пусть i_0 будетъ лученспусканіе перваго резервуара до опыта и i' —его лученспусканіе по прошествіи времени t , когда совершилось распредѣленіе эманации между обоими резервуарами и установилось новое равновѣсіе. Пусть v_1 и v_2 будутъ объемы, T_1 и T_2 —температуры обоихъ резервуаровъ. Будемъ имѣть:

$$\frac{i'}{i_0 e^{-\lambda t}} = \frac{v_1 (1 + \alpha T_2)}{v_1 (1 + \alpha T_2) + v_2 (1 + \alpha T_1)},$$

гдѣ λ — характеристичный коэффициентъ разрушенія эманации радія.

Если эманации диффундируютъ, какъ газы, то можно постараться опредѣлить коэффициенты диффузии эманаций въ воздухѣ или въ другомъ газѣ. Опыты этого рода представляютъ тѣмъ болѣе интереса, что они даютъ указанія на молекулярный вѣсъ эманаций, разсматриваемыхъ, какъ матеріальные газы, въ то время, когда еще нельзя надѣяться получить этотъ молекулярный вѣсъ измѣреніемъ плотностей эманаций.

Первое опредѣленіе коэффициента диффузии эманации радія было выполнено Рутерфордомъ и миссъ Бруксъ по методу Loschmidt'a (¹). Вотъ какъ былъ расположенъ опытъ (черт. 50). Длинный латунный



Черт. 50

(¹) Rutherford и Miss Brooks, *Chem. News*, 1902 г.

цилиндръ длиною въ 73^{см} и діаметромъ въ 6^{см} дѣлился на двѣ равныя части подвижною стѣнкою S . Концы цилиндра были закрыты двумя эбонитовыми пробками, сквозь которыя были пропущены въ трубку два электрода E_1 и E_2 , расположенные по оси трубки. Цилиндръ можно было довести до высокаго потенциала; каждый изъ электродовъ могъ быть соединенъ съ электрометромъ. Приборъ помѣщался въ ящикъ, наполненный ватой для обезпеченія постоянства температуры. Эманация получалась нагрѣваніемъ радіеносной соли, содержащейся въ платиновой трубкѣ; выдѣлявшаяся эманация увлекалась въ часть 1 цилиндра посредствомъ медленнаго тока сухого воздуха, доставлявшагося газометромъ и фильтровавшагося чрезъ хлопчатобумажную пробку; давленіе въ цилиндрѣ оставалось равнымъ атмосферному. По введеніи достаточнаго количества эманации отверстія трубки закрывались и приборъ предоставлялся самому себѣ въ теченіи нѣсколькихъ часовъ, чтобы могло установиться равновѣсіе. Тогда удалялась перегородка S , и эманация начинала диффундировать изъ части 1 трубки къ части 2. Токъ насыщенія, который можно было получать на электродахъ E_1 и E_2 , измѣрялся съ правильными промежутками. Токъ, получаемый съ электродомъ E_1 , идетъ, уменьшается; токъ, получаемый съ электродомъ E_2 , вначалѣ нулевой, идетъ, увеличивается. По прошествіи нѣсколькихъ часовъ токъ имѣетъ замѣтно одно и то же значеніе съ обѣихъ сторонъ; эманация распределена тогда въ цилиндрѣ равномерно.

Теорія же опыта такова. Можно допустить, что одна только эманация въ движеніи, воздухъ же въ покоѣ, при чемъ концентрація эманации чрезвычайно слаба.

Эманация диффундируетъ въ направленіи Ox вслѣдствіе избытка концентраціи, существующаго между двумя смежными сѣченіями трубки, при чемъ въ одномъ и томъ же сѣченіи концентрація остается постоянною. Если обозначить черезъ n концентрацію эманации въ сѣченіи, приходящемся на разстояніи x отъ пачальнаго сѣченія, то количество эманации, проходящей въ направленіи Ox чрезъ единицу этого сѣченія въ единицу времени, равно— $D \frac{\partial n}{\partial x}$, гдѣ D —коэффициентъ диффузіи.

Чрезъ единицу поверхности сѣченія, приходящагося на разстояніи $x+dx$, точно такъ же въ единицу времени будетъ проходить количество эманации

$$- D \frac{\partial}{\partial x} \left(n + \frac{\partial n}{\partial x} dx \right).$$

Количество эманацин, разрушающейся въ единицу времени въ части слоя, имѣющаго основаніемъ единицу поверхности, равно λndx , если λ —коэффициентъ разрушенія эманацин. Итакъ, приращеніе, отношенное къ единицѣ времени, количества эманацин ndx , содержащагося въ разсматриваемомъ элементѣ объема, будетъ

$$\frac{\partial}{\partial t} (ndx) = - D \frac{\partial n}{\partial x} + D \frac{\partial}{\partial x} \left(n + \frac{\partial n}{\partial x} dx \right) - \lambda ndx,$$

откуда получается уравненіе

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} - \lambda n.$$

Если диффузія заканчивается въ нѣсколько часовъ, то можно пренебречь разрушеніемъ эманацин въ теченіи столь короткаго времени, и тогда уравненіе приводится къ простому виду

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2}.$$

Рѣшеніе этого уравненія можно получить въ видѣ ряда. Рѣшеніе содержитъ произвольныя постоянныя, опредѣляемыя такъ, чтобы удовлетворить условіямъ на предѣлахъ, согласно которымъ въ началѣ опыта эманация распространена равномерно только въ части 1 трубки и скорость диффузіи остается постоянно нулевою на концахъ трубки. Обозначая черезъ l длину трубки и черезъ Q_1 и Q_2 количества эманацин во время t соответственно въ частяхъ 1 и 2 трубок, находимъ:

$$Q_1 = \frac{n_0 l}{2} - Q_2,$$

$$\frac{Q_1 - Q_2}{Q_1 + Q_2} = \frac{8}{\pi^2} \left(e^{-\frac{D\pi^2 t}{l^2}} + \frac{1}{9} e^{-\frac{9D\pi^2 t}{l^2}} + \dots \right).$$

Эта формула и послужила для вычисленія коэффициента D . Чтобы ею пользоваться, нужно знать отношеніе $\frac{Q_1}{Q_2}$, доставляемое измѣреніемъ токовъ насыщенія, получаемыхъ на электродахъ E_1 и E_2 , когда, по приостановкѣ диффузіи, установилось равновѣсіе эманацин съ индуктивною радиоактивною.

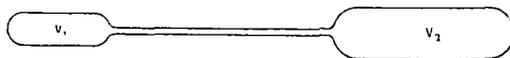
Измѣреніе дѣлалось, вообще, по другому способу. Электроды оставались заряженными отрицательно въ продолженіи диффузіи и собирали наибольшую часть образующагося въ газѣ активнаго осадка (индуктивной радиоактивности); по приостановкѣ диффузіи электроды

быстро замѣнялись сходными неактивными электродами, и тотчас производилось измѣреніе. Продолжительность диффузии варьировалась отъ 15 минутъ до 2 часовъ. При вычисленіи удерживались только два первыхъ члена разложенія, такъ какъ рядъ является быстро сходящимся. Значенія, полученные для D , содержались между 0,08 и 0,12. Позднѣйшіе опыты, произведенные при лучшихъ условіяхъ постоянства температуры, дали болѣе согласныя значенія, содержащіяся между 0,07 и 0,09. Не было отмѣчено ни малѣйшаго вліянія влажности воздуха, ни малѣйшаго волненія отъ дѣйствія электрическаго поля; этотъ послѣдній фактъ ведетъ къ доказательству, что эманация не измѣнилась.

Только-что изложенный методъ, повидимому, не годится для очень точныхъ измѣреній. Въ моментъ отпята стѣнки должно возникать значительное волненіе. Кромѣ того, на измѣреніе тока въ отдѣленіяхъ 1 и 2 трубки должна вліять недостаточность равномерности въ распределеніи эманаций. Если бы опыты допускали достаточную точность, было бы легко принять въ расчетъ самопроизвольное разрушеніе эманации для болѣе долгихъ временъ диффузии.

П. Кюри и Данпъ измѣрили коэффициентъ диффузии эманации радія по другому методу (¹).

Разсмотримъ два резервуара 1 и 2 (*черт.* 51), сообщающихся между собою узкою трубкою длиною l и въ сѣченіи s . Объемы резервуаровъ равны v_1 и v_2 . Вначалѣ резервуаръ 1 содержитъ эманацию. Давленіе газа одно и то же въ обоихъ резервуарахъ въ началѣ опыта и такимъ остается до конца, но эманация диффундируетъ изъ резервуара 1 къ резервуару 2 по соединительной трубкѣ. Можно допустить, что концентрація n эманации постоянна во всѣхъ точкахъ сѣченія трубки;



Черт. 51

также можно допустить, что диффузия внутри резервуаровъ совершается весьма быстро и что концентраціи эманаций во время t равномерны въ нихъ и равны соотвѣтственно N_1 и N_2 . Полныя количества эманации въ обоихъ резервуарахъ будутъ тогда

$$q_1 = N_1 v_1 \quad \text{и} \quad q_2 = N_2 v_2.$$

(¹) Curie и Danne, *Comptes rendus*, 1903 г.

Эманация радия разрушается медленно, так что если трубка не слишком длинна, то стационарное состояние истечения не изменяется от разрушения эманации во время ее прохождения по трубке. Количество эманации, проходящее в единицу времени через сечение трубки, равно $-sD \frac{\partial n}{\partial x}$, при чем за положительное направление Ox диффузии принимается направление от резервуара 1 к резервуару 2. Когда стационарное состояние диффузии установилось, это количество будет, в данный момент, одно и то же во всяком сечении трубки, и мы, следовательно, имеем:

$$\frac{\partial n}{\partial x} = \text{const.} = - \frac{N_1 - N_2}{l} = - \frac{1}{l} \left(\frac{q_1}{v_1} - \frac{q_2}{v_2} \right).$$

Концентрация в каждом резервуаре изменяется тогда: с одной стороны вследствие переноса некоторого количества эманации из одного резервуара в другой в течение данного времени, с другой стороны вследствие разрушения, внутри каждого резервуара, количество эманаций λq_1 и λq_2 в единицу времени. Следовательно, получаем два уравнения

$$\left. \begin{aligned} \frac{dq_1}{dt} &= -\lambda q_1 - \frac{sD}{l} \left(\frac{q_1}{v_1} - \frac{q_2}{v_2} \right), \\ \frac{dq_2}{dt} &= -\lambda q_2 + \frac{sD}{l} \left(\frac{q_1}{v_1} - \frac{q_2}{v_2} \right). \end{aligned} \right\} \quad (\text{I})$$

Из этих уравнений выводим следующие:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} (q_1 + q_2) &= -\lambda (q_1 + q_2), \\ \frac{d}{dt} \left(\frac{q_1}{v_1} - \frac{q_2}{v_2} \right) &= - \left[\lambda + \frac{sD}{l} \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right) \right] \left(\frac{q_1}{v_1} - \frac{q_2}{v_2} \right), \end{aligned} \right\} \quad (\text{II})$$

интегралы которых будут

$$\left. \begin{aligned} q_1 + q_2 &= (q_1 + q_2)_0 e^{-\lambda t}, \\ \frac{q_1}{v_1} - \frac{q_2}{v_2} &= \left(\frac{q_1}{v_1} - \frac{q_2}{v_2} \right)_0 e^{-\lambda' t}, \end{aligned} \right\} \quad (\text{III})$$

или

$$\lambda' = \lambda + \frac{sD}{l} \left(\frac{1}{v_1} + \frac{1}{v_2} \right).$$

Итакъ, измѣреніе q_1 и q_2 въ одно и то же время t позволяютъ вычислить значеніе коэффициента λ' и, слѣдовательно, значеніе D . При томъ лучше выполнить рядъ измѣреній для различныхъ значеній t . Разность концентрацій въ обѣихъ резервуарахъ убываетъ по болѣе быстрому показательному закону, чѣмъ законъ, характеризующій разрушеніе эманациі.

Если, въ частности, объемъ v_2 очень великъ по сравненію съ v_1 , то второе изъ соотношеній (III) упрощается и является

$$q_1 = (q_1)_0 e^{-\lambda' t} \quad \text{съ} \quad \lambda' = \lambda + \frac{sD}{v_1 l}. \quad (\text{IV})$$

Опытъ состоитъ тогда въ измѣреніи активности резервуара 1 черезъ опредѣленные промежутки времени и въ построеніи линіи, представляющей логаримъ лученспусканія въ функціи отъ времени. Такимъ образомъ получаемъ прямую, наклоненіе которой даетъ возможность вычислить коэффициентъ λ' и значеніе D . Температура должна оставаться постоянно въ продолженіи опыта.

П. Кюри и Даннь употребляли резервуаръ, снабженный капиллярною трубкою, которая была открыта для свободнаго воздуха. Формулы (IV) приложимы къ такому случаю. Количество эманациі, содержащейся въ резервуарѣ, исчислялось по измѣренію внѣшняго лученспусканія этого послѣдняго, при чемъ измѣрительный приборъ былъ совершенно сходенъ съ приборомъ, употреблявшимся для изученія закона убыванія эманациі. Диаметры употреблявшихся трубокъ варьировались между $0^{\text{см}},09$ и $0^{\text{см}},4$; длины трубокъ между $5^{\text{см}}$ и $50^{\text{см}}$. Значенія, полученные для D , содержались между $0,094$ и $0,112$; значенія D , полученные при варьированіи длины трубки, согласуются между собою лучше, чѣмъ значенія, полученные при варьированіи сѣченія, при чемъ широкія трубки даютъ, въ этомъ послѣднемъ случаѣ, болѣе слабыя значенія, чѣмъ трубки узкія. Объемъ резервуара варьировался между 6 куб. см. и 27 куб. см.

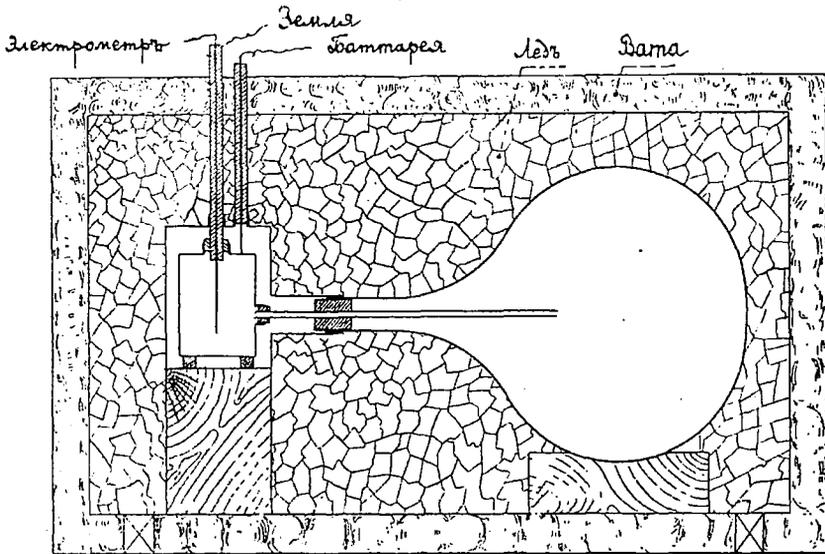
Среднее значеніе, полученное для D , есть около $0,100$. Отклоненія въ опытахъ можно приписать колебаніямъ газа, которыя могутъ быть вызваны измѣненіями температуры резервуара или измѣненіями атмосфернаго давленія въ продолженіи опыта.

Форма резервуара, какъ оказалось, вліянія не имѣетъ; значить, можно заключить, что скорость истеченія эманациі по капиллярной трубкѣ пропорціональна для данной трубки концентраціи эманациі въ резервуарѣ.

Измѣреніе коэффициента диффузіи эманации радія по этому именно методу было предпринято недавно при условіяхъ лучшей точности (1). Диффузія происходила между двумя резервуарами, соединенными узкою трубкою и не сообщающимися съ свободнымъ воздухомъ. Резервуаръ, содержащій эманацию предъ началомъ опыта, имѣлъ объемъ около 100^{см}; другой резервуаръ былъ стеклянный баллонъ вместимостью около 12 литровъ. Приборъ погружался въ ванну съ тающимъ льдомъ. Значеніе, полученное для коэффициента диффузіи D при температурѣ въ 0° и подѣ нормальнымъ атмосфернымъ давлениемъ, есть

$$D = 0,1015.$$

Это значеніе очень близко къ среднему изъ опытовъ Кюри и Делна. Расположеніе опыта изображено на черт. 52.



Черт. 52

Описанные опыты показали, что коэффициентъ диффузіи эманации радія въ воздухѣ мало отличенъ отъ 0,1 и что, слѣдовательно, онъ одного порядка съ коэффициентами диффузіи разныхъ газовъ въ воздухѣ. При этомъ можно замѣтить, что опредѣленіе коэффициента диффузіи эманации требуетъ только измѣреній лучеспусканія и потому

(1) Chaumont, *Le Radium*, 1909 г.

можетъ быть выполнено легче, чѣмъ аналогичное опредѣленіе для обыкновеннаго газа.

Вотъ табличка коэффициентовъ диффузіи нѣкоторыхъ газовъ въ воздухѣ; M обозначаетъ молекулярную массу этихъ газовъ:

Пары воды	$D = 0,198$	$M = 18$
Углекислый газъ	0,142	44
Пары алкоголя	0,101	46
Пары эфира	0,077	74

Извѣстно, что существуетъ эмпирическій законъ, по которому коэффициентъ взаимной диффузіи двухъ газовъ измѣняется приближенно въ отношеніи, обратномъ квадратному корню изъ произведенія ихъ молекулярныхъ массъ. По своему коэффициенту диффузіи эманация радія помѣщается рядомъ съ газами, имѣющими довольно большую молекулярную массу; однакожъ масса, исчисленная по разсматриваемому закону, была бы ниже 100. Съ другой стороны, нѣкоторыя теоретическія соображенія заставили Рутерфорда приписать эманациямъ вообще, и эманации радія въ особенности, очень большую молекулярную массу, превышающую 200. Разногласіе между числомъ, выведеннымъ изъ опытовъ по диффузіи, и числомъ, которое предлагаетъ теорія, вызвало новыя изслѣдованія, касающіяся прохожденія эманации сквозь пористыя втулки.

Такой рядъ опытовъ принадлежитъ Makower'у, пользовавшемуся втулками изъ гипса (¹). Онъ сравнивалъ скорость прохожденія эманации, смѣшанной съ воздухомъ, сквозь втулку со скоростью другихъ газовъ, такихъ, какъ водородъ, кислородъ, углекислый газъ и сѣрнистый газъ. По эмпирическому закону, называемому закономъ Грэма (*Graham*), произведеніе $K\sqrt{M}$ коэффициента K , характеристичнаго для скорости прохожденія, на квадратный корень изъ молекулярной массы M долженъ оставаться приблизительно постояннымъ. Этотъ законъ не строгъ, и произведеніе $K\sqrt{M}$ растетъ одновременно съ K , но если отложить K въ абсциссахъ и произведеніе $K\sqrt{M}$ въ ординатахъ, то констатируется, что точки, соответствующія вышеуказаннымъ газамъ, находятся на одной и той же прямой линіи. Эта прямая послужила для исчисленія, посредствомъ экстраполированія, молекулярнаго вѣса эманации радія, оказавшагося между 85 и 99.

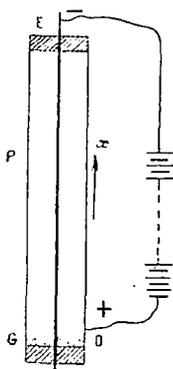
Другое сравнительное изученіе диффузіи эманации радія и углекислаго газа, сквозь пористую пластинку, дало, посредствомъ простаго приложенія закона Грэма, число 180 для молекулярнаго вѣса эмана-

(¹) Makower, *Phil. Mag.*, 1905 г.

ции (1). Наконецъ, Перкинсъ (2) сравнилъ скорость прохожденія эманации радія сквозь асбестовую пластинку со скоростью паровъ ртути при температурѣ между 250° и 275°. Непроницаемая диффузионная камера содержала водородъ и пары ртути или водородъ и эманацию. Черезъ камеру проходила желѣзная трубкa, въ стѣнкѣ которой была пористая втулка. По трубкѣ протекалъ потокъ водорода и увлекалъ диффундировавшій газъ, который собирали при выходѣ изъ трубки. Коэффициенты, характеризующіе скорость прохожденія, оказываются 0,034 для эманации радія и 0,037 для паровъ ртути. Отсюда для эманации вытекалъ бы, по закону Грэма, молекулярный вѣсъ 234. Однако опытъ, совершенный при этихъ условіяхъ, допускаетъ затрудненія и поводы къ ошибкѣ.

Для сравненія были выбраны пары ртути, потому что ихъ молекула обладаетъ большимъ молекулярнымъ вѣсомъ и, кромѣ того, одноатомна. Эманация же, по теоріи, должна также имѣть высокій молекулярный вѣсъ; притомъ изъ опытовъ надъ химическою природою эманаций вытекаетъ, что онѣ, вѣроятно, представляютъ одноатомные недѣятельные газы группы аргона; по этимъ двумъ причинамъ надѣялись на болѣе надежное сравненіе двухъ изучаемыхъ газовъ.

Диффузія эманации торія была изучена Рутерфордомъ. Для разсматриваемаго случая былъ принятъ иной методъ, такъ какъ ни одинъ изъ вышеописанныхъ къ нему непримѣнимъ. Вотъ въ чемъ состоитъ этотъ методъ (3). Пластинка *G*, покрытая гидратомъ торія (черт. 53),



Черт. 53

(1) Bumstead и Wheeler, *Phil. Mag.*, 1904 г.

(2) Perkins, *Amer. Journ. of Sc.*, 1908 г.

(3) Rutherford, *Radioactivity*.

помѣщается горизонтально на двѣ высокаго латунаго цилиндра P . Выдѣляющаяся эманация диффундируетъ вверхъ цилиндра, и можно допустить, что ея концентрація n остается постоянною въ каждомъ сѣченіи послѣдняго. Если Ox есть направленіе диффузіи, уравненіе, характеризующее послѣднюю, такое же, какъ и въ случаѣ метода Loschmidt'a. Это уравненіе есть

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} - \lambda n,$$

гдѣ D —коэффициентъ диффузіи эманации въ содержащемъ ее газѣ и λ —коэффициентъ разрушенія эманации. По истеченіи достаточнаго времени устанавливается длительное стаціонарное состояніе, и концентрація эманации сохраняетъ тогда въ каждомъ сѣченіи цилиндра постоянное значеніе и тѣмъ слабѣе, чѣмъ дальше сѣченіе отъ поверхности гидрата торія. Въ этомъ случаѣ имѣемъ:

$$D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} = \lambda n,$$

откуда, интегрируя, находимъ:

$$n = Ae^{-\sqrt{\frac{\lambda}{D}}x} + Be^{\sqrt{\frac{\lambda}{D}}x}$$

A и B — двѣ произвольныя постоянныя, подлежащія опредѣленію. Должно положить $B = 0$, потому что при $x = \infty$ мы должны имѣть $n = 0$. Тогда, обозначая черезъ n_0 концентрацію въ соприкосновеніи съ активной поверхностью, гдѣ $x = 0$, будемъ имѣть:

$$A = n_0, \quad n = n_0 e^{-\sqrt{\frac{\lambda}{D}}x}$$

Слѣдовательно, концентрація эманации убываетъ въ функціи отъ разстоянія x по показательному закону, характеристичный коэффициентъ котораго есть $\sqrt{\frac{\lambda}{D}}$. Этотъ коэффициентъ можно опредѣлить изъ опыта, а изъ него можно вывести значеніе D , если извѣстно λ .

Вмѣсто прямого изученія распредѣленія эманации вдоль цилиндра Рутерфордъ помѣщалъ по оси послѣдняго цилиндрической электродъ E , остающійся во все продолженіе опыта соединеннымъ съ отрицательнымъ полюсомъ батарей изъ большого числа элементовъ, положительный полюсъ которой соединенъ съ цилиндромъ. Центральнй электродъ собираетъ осадокъ индуктивной радиоактивности, и можно допустить,

что вдоль электрода индуктивная радиоактивность въ каждой точкѣ пропорціональна концентраціи эманации въ газѣ на уровнѣ той же точки. Активированіе длится отъ одного до двухъ дней, при чемъ цилиндръ наполненъ сухимъ воздухомъ и сохраняется при постоянной температурѣ. Стержень затѣмъ удаляется, и активность различныхъ его частей изучается по электрическому методу. Это измѣреніе легко выполнять, такъ какъ индуктивная активность отъ эманации торія убываетъ послѣ долгаго активированія очень медленно въ функціи отъ времени, особенно въ началѣ разактивированія. Находятъ, что радиоактивность убываетъ на половину на длинѣ приблизительно въ $1^{cm},9$. Допуская для λ значеніе 0,013, получаютъ для D значеніе 0,09, немного большее значенія, найденнаго тѣмъ же ученымъ съ эманацией радія.

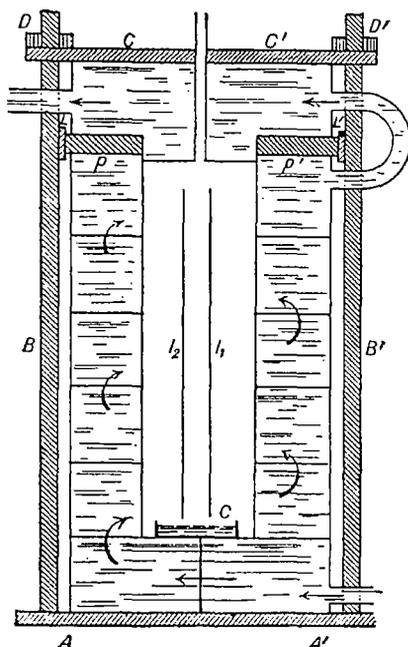
Макower сравнилъ скорости диффузии эманаций радія и торія сквозь одну и ту же пористую втулку и заключилъ, что обѣ эманации должны были имѣть близкіе молекулярные вѣса.

Диффузия эманации актинія была изучена Дебьерномъ по методу, сходному съ тѣмъ, которымъ пользовался Рутерфордъ для эманации торія (1). Въ томъ видѣ, который опыту придалъ Дебьернъ, онъ можетъ дать большую точность, и потому расположеніе его будетъ здѣсь описано подробно (1).

Соединеніе актинія помѣщалось въ небольшую плоскую чашечку s , занимающую все дно параллелепипедическаго ящика (*черт.* 54). Въ центральной части ящика надъ активнѣмъ были расположены двѣ довольно тонкія металлическія пластинки l_1, l_2 . Обѣ эти пластинки скользили въ параллельныхъ пазахъ и весьма быстро могли быть выпуты. Чтобы сдѣлать температуру равномерною и избѣжать всякаго газоваго водоворота, что неизбѣжно въ опытахъ этого рода, металлическій ящикъ былъ съ двойными стѣнками, между которыми находились переборки, позволяющія устанавливать циркуляцію воды вокругъ всего внутренняго ящика; равнымъ образомъ и крышка представляла двойную перегородженную стѣнку, омываемую тѣмъ же потокомъ воды. Обѣ прямоугольныя пластинки имѣли измѣренія $6^{cm} \times 8^{cm}$ и были расположены весьма параллельно, на разстояніи либо 4^{mm} , либо 2^{mm} одна отъ другой.

Размѣстивъ пластинки въ приборѣ надъ солью актинія и пустивъ потокъ воды вокругъ ящика, оставляли установиться стационарному

(1) Debiere, *Le Radium*, 1907 г.



Черт. 54

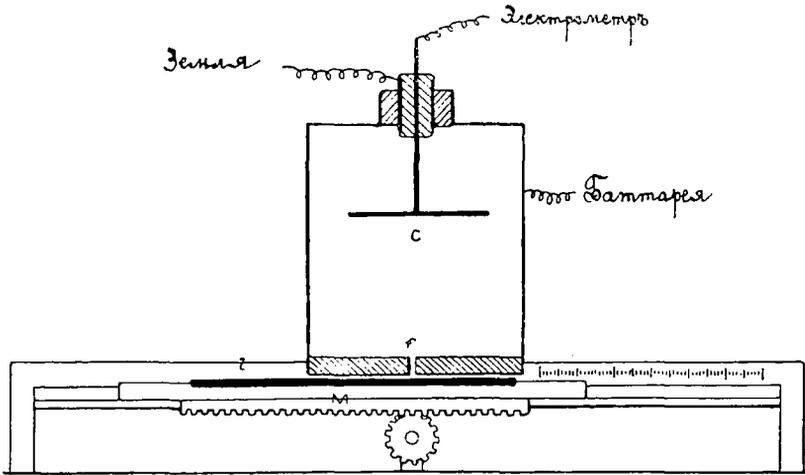
состоянію. По прошествіи отъ 20 до 24 часовъ снимали крышку и вынимали активированныя пластинки. Затѣмъ одну изъ пластинокъ помѣщали въ измѣрительный аппаратъ для опредѣленія распредѣленія индуктивной радиоактивности на поверхности, обращенной къ другой пластинкѣ.

Когда стационарное состояніе установилось, концентрація n эманации въ слоѣ газа, находящемся на разстояніи x отъ активного вещества, выражается формулою

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

гдѣ n_0 есть концентрація въ соприкосновеніи съ активнымъ веществомъ. Концентрацію эманации можно измѣрить либо посредствомъ іонизации, производимой въ газѣ, либо посредствомъ индуктивной радиоактивности, образуемой на твердыхъ стѣнкахъ. Второй методъ легче осуществить. По опытамъ Дебьерна оба метода могутъ служить безразлично для измѣренія концентраціи эманации активія, такъ какъ активирующая сила послѣдней пропорціональна ея іонизирующей силѣ во всякой точкѣ, не очень близкой къ веществу.

Измерительный аппарат изображён на черт. 55. Он содержит конденсатор C , дно которого прорезано узкою щелью f , и

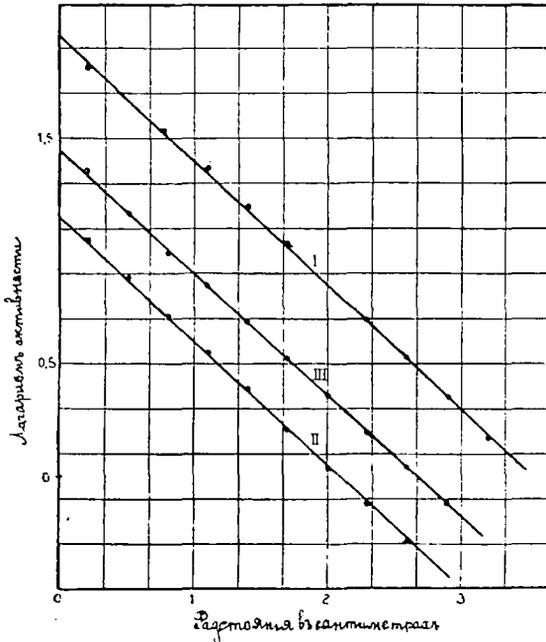


Черт. 55

подвижную платформу M , на которую помещают пластинку λ . Перемещая платформу, можно подставлять под щель различные части активированной пластинки, и в каждом положении действующая часть есть небольшая полоса шириною около $2^{\text{мм}}$.

Индуктивная радиоактивность актиния уменьшается довольно быстро, и необходимо определить для одного и того же момента активность всех частей пластинки. Для этого определяют эмпирически кривые убывания с течением времени активности различных полос, расположенных на известных расстояниях от конца активированной пластинки. Если нанести в абсциссах времена и в ординатах логарифмы тока, то получается ряд параллельных прямых, наклонение которых указывает убывание на половину в 36 минут. Ведя из данной точки параллель оси ординат, получаем, в пересечении с параллельными прямыми, ряд точек, позволяющих вычислить для одного и того же момента активность всех частей пластинки. Тогда можно построить кривую, указывающую изменение индуктивной активности с расстоянием. Эта кривая представляет в то же время изменение концентрации эманации с расстоянием от активного вещества.

Черт. 56 показываетъ результатъ отъ нѣсколькихъ опытовъ; въ абсциссахъ нанесены разстоянія отъ активнаго вещества и въ ординатахъ логарифмъ активности, соотвѣтствующій одному и тому же



Черт. 56

моменту. Мы видимъ, что, для одного и того же опыта, полученные точки находятся на одной и той же прямой, а это означаетъ, что законъ убыванія есть явно простая показательная функція. Наклоненіе этой прямой позволяетъ вычислить показатель этой функціи, изъ котораго можно вывести коэффициентъ диффузіи.

Было выполнено нѣсколько серій опытовъ при варьированіи нѣкоторыхъ условий. Прямая I относится къ опыту, гдѣ разстояніе между пластинками было въ $4^{\text{мм}}$, прямая II къ другому опыту, гдѣ разстояніе было въ $2^{\text{мм}}$; въ обоихъ случаяхъ матерія помѣщалась въ нижней части ящика, и диффузія совершалась вверхъ. Для изслѣдованія, не могъ ли возникнуть восходящій газовый потокъ, напр., вслѣдствіе небольшого выдѣленія теплоты солью актинія, опытъ былъ расположенъ такимъ образомъ, чтобы эманация диффундировала книзу. Употреблявшееся вещество состояло изъ небольшихъ зеренъ, но доста-

точно крупныхъ, чтобы не проходить сквозь тонкую металлическую частую сѣтку; его помѣщали въ маленькую плоскую чашечку съ дномъ, представлявшимъ частую металлическую сѣтку, и эту чашечку располагали въ верхней части ящика при постоянной температурѣ. Обѣ пластинки помѣщались внизу. Результатъ оказался совершенно тождественнымъ съ предыдущимъ; прямая III, представляющая этотъ опытъ, весьма параллельна другимъ прямымъ (1).

Изъ совокупности опытовъ видно, что активность уменьшается на половину, когда разстояніе отъ активнаго вещества увеличивается на $5^{\text{мм}}$, 5 при температурѣ въ 15° и при обычномъ атмосферномъ давленіи.

Полагая

$$\lambda = 0,18,$$

находимъ

$$D = 0,112.$$

Числа отъ различныхъ опытовъ различаются менѣе, чѣмъ на 2%.

Полученный такимъ образомъ коэффициентъ долженъ имѣть большую точность. Въ самомъ дѣлѣ, методъ простъ, измѣренія точны и результаты совершенно правильны и согласны съ теоріей. Изъ этой работы вытекаетъ, что эманация активія диффундируетъ, вѣроятно, быстрѣе эманаций радія и торія, коэффициенты диффузии которыхъ извѣстны, впрочемъ, съ меньшею точностью. Значитъ, эманация активія и есть, вѣроятно, та изъ трехъ эманаций, молекулярный вѣсъ которой наименьшій. При сравненіи между собою ея коэффициентовъ диффузии въ воздухѣ и въ углекисломъ газѣ эмпирическій законъ, по которому коэффициентъ диффузии измѣняется въ отношеніи, обратномъ квадратному корню изъ молекулярнаго вѣса, приводитъ для эманации активія къ молекулярному вѣсу, близкому къ 70.

Этотъ же методъ былъ использованъ для изученія диффузии эманации активія въ воздухѣ подъ различными давленіями и въ газахъ, отличныхъ отъ воздуха (2). Размѣры диффузионной камеры въ нѣкоторыхъ случаяхъ должны быть измѣнены. Дѣйствительно, теорія опыта предполагаетъ, что концентрація эманации является замѣтно нулевою на концѣ пластинокъ. Когда коэффициентъ диффузии увеличивается,

(1) Ramsay думалъ наблюдать восхожденіе эманации активія въ воздухѣ; этотъ опытъ показываетъ, что такого явленія въ дѣйствительности не происходитъ.

(2) Sydney Russ, *Phil. Mag.*, мартъ 1909 г.—Bruh at, *Comptes rendus*, мартъ 1909 г.; *Le Radium*, 1909 г.

эманация диффундируетъ на большемъ разстояніи отъ активнаго вещества, и должно удлинить пластинки.

Слѣдующая таблица даетъ значенія коэффициента диффузіи эманации въ различныхъ газахъ:

Газъ		D	
Воздухъ	{	Debierne	0,112 при 15° и нормальномъ давленіи
		Bruhat	0,112 " "
		Russ	0,123 " "
Водородъ	{	Bruhat	0,412 " "
		Russ	0,330 " "
Углекислый газъ	{	Bruhat	0,077 " "
		Russ	0,073 " "
Сѣрнистый газъ		Russ	0,062 " "
Аргонъ		Russ	0,106 " "

Диффузія эманации въ аргонѣ была изучена съ цѣлью убѣдиться, приложимъ ли эмпирическій законъ, связывающій коэффициентъ диффузіи съ молекулярною массою, къ одноатомнымъ газамъ. Сравненіе коэффициентовъ диффузіи эманации въ воздухѣ и въ аргонѣ благоприятно для этого закона.

Если бы эмпирическій законъ прилагался строго, отношеніе коэффициентовъ диффузіи газа A въ двухъ газахъ B и C не зависѣло бы отъ выбора газа сравненія A . Слѣдующая таблица даетъ для различныхъ газовъ отношенія коэффициентовъ диффузіи въ воздухѣ и въ углекисломъ газѣ съ одной стороны, въ воздухѣ и въ водородѣ съ другой стороны.

	$\frac{D_{CO_2}}{D_{воздухъ}}$	$\frac{D_{H_2}}{D_{воздухъ}}$
Эфиръ	0,71	3,8
Метиловый алкоголь	0,66	3,8
Алкоголь	0,67	3,7
Муравьиная кислота	0,67	3,9
Уксусная кислота	0,67	3,8
Уксусно-этиловый эфиръ	0,67	3,9
Бензолъ	0,70	3,9
Вода	0,67	3,5
Углекислый газъ	0,67	3,8
Эманация активія	0,68	3,7

Итакъ, эманация активія хорошо слѣдуетъ высказанному правилу съ тою же степенью приближенія, какъ и другіе газы.

Коэффициенты диффузіи эманации торія въ воздухѣ и въ аргонѣ

были опредѣлены Russ'омъ посредствомъ того же метода. Найденныя числа таковы:

$$D_{\text{воздухъ}} = 0,103, \quad D_{\text{иргонъ}} = 0,084.$$

Отсюда вытекаетъ, что молекулярная масса эманации торія вышла бы больше молекулярной массы эманации актинія, такъ какъ отношеніе, вычисленное по эмпирическому закону равно, 1,42.

Важно было отдать себѣ отчетъ, такъ же ли измѣняются коэффициенты диффузии радиоактивныхъ эманаций, какъ коэффициенты диффузии газовъ, въ функціи отъ давленія и температуры. Коэффициентъ взаимной диффузии двухъ газовъ измѣняется въ отношеніи, обратномъ ихъ полному давленію, и увеличивается съ температурою.

Слѣдующая таблица даетъ результаты опытовъ, совершенныхъ при разныхъ давленіяхъ (1). Такъ какъ температура не была точно одна и та же для различныхъ опытовъ, то была введена поправка, состоящая въ допущеніи, что коэффициентъ D измѣняется пропорціонально T^2 , гдѣ T обозначаетъ абсолютную температуру. Опыты, произведенныя при температурѣ тающаго льда, дали возможность убѣдиться, что внесенная такимъ образомъ небольшая поправка достаточно точна.

Въ таблицѣ въ первомъ столбцѣ указывается давленіе воздуха p , во второмъ столбцѣ—температура t , въ третьемъ—значеніе коэффициента диффузии D для эманации актинія, въ четвертомъ—значеніе произведенія $\frac{pD}{T^2}$.

p	t	D	$\frac{pD}{T^2}$
760	15	0,112	10,2·10 ⁻⁵
367	13	0,245	10,3 "
362	12	0,224	10 "
287	11,5	0,33	11,6 "
235	14	0,343	9,9 "
209	13,5	0,404	10,2 "
134	13,2	0,61	9,9 "
127	16,3	0,55	8,5 "
97	14,8	0,93	10,8 "
71,5	16,1	1,165	10 "
52	15	1,62	10 "
36	16	2,29	10 "
25	13	3,65	11 "
9	12,3	9,1	10 "
765	0	0,095	9,8 "
764	0	0,096	9,9 "

(1) Вггһ at, см. предыдущую выноску.

Мы видимъ, что коэффициентъ диффузии эманации актинія въ воздухъ измѣняется весьма замѣтно въ отношеніи, обратномъ давленію воздуха, при чемъ отклоненія отъ этого закона не имѣютъ систематическаго характера.

Совокупность опытовъ, выполненныхъ надъ диффузіей эманации актинія, доказываетъ, что диффузія эманаций есть весьма правильное явленіе, совершенно аналогичное диффузии обыкновенныхъ газовъ, несмотря даже на крайнюю разрѣженность эманаций. Впрочемъ, нѣтъ никакого основанія, теоретическаго или опытнаго, предполагать, что законы диффузии могутъ стать неприложимыми, когда концентрація газа явится очень слабою. Такимъ образомъ, коэффициентъ диффузии эманаций можетъ быть точно опредѣленъ и измѣренъ. Полученныя опытныя значенія сближаютъ эманации съ газами, молекулярная масса которыхъ содержится между 70 и 100. Если распространить вышеуказанный эмпирическій законъ на эманации, то можно отсюда заключить, что молекулярныя массы эманаций содержатся между этими предѣлами.

Интересно сравнить этотъ результатъ съ предсказаніями, вытекающими изъ теоретическихъ соображеній. Радиоактивныя тѣла имѣютъ высокіе атомные вѣса. Рутерфордъ и Содди допустили, что радиоактивныя эманации — газы съ одноатомною молекулою и равно съ высокимъ атомнымъ вѣсомъ. Напр., атомъ эманации радія получился бы изъ атома радія вслѣдъ за выбрасываніемъ послѣднимъ частицы α , атомная масса которой равна 4, такъ какъ было доказано, что эта частица представляетъ атомъ гелія. Если, поэтому, атомный вѣсъ радія равенъ 226, то атомный вѣсъ эманации радія былъ бы равенъ 222. Аналогичныя разсужденія приводятъ къ мысли, что эманации торія и актинія должны также имѣть высокіе атомные вѣса.

Опыты по диффузии, повидимому, не подтверждаютъ этихъ предсказаній. Важно, однако, замѣтить, что кинетическая теорія не предусматриваетъ никакой простой зависимости между коэффициентомъ диффузии двухъ газовъ другъ въ другъ и ихъ молекулярными массами. При гипотезѣ упругихъ столкновеній между молекулами коэффициентъ диффузии долженъ зависѣть не только отъ массъ молекулъ, но также и отъ ихъ размѣровъ.

Болѣе надежный методъ для опредѣленія молекулярныхъ массъ состоитъ въ использованіи *явленія эффузии* или истеченія газа чрезъ небольшое отверстіе. Скорость эффузии, при прочихъ равныхъ условіяхъ, находится точно въ отношеніи, обратномъ квадратному корню изъ молекулярной массы.

§ 63. Поглощеніе эманации радія жидкостями. Растворимость. Диффузія въ жидкостяхъ.—Во время своихъ изслѣдованій надъ образованіемъ индуктивной радиоактивности въ присутствіи солей радія П. Кюри и Дебьернъ констатировали, что активность можно сообщать жидкостямъ и, въ особенности, дистиллированной водѣ (1).

Воду можно сдѣлать радиоактивною разными способами. Можно, напр., отдѣлать, посредствомъ дистиллированія въ совершенно закрытомъ сосудѣ, воды изъ уже нѣсколько дней какъ приготовленнаго раствора радіеноснаго хлористаго барія; полученная такимъ образомъ дистиллированная вода сильно радиоактивна. Второй, еще болѣе простой, способъ состоитъ въ установкѣ въ совершенно закрытомъ помѣщеніи двухъ кристаллизаторовъ, изъ которыхъ одинъ заключаетъ растворъ радіеносной соли, другой—дистиллированную воду; по прошествіи достаточнаго времени дистиллированная вода является активной, при чемъ сообщеніе радиоактивности происходитъ чрезъ посредство газовъ помѣщенія. Можно еще заключить растворъ радіеносной соли въ совершенно закрытую целлулоидную капсулу, которую выдѣлываютъ изъ целлулоиднаго листка, края котораго сгибаются, будучи смочены небольшимъ количествомъ ацетона. Целлулоидъ играетъ роль цѣльной полупроницаемой оболочки, и никакой слѣдъ соли не проходитъ сквозь стѣнки; тогда какъ активность раствора весьма хорошо сообщается внѣшней водѣ.

Когда два баллона *A* и *B*, изъ которыхъ одинъ *A* содержитъ водный растворъ радіеносной соли, а другой *B*—дистиллированную воду, приведены въ сообщеніе, активность раствора сообщается дистиллированной водѣ, и стационарное состояніе устанавливается по прошествіи нѣкотораго времени. Когда это стационарное состояніе достигнуто и если оба баллона имѣютъ одинъ и тотъ же объемъ и содержатъ одно и то же количество жидкости, ихъ внѣшнее лученспусканіе имѣетъ одно и то же значеніе. Если, однако, разъединить оба баллона, но оставить ихъ закрытыми, активность баллона *A*, содержащаго радіеносный растворъ, окажется по истеченіи нѣкотораго времени возросшею, тогда какъ активность баллона *B*, содержащаго активную дистиллированную воду, медленно убываетъ и кончаетъ исчезаніемъ.

Если оба баллона находятся, какъ въ предыдущемъ случаѣ, въ равновѣсіи и имѣютъ одно и то же внѣшнее лученспусканіе, ихъ можно открыть и оставить на нѣкоторое время въ сообщеніи со свободнымъ

(1) Curie и Debierne, *Comptes rendus*, 1901 г.

воздухомъ. Констатируется, что оба баллона теряютъ тогда почти совершенно вѣдшее свое лученспусканіе; но если ихъ снова закрыть, баллонъ *B* остается неактивнымъ, тогда какъ активность баллона *A* возрождается и мало-по-малу принимаетъ свое первоначальное значеніе.

Твердая радіеносная соль, оставленная на открытомъ воздухѣ, не разактивировывается замѣтнымъ образомъ. Но такая соль неспособна также и производить вблизи себя столь же интенсивное активированіе, какъ то, которое можно получить съ растворомъ той же соли, использованнымъ при тѣхъ же условіяхъ.

Всѣ эти опыты можно объяснить свойствами эманациі радія, проявляющей себя, какъ газъ, растворимый въ водѣ. Этотъ газъ, образуемый радіемъ, накапливается въ зернахъ твердой соли; но если соль въ растворѣ, растворяется и сама эманация и можетъ уходить въ воздухъ чрезъ посредство жидкости. Если воздухъ, заряженный эманацией, находится въ соприкосновеніи съ водою, эта послѣдняя активируется, поглощая эманацию. Если затѣмъ эту воду закупорить, такъ чтобы эманация не могла уходить, разактивировываніе происходитъ медленно по мѣрѣ разрушенія эманациі.

Многочисленныя изслѣдованія доказали присутствіе эманациі радія въ водѣ разныхъ источниковъ, въ морской водѣ и въ нефтяныхъ источникахъ; эманация радія легче поглощается керосиномъ, чѣмъ водою.

Опыты П. Кюри и Дебьерна, касающіеся поглощенія эманациі радія водою, нельзя было повторить съ эманациями торія и актіпія, разрушеніе которыхъ слишкомъ быстро.

Эманация радія растворяется въ водѣ въ опредѣленной пропорціи. Первые опыты въ этомъ отношеніи принадлежатъ фонъ-Траубенбергу, изучившему эманацию, содержащуюся въ водѣ источниковъ Фрейбурга, и показавшему, что законы растворимости газовъ въ жидкостяхъ прилагаются къ этой эманациі (1). Присутствіе радиоактивной эманациі въ ключевыхъ водахъ только-что было констатировано Нимстедт'омъ и J.-J. Thomson'омъ.

Фонъ-Траубенбергъ пользовался всасывающимъ нагнетательнымъ насосомъ, позволявшимъ множество разъ пропускать опредѣленный объемъ воздуха сквозь нѣкоторое количество воды и затѣмъ посылать этотъ воздухъ въ приборъ, гдѣ измѣрялась его іонизация. Послѣ достаточнаго числа пропусканій между воздухомъ и водою устанавливается длительное стаціонарное состояніе, и пріобрѣтенная воздухомъ актив-

(1) v. Traubenberg, *Phys. Zeit.*, 1904 г.

ность принимает постоянное значение, которое может быть в 100 раз больше значения, наблюдаемого для обыкновенного воздуха.

Пусть v_1 и v_2 будут взятые объемы воды и воздуха, α —коэффициент растворимости эманации в водѣ, γ_1 и γ_2 —концентрации эманации в водѣ и в воздухѣ. Имѣемъ:

$$\alpha = \frac{\gamma_1}{\gamma_2},$$

и измѣренная ионизация пропорциональна γ_2 . Тогда удаляютъ активный воздухъ и замѣняютъ его обыкновеннымъ воздухомъ въ равномъ объемѣ, активностью котораго можно пренебречь; затѣмъ возобновляютъ циркуляцию воздуха в водѣ до получения новаго стационарнаго состоянія; концентрация эманации в воздухѣ является тогда γ_2' , и эта концентрация исчисляется по ионизации в измѣрительномъ приборѣ. Если написать, что эманация, содержащаяся в водѣ послѣ первой циркуляции, раздѣлилась, во время второй циркуляции, между водою и воздухомъ, какъ газъ, коэффициентъ растворимости котораго есть α , то получается соотношение

$$\gamma_1 v_1 = \gamma_2 \alpha v_1 = \gamma_2' (\alpha v_1 + v_2),$$

откуда

$$\frac{\gamma_2'}{\gamma_2} = \frac{v_1 \alpha}{v_1 \alpha + v_2}, \quad \alpha = \frac{v_2}{v_1} \frac{\frac{\gamma_2'}{\gamma_2}}{1 - \frac{\gamma_2'}{\gamma_2}}.$$

Если активностью обыкновеннаго воздуха пренебречь нельзя, то концентрации γ_2 и γ_2' , требующіяся для измѣренія коэффициента α , измѣряются избытками активности воздуха, пропущеннаго сквозь воду, надъ активностью обыкновеннаго воздуха.

Определенный такимъ образомъ коэффициентъ растворимости равнялся $\alpha = 0,34$ при обыкновенной температурѣ. Притомъ можно было констатировать, что изучаемая эманация была эманацией радія.

Вмѣсто того чтобы пользоваться методомъ циркуляции в указанномъ видѣ, можно также оперировать другимъ образомъ, приводя в волненіе вмѣстѣ съ даннымъ объемомъ жидкости нѣкоторый объемъ воздуха, содержащаго эманацию радія (1). Для этого можно пользоваться двумя баллонами одинаковаго объема, помѣщенными одинъ надъ другимъ и сообщающимися между собою краномъ съ широкимъ каналомъ; нижній

(1) Hofmann, *Phys. Zeit.*, 1905 г.—Kofler, *Phys. Zeit.*, 1907 г.

баллонъ наполняется жидкостью, верхній—газомъ. Заставляютъ циркулировать жидкость и газъ въ обоихъ баллонахъ черезъ соединительный кранъ. Когда убѣждаются, что равновѣсіе наступило, выпрямляютъ приборъ, закрываютъ кранъ, и жидкость и газъ являются раздѣленными. Тогда можно приступить къ измѣренію активности газа. Активная вода встряхивается затѣмъ снова съ прежнимъ объемомъ свѣжаго воздуха, и пріобрѣтенная этимъ воздухомъ активность измѣряется по предыдущему.

Вотъ результаты, добытые для растворимости эманации радія въ водѣ и въ другихъ жидкостяхъ при разныхъ температурахъ:

α для воды при обыкновенной температурѣ		Вода (Hofmann)		Керосинъ (Hofmann)	
		Температура	α	Температура	α
v. Traubenberg	0,31	3°	0,215	—21°	22,7
Mache (1)	0,33	20	0,23	+ 3	12,87
Hofmann.	0,23	40	0,17	20	9,55
Kofler	0,27	60	0,135	40	8,13
		70	0,12	60	7,01
		80	0,12		

Обыкновенная температура		
Жидкость	α	
Вода	около 0,30	
Керосинъ	„ 9,55	Hofmann
Толуоль	„ 11,75	„
Алкоголь	„ 5,6	Kofler
Морская вода	„ 0,165	„

Мы видимъ, что согласно съ тѣмъ, что имѣетъ мѣсто для другихъ газовъ, коэффициентъ растворимости эманации въ жидкости убываетъ съ увеличеніемъ температуры. Притомъ эманация гораздо растворимѣе въ органическихъ жидкостяхъ, чѣмъ въ водѣ, и при низкой температурѣ коэффициентъ поглощенія для этихъ жидкостей можетъ оказаться очень большимъ ($\alpha = 67$ при—79° для толуола).

Эманация менѣе растворима въ соляныхъ растворахъ, чѣмъ въ водѣ, и тѣмъ менѣе, чѣмъ больше концентрація соли. По Kofler'у коэффициентъ, полученный съ эквимолекулярными растворами, былъ бы одинъ и тотъ же и равенъ 0,16 для раствора нормальной концентраціи (NaCl, CuSO⁴, KCl).

(1) M a c h e, Acad. de Vienne, 1904 г.

Для смѣсей алкоголя и воды коэффициентъ растворимости эманацин радія измѣняется непрерывно вмѣстѣ съ пропорціею обѣихъ жидкостей.

Диффузія эманацин радія въ водѣ была изучена по методу, аналогичному одному изъ использованныхъ для изученія диффузіи въ газахъ ⁽¹⁾. Опытъ состоялъ въ устройствѣ поглощенія эманацин въ закрытомъ сосудѣ жидкостью, содержащеюся въ продолговатомъ цилиндрическомъ сосудѣ. Можно было предварительно отнять порціи жидкости на различныхъ высотахъ и измѣрить активность этой жидкости въ конденсаторѣ. Теорія опыта совершенно аналогична теоріи, построенной для диффузіи эманацин торія. Концентрація эманацин n выражается въ функціи глубины прониканія x въ жидкость слѣдующею формулою:

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

гдѣ n_0 —концентрація эманацин на поверхности жидкости, D —коэффициентъ диффузіи эманацин внутри жидкости и λ —коэффициентъ разрушенія эманацин.

Получается, для эманацин радія, $\sqrt{\frac{\lambda}{D}} = 1,6$ для воды и 0,75 для толуола.

Поэтому, въ случаѣ воды имѣемъ:

$$D = 0,066 \frac{\text{см}^2}{\text{день}}.$$

Число, найденное Стэфан'омъ для коэффициента диффузіи углекислаго газа въ водѣ, есть $1,36 \frac{\text{см}^2}{\text{день}}$; слѣдовательно, эманация диффундируетъ въ водѣ медленнѣе углекислаго газа.

§ 64. Поглощеніе эманацин радія твердыми тѣлами.—Твердые вещества, активированныя въ присутствіи радіеносныхъ солей, теряютъ, вообще, свою активность по характеристичному закону, независящему отъ природы вещества. П. Кюри и Даннъ показали, что 3 часа спустя послѣ начала разактивированія активность убываетъ на половину въ періодъ около 28 минутъ. Они, однако, нашли, что для нѣкоторыхъ веществъ убываніе гораздо медленнѣе ⁽²⁾. Явленіе чрезвычайно очевидно съ целлулоидомъ и каучукомъ. Парафинъ и воскъ проявляютъ его въ меньшей степени; оно даетъ себя чувствовать уже съ квасцами и свинцомъ. Этотъ эффектъ можно приписать поглощенію нѣ котораго

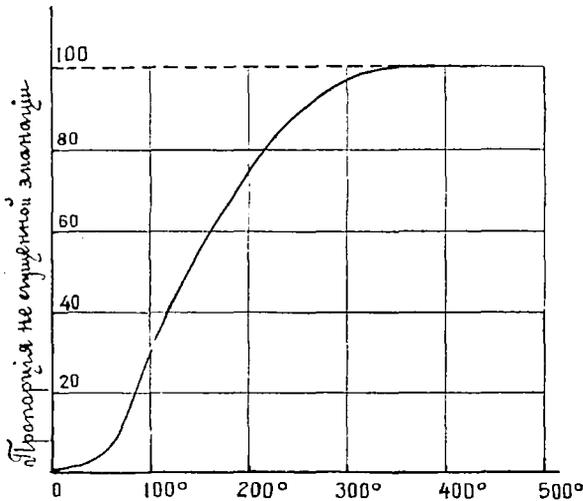
⁽¹⁾ Wallstabe, *Phys. Zeit.*, 1903 г.

⁽²⁾ Curie и Danne, *Comptes rendus*, 1903 г.

количества эманации твердыми тѣлами, въ особенности, мягкими или пористыми. При этомъ констатируется, что целлулоидъ, активированный въ теченіи долгаго времени, испускаетъ затѣмъ эманацию въ продолженіи нѣсколькихъ дней; однакожъ онъ кончаетъ полнымъ саморазактивированіемъ.

Опытъ показалъ, что эманация радія проходитъ сквозь нагрѣтыя фарфоровыя трубки, также какъ и сквозь желѣзныя. Нагрѣтый кварцъ для нея непроницаемъ. Холодное стекло поглощаетъ очень мало эманации, мѣдь поглощаетъ ея немного болѣе и свинецъ еще больше. Въ нѣкоторыхъ опытахъ количество эманации, поглощенной стекломъ, мѣдью и свинцомъ въ закрытомъ сосудѣ, было порядка дроби 10^{-6} отъ количества, находившагося въ употребленныхъ сосудахъ.

Рутерфордъ показалъ, что древесный уголь, и въ особенности уголь отъ кокосоваго орѣха, поглощаетъ весьма энергично эманацию радія при обыкновенной температурѣ (1), но затѣмъ выдѣляетъ ее, будучи нагрѣтъ докрасна. Пропорція эманации, не поглощаемой углемъ, правильно растетъ съ температурою; законъ возрастанія представленъ на черт. 57. Поглощеніе—замѣтно полное при 15° , оно является прак-



Черт. 57

тически нулевымъ при 400° для взятаго количества эманации (2). При употребленіи большихъ количествъ эманации поглощеніе уже не-

(1) Rutherford, *Nature*, 1907 г.

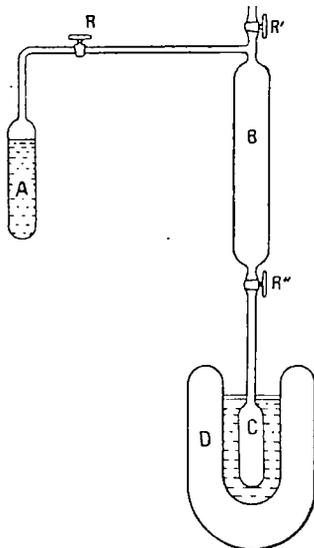
(2) Henriot, *Le Radium*, 1908 г.

полное при обыкновенной температурѣ; повидимому, получается родъ насыщения.

Морская пѣнка, губчатая платина, платиновая чернь поглощаютъ легко эманацию радія, подобно тому какъ это имѣетъ мѣсто для угля, и поглощающая способность зависитъ, повидимому, отъ физическаго состоянія вещества, въ особенности, отъ состоянія его поверхности (1).

§ 65. Сгущеніе эманаций.—Рутерфордъ и Содди открыли тотъ важный фактъ, что радиоактивныя эманации сгущаются подѣ дѣйствіемъ холода, подобно газамъ, сжижаемымъ при очень низкой температурѣ (2). Если медленно пропускать воздухъ, заряженный эманацией радія, по длинной узкой трубкѣ, свернутой спирально и погруженной въ жидкій воздухъ, эманация сгущается въ трубкѣ, и можно такъ провести опытъ, что не будетъ констатировано вовсе присутствія эманации въ газѣ, вырывающемся изъ змѣевика. Если затѣмъ предоставить змѣевнику разогрѣваться, то эманация переходитъ изъ сгущеннаго состоянія въ газообразное и можетъ снова уноситься токомъ воздуха.

Можно весьма эффектно показать сгущеніе эманации радія, пользуясь ея дѣйствіемъ на фосфоресцирующій сѣрнистый цинкъ. Для этой цѣли подойдетъ расположеніе, изображенное на черт. 58.



Черт. 58

(1) Laborde, *Comptes rendus*, 1909 г.

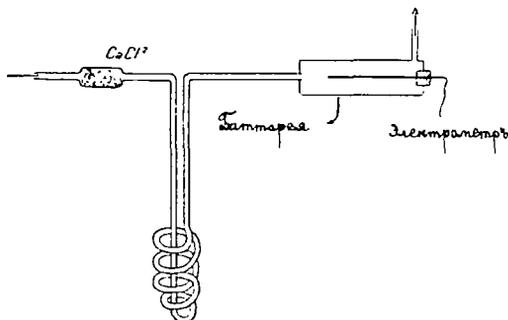
(2) Rutherford и Soddy, *Phil. Mag.*, 1903 г.

Растворъ радіевой соли помѣщаютъ въ A въ стеклянномъ резервуарѣ, сообщающемся посредствомъ трубки съ двумя другими стеклянными резервуарами B и C , стѣнки которыхъ покрыты фосфоресцирующимъ сѣрнистымъ цинкомъ. Закрывъ кранъ R , производятъ пустоту въ резервуарахъ B и C ; если затѣмъ открыть кранъ R , воздухъ, заряженный эманацией, находившейся въ резервуарѣ A , распространяется въ резервуары B и C и заставляетъ ихъ свѣтиться. Закрываютъ тогда кранъ R и погружаютъ резервуаръ C въ жидкій воздухъ. По прошествіи часа констатируютъ, что резервуаръ B потерялъ свое свѣченіе, тогда какъ резервуаръ C еще свѣтится; въ самомъ дѣлѣ, эманация покинула резервуаръ B и явилась сгуститься въ C въ охлажденной части; однакожь резервуаръ C не очень свѣтится, потому что фосфоресценція сѣрнистаго цинка слабѣе при температурѣ жидкаго воздуха, чѣмъ при окружающей. Далѣе, закрываютъ кранъ R , прерывающій сообщеніе между двумя резервуарами B и C , вынимаютъ резервуаръ C изъ сосуда D , содержащаго жидкій воздухъ, и даютъ ему вернуться къ окружающей температурѣ. Тогда резервуаръ C ярко освѣщается, между тѣмъ какъ резервуаръ B остается попрежнему темнымъ; дѣйствительно, эманация, распространенная въ началѣ опыта по обоимъ резервуарамъ, находится теперь цѣликомъ въ резервуарѣ C . Въ этомъ опытѣ сгущеніе эманации совершается тѣмъ быстрѣе, чѣмъ слабѣе давленіе газа, такъ какъ диффузія эманации изъ резервуара B къ резервуару C облегчается при уменьшенномъ давленіи. Можно также замѣтить, что резервуаръ B можетъ сохранять еще нѣкоторое свѣченіе въ то время, когда эманация уже цѣликомъ содержится въ резервуарѣ C ; въ самомъ дѣлѣ, этотъ резервуаръ, пріобрѣвъ нѣкоторую индуктивную радиоактивность въ присутствіи эманации, разактивировывается лишь постепенно послѣ того, какъ его покинула эманация, и полное исчезаніе индуктивной радиоактивности требуетъ нѣсколькихъ часовъ.

Рутерфордъ и Содди опредѣлили температуру сгущенія эманации радія слѣдующимъ образомъ:

Можно было послать медленный газовый потокъ постоянной скорости по мѣдной спирали длиною въ 3^m , погруженной въ жидкую этиленовую баню (*черт.* 59). Этиленъ все время приводился въ волненіе и можно было понизить его температуру, окружая жидкимъ воздухомъ содержащій его сосудъ. Температура спирали опредѣлялась по ея электрическому сопротивленію, оказавшемуся приближенно пропорциональнымъ ея абсолютной температурѣ. Въ этомъ отношеніи были сдѣланы

предварительные опыты: пропускался по спирали ток известной интенсивности, и измерялась разность потенциалов между двумя концами. Это определение было сделано при 0° , при температурѣ кипѣнія жид-



Черт. 59

каго этилена— $103^{\circ},5$, при температурѣ отвердѣванія этилена— 169° , и при температурѣ жидкаго воздуха, что вычислялось при помощи Таблицъ Валу'я по содержанию кислорода. Кривая, дававшая сопротивление спирали въ функціи отъ температуры, была между 0° и— 192° лпней приблизительно прямой, проходящей через абсолютный нуль.

Вотъ въ чемъ состоялъ опытъ. Газъ, содержащій эманацию радія, проходилъ по спирали, охлажденной ниже температуры сгущенія. По сгущеніи эманациі посылался въ спираль потокъ кислорода или водорода и предоставлялось температурѣ повышаться. Газъ, проходившій по спирали, проникалъ затѣмъ въ цилиндрической конденсаторъ, гдѣ измерялась его активность. Эта активность была нулевою, пока температура спирали была достаточно низкою; но съ повышеніемъ температуры наблюдалось въ известный моментъ появленіе тока въ конденсаторѣ; этотъ токъ увеличивался весьма быстро по мѣрѣ поднятія температуры и достигалъ максимальнаго значенія. Вотъ, напр., результаты, полученные съ потокомъ водорода, соответствующимъ расходу 1,38 куб. см. въ секунду:

Температура	Интенсивность тока въ конденсаторѣ
— 160°	0
— 156	0
— $154,3$	1
— $153,8$	21
— $152,5$	24

Эти числа указываютъ, что сгущенная эманация совершенно улетучивается въ очень ограниченномъ промежуткѣ температуры.

Слѣдующая таблица содержитъ результаты, полученные съ разнообразными расходами кислорода или водорода. Черезъ T_1 обозначена температура начала улетучиванія и черезъ T_2 температура получения половины максимальнаго эффекта.

	Газовый расходъ	T_1	T_2
Водородъ . . .	0,25 см. ³ : сек.	— 151,3	— 150
„ . . .	0,32 „	— 153,7	— 151
„ . . .	0,92 „	— 152	— 151
„ . . .	1,38 „	— 154	— 153
„ . . .	2,3 „	— 162,5	— 162
Кислородъ . .	0,34 „	— 152,5	— 151,5
„ . . .	0,58 „	— 155	— 153

Когда газовый потокъ не слишкомъ быстръ, полученные результаты согласны; но для скорости, соответствовавшей расходу 2,3 см.³: сек., температура улетучиванія была гораздо ниже. Это объясняется допущеніемъ, что такъ какъ стаціонарное состояніе температуры не могло въ этомъ случаѣ установиться между газомъ и металломъ, то внутренняя стѣнка спирали была при болѣе высокой температурѣ, чѣмъ ея масса. Рутерфордъ и Содди заключили, что температура сгущенія эманации радія близка къ -152° и ярко опредѣленная.

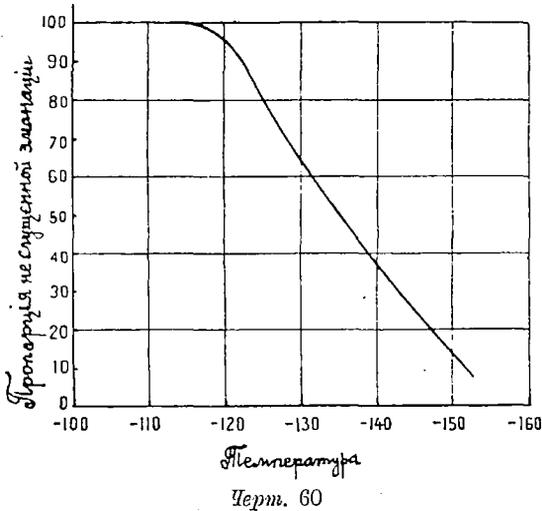
Опыты надъ сгущеніемъ эманации торія были произведены по нѣсколько отличному способу. Газовый потокъ постоянной скорости проходилъ надъ окисью торія, затѣмъ по спираль, охлажденной до температуры жидкаго воздуха, и вступалъ, наконецъ, въ измѣрительный конденсаторъ. Эманация сгущалась въ спираль, и ни малѣйшаго тока не наблюдалось въ конденсаторѣ. Тогда удалялась ванна съ жидкимъ воздухомъ, предоставлялось температурѣ медленно повышаться, и измѣрялась іонизация, получавшаяся въ конденсаторѣ при различныхъ температурахъ спирали; эта іонизация можетъ характеризовать количество эманации, увлекаемой въ конденсаторъ.

Вотъ температура, при которой начинали имѣть измѣримую іонизацию, т.-е. при которой ускользало отъ сгущенія небольшое количество эманации:

	Газовый потокъ въ секунду см. ³	Температура
Водородъ . . .	0,71	— 155
„ . . .	1,38	— 159
Кислородъ . . .	0,58	— 155

Сгущеніе эманации торія распространяется на гораздо болѣе широкій промежутокъ температуры, чѣмъ это имѣетъ мѣсто для эманации радія.

Необходима температура въ -150° , чтобы обезпечить почти полное сгущение, но нужно повышение температуры до -120° , чтобы болѣе не наблюдалось сгущения. *Черт. 60* представляет пропорцію несгущенной эманации въ функции отъ температуры для потока кислороднаго газа съ расходомъ, равнымъ $1,38 \text{ см.}^3 : \text{сек.}$



Въ другихъ опытахъ Рутерфордъ и Содди вводили въ холодную спираль опредѣленное количество эманации, содержащейся въ газѣ; количество эманации, оставшейся несгущенною при опредѣленной температурѣ, опредѣлялось путемъ быстрого извлеченія ея насосомъ и переноса въ измѣрительный приборъ. Найденная такимъ образомъ температура сгущенія для эманации радія оказалась ярко опредѣленною и близкою къ -150° , согласно съ результатами, полученными по методу воздушнаго тока. Для эманации торія сгущение начинается при -120° и распространяется на промежутокъ температуры приблизительно въ тридцать градусовъ. Количество эманации, сгущенной при данной температурѣ, зависитъ отъ давленія и природы газа, отъ концентраціи эманации и отъ времени, въ теченіи котораго она пребывала въ спирали; это количество значительнѣе въ водородѣ, чѣмъ въ кислородѣ, оно увеличивается съ уменьшеніемъ давленія газа, а также когда эманация остается дольше въ спирали.

Рутерфордъ предположилъ, что *истинная* температура сгущенія эманации радія есть около -150° , тогда какъ для эманации торія она лежитъ около -120° , но что сгущеніе эманации торія не можетъ совер-

шаться столь же внезапно, какъ сгущеніе эманациі радія, потому что изъ двухъ этихъ эманаций первая гораздо разжиженнѣе въ содержащемъ ее газѣ, чѣмъ вторая, и что, слѣдовательно, при сравнительно большемъ взаимномъ удаленіи частицъ ихъ аггломерациа совершается труднѣе. Впрочемъ, эта аггломерациа облегчается всѣми условіями, благопріятными для диффузіи, и именно такимъ образомъ объясняется вліяніе природы и давленія газа на явленіе.

Достовѣрно, что условія, въ которыхъ совершается диффузіа, играютъ важную роль въ томъ, что касается быстроты сгущенія при опредѣленной температурѣ, и что, слѣдовательно, наблюдаемое явленіе зависитъ отъ многосложныхъ причинъ. Однако можно замѣтить, что, даже независимо отъ этихъ причинъ, не усматривается никакого основанія для существованія *истинной* температуры сгущенія.

Если бы сгущенныя эманации можно было уподобить сжиженнымъ газамъ, обладающимъ при опредѣленной температурѣ упругостью насыщающаго пара, температура сгущенія необходимо зависѣла бы отъ количества эманациі, содержащейся въ опредѣленномъ объемѣ воздуха, и газовый потокъ, проходящій надъ сгущенной эманацией, увлекалъ бы при всякой температурѣ количество эманациі, замѣтно пропорціональное упругости насыщающаго пара, соответствующей этой температурѣ. Кривая, дающая пропорцію сгущенной эманациі въ функціи отъ температуры спирали въ опытахъ Рутерфорда и Содди, должна была бы въ этомъ случаѣ представить нѣкоторую аналогію съ кривою, изображающею измѣненіе упругости насыщающаго пара жидкости въ функціи отъ температуры. Такимъ образомъ, наблюдалось бы постепенное, болѣе или менѣе быстрое, возрастаніе, но не было бы основанія надѣяться наблюдать внезапный эффектъ.

Мы видѣли, что съ эманацией торія явленіе постепенно; съ эманацией радія оно кажется довольно внезапнымъ; однакожь Рутерфордъ наблюдалъ, что, оперируя съ большими количествами этой эманациі, можно констатировать ея увлеченіе токомъ воздуха уже при -155° , въ то время какъ полное улечиваніе имѣетъ мѣсто лишь при -152° . Кроме того П. Кюри и Дьюаръ (Dewar), также какъ Рамзай (Ramsay) и Рутерфордъ, констатировали въ разныхъ опытахъ, что при сгущеніи сравнительно большого количества эманациі радія при температурѣ жидкаго воздуха въ приемникъ, сообщающійся съ ртутнымъ насосомъ, постоянно вытягивается эманациа въ нѣкоторомъ количествѣ при этой столь низкой температурѣ, пока продолжаетъ функционировать насосъ. Итакъ, съ нѣкоторыхъ точекъ зрѣнія наблюдаются явленія, аналогичныя тѣмъ,

которыя имѣли бы мѣсто для сжиженнаго газа, по, съ другой стороны, температура сгущенія эманации радія, повидимому, не зависитъ сколько-нибудь значительно отъ концентраціи. Впрочемъ, достовѣрно, что въ опытахъ по сгущенію эманация не была въ достаточномъ количествѣ, чтобы могло происходить настоящее сжиженіе, когда упругость пара является насыщающею. Можно также припомнить, что даже для газовъ, для которыхъ выполняется это условіе, сгущеніе не всегда имѣетъ мѣсто при одной и той же температурѣ. Внутри газа происходитъ, вообще, съ пониженіемъ температуры перенасыщеніе, если только газъ не содержитъ *центровъ сгущенія*, которыми могутъ быть пылинки.

Съ большею вѣроятностью можно думать, что сгущеніе очень разжиженныхъ эманаций при низкой температурѣ скорѣе представляетъ сходство съ поглощеніемъ газовъ холодными твердыми стѣнками. Извѣстно, что это явленіе избирательно, т.-е. что нѣкоторыя матеріи поглощаютъ болѣе или менѣе легко нѣкоторыя газы. Такъ, древесный уголь очень легко поглощаетъ при температурѣ жидкаго воздуха обыкновенные газы: воздухъ и аргонъ, но неона и гелія не поглощаетъ. Выше мы видѣли, что уголь весьма энергично поглощаетъ эманацию при обыкновенной температурѣ. При тѣхъ же условіяхъ стѣнки изъ стекла, свинца, мѣди поглощаютъ эманацию весьма слабо и въ неравной степени, тогда какъ целлулоидъ и каучукъ поглощаютъ ее въ большей пропорціи.

Если сгущеніе эманаций при низкой температурѣ можно уподобить поглощенію твердою стѣнкою, то это поглощеніе, вѣроятно, избирательно, и должно было бы надѣяться найти, что, съ одной стороны, пропорція несгущенной эманации при опредѣленныхъ условіяхъ растетъ правильно съ температурою и что, съ другой стороны, эта пропорція зависитъ отъ природы стѣнки, на которой происходитъ сгущеніе. Общій ходъ явленія соотвѣтствуетъ этой точкѣ зрѣнія; сгущеніе происходитъ вполнѣ постепенно для эманации торія, а также для эманации актинія; для эманации радія сгущеніе совершается болѣе рѣзко.

Притомъ констатируется, что крайне трудно сгущать очень большія количества эманации радія, смѣшанной съ воздухомъ. Если, напр., заставить циркулировать, по змѣевнику, погруженному въ жидкій воздухъ, токъ воздуха, содержащій эманацию сравнительно въ очень концентрированномъ состояніи, то замѣчается сгущеніе эманации при входѣ въ змѣевникъ и въ сильной пропорціи ея ускользаніе отъ

сгущения. Итакъ, повидимому, въ этомъ случаѣ происходитъ, какъ для угля, насыщенте стѣнки. Можетъ-быть, также явленіе обязано тому факту, что газъ, увлекающій несгущенную эманацию, былъ лишень центровъ сгущения, могущихъ облегчить явленіе.

Роль стѣнки въ явленіяхъ сгущения еще мало извѣстна. Недавнїе опыты Ляборда (1), повидимому, доказываютъ, что температура сгущения эманации радїа, опредѣленная по методу Рутерфорда, не одна и та же для металлическихъ и стеклянныхъ змѣвиковъ: въ послѣднихъ температура сгущения содержалась между -177° и -179° , тогда какъ съ металлическими змѣвиками (изъ мѣди, желѣза, олова, серебра) получались температуры сгущения между -153° и -155° .

Далѣе мы увидимъ, что эманация радїа могла дѣйствительно быть сжиженной, когда она находилась въ условїяхъ концентраціи, сравнимыхъ съ тѣми, при которыхъ наблюдается сжиженіе обыкновенныхъ газовъ. Вѣроятно, что явленіе сгущения разжиженныхъ эманаций при низкой температурѣ и явленіе сжиженія различны.

Гольдштейнъ (Goldstein) наблюдалъ сгущенте эманаций актинїа при слѣдующихъ условїяхъ: резервуаръ, стѣнка котораго покрыта фосфоресцирующимъ сѣрнистымъ цинкомъ и который погружаютъ въ жидкій воздухъ, сообщается посредствомъ изогнутой трубки съ резервуаромъ, гдѣ находится актинїи; въ приборѣ устраивается пустота. При этихъ условїяхъ констатируютъ, что эманация актинїа вызываетъ свѣченіе сѣрнистаго цинка и что послѣднее ограничивается кольцомъ, расположеннымъ надъ уровнемъ жидкаго воздуха.

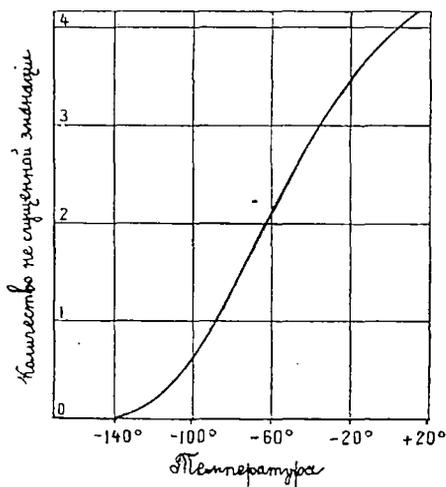
Сгущенте эманаций актинїа при низкихъ температурахъ было изучено Henriot (2) слѣдующимъ образомъ: эманация, выдѣляемая весьма активной солью актинїа, диффундируетъ въ сильной пустотѣ сквозь пучокъ очень узкихъ металлическихъ трубокъ, изогнутыхъ въ видѣ буквы U. При выходѣ изъ этихъ трубокъ ее наблюдаютъ при помощи сверканїй, производимыхъ ею на экранѣ изъ сѣрнистаго цинка и разсматриваемыхъ въ небольшой микроскопѣ. Пучокъ трубокъ погружаютъ въ ванну изъ смѣси жидкаго воздуха и петролейнаго эоира. Предоставляютъ температурѣ постепенно повышаться и наблюдаютъ видъ сверканїй, открывая на мгновение кранъ, устанавливающїй сообщенте между активнѣемъ и экраномъ. Констатируется, что пропорция несгущенной

(1) Laborde, *Comptes rendus*, 1909 г.

(2) Henriot, *Le Radium*, 1908 г.

эманации очень быстро увеличивается около -143° и потомъ продолжаетъ возрастать съ повыше́ніемъ температуры приблизительно до -100° .

Въ другихъ опытахъ варьировали температуру активіево́й соли, содержащейся въ небольшомъ латунномъ ящикѣ. Эманация, выдѣлявшаяся изъ соли, удалялась время отъ времени рѣзкимъ токомъ воздуха, увлекалась въ газовый конденсаторъ и измѣрялась по приновленному методу. Констатируется, что прибытіе эманации можно наблюдать, когда температура соли достигаетъ -140° , что количество увлекаемой эманации увеличивается затѣмъ быстро, но постепенно съ температурою до температуры въ 120° , и должно еще расти далѣе этой послѣдней (черт. 61).



Черт. 61

Когда эманацию активія оставляютъ въ теченіи опредѣленнаго времени въ змѣвигѣ, который погружаютъ въ охлаждающую ванну, пропорція сгущенной эманации растетъ правильно съ температурою. Явленіе сгущенія растягивается на большой промежутокъ температуры, и тѣмъ вѣрнѣе, чѣмъ сильнѣе давленіе (1). То же явленіе наблюдается для эманации торія. Замѣтно полное сгущеніе получается для эманаций активія и торія при очень близкихъ температурахъ.

§ 66. Химическія свойства эманаций.—Рутерфордомъ и Содди (2) были выполнены разные опыты съ цѣлю видѣть, представляютъ ли

(1) Kinoshita, *Phil. Mag.*, 1908 г.

(2) Rutherford и Soddy, *Phil. Mag.*, 1902 г.

эманациі съ химической точки зрѣнія какую-нибудь аналогію съ извѣстными газами. Опытъ показалъ, что эманациі могутъ проходить сквозь кислотные растворы безъ сильнаго поглощенія. Эманациія торія можетъ проходить безъ измѣненія по платиновой трубкѣ, сколь возможно сильно нагрѣтой, даже когда эта трубка наполнена платиновою чернью. Въ другихъ опытахъ эманациія торія увлекалась въ стеклянную трубку, содержащую докрасна нагрѣтый хромовокислый свинецъ, или же она проходила съ токомъ водорода въ докрасна нагрѣтый порошокъ магнія или въ докрасна же нагрѣтую чернь палладія; наконецъ, посылали ее съ токомъ углекислага газа въ докрасна нагрѣтый порошокъ цинка. Ни въ одномъ изъ случаевъ не наблюдалось другого измѣненія эманациі торія, кромѣ ея обычнаго убыванія.

Можно сдѣлать слѣдующій опытъ: эманациія, испускаемая окисью торія, увлекается потокомъ углекислага газа; смѣшиваются воздухъ съ потокомъ активнаго углекислага газа и пропускаютъ смѣсь въ трубку, содержащую соду; эманациія не поглощается содою, но остается съ воздухомъ, и если отправить его въ измѣрительный конденсаторъ, то констатируется, что его активность та же, что и въ томъ случаѣ, когда потокъ углекислага газа замѣняется потокомъ воздуха той же скорости, при томъ же расположеніи опыта. Этотъ опытъ доказываетъ, что активность газа, прошедшаго надъ окисью торія, не должно разсматривать, какъ родъ неглубокаго измѣненія этого самаго газа или какъ временную активность, принадлежащую этому газу, но какъ свойство агента, находящагося въ газѣ въ состояніи смѣшенія.

Эманациія радія проявляетъ себя, какъ эманациія торія; она оказывается нечувствительною къ дѣйствію разнообразныхъ весьма энергичныхъ химическихъ реактивовъ, о которыхъ только-что была рѣчь.

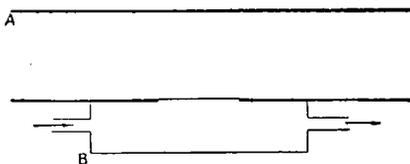
Рамзай и Содди (¹) пропускали въ теченіи нѣсколькихъ часовъ электрическія искры сквозь кислородъ, содержащій эманацию радія въ присутствіи щелочи; кислородъ затѣмъ поглощался фосфоромъ. Эманациія въ приборѣ оставалась неизмѣненною; вводя въ послѣдній воздухъ, можно было смѣсь перевести въ измѣрительный конденсаторъ и убѣдиться, что активность не испытала никакого аномальнаго измѣненія.

Основываясь на результатахъ только-что описанныхъ опытовъ, можно разсматривать радиоактивныя эманациі, какъ газы, не обладающіе химическимъ сродствомъ, и уподобить ихъ такъ называемымъ *инертнымъ* газамъ, группы аргона. Одновременно можно допустить,

(¹) Ramsay и Soddy, *Proc. Roy. Soc.*, 1903 г.

продолжая эту аналогію, что радіоактивныя эманациі имѣютъ одноатомную молекулу.

§ 67. Лучеиспускание и зарядъ эманаций. — Всѣ три эманациі испускаютъ іонизирующіе лучи. Это лучеиспускание не содержитъ проникающихъ лучей; оно сполна состоитъ изъ поглощаемыхъ лучей, рода α . Мы видѣли, какъ этотъ фактъ съ очевидностью былъ доказанъ для эманациі радія опытами П. Кюри (§ 59). Для эманациі торія можно прибѣгнуть къ слѣдующему расположенію: токъ воздуха, проходящій надъ активнымъ веществомъ, увлекаетъ эманацию въ ящикъ *B* (черт. 62), крышка котораго имѣетъ окно, закрытое тонкою пластинкою изъ алюминія или слюды. Измѣряется іонизація воздуха въ про-



Черт. 62

странствѣ между крышкой ящика *B* и дискомъ *A*, образующимъ конденсаторъ. Констатируется, что въ началѣ опыта лучеиспускание совершенно задерживается толщиною слюды въ $0^{\text{см}},0015$, за которой слѣдуетъ алюминій толщиною въ $0^{\text{см}},0013$ (1). Но мало-по-малу ящикъ *B* начинаетъ приобретать индуктивную радіоактивность, и одновременно появляются болѣе проникающіе лучи; итакъ, эти лучи не обязаны прямо эманациі.

То же расположеніе можно утилизировать съ эманацией активія. Тамъ также имѣемъ въ началѣ опыта только поглощаемые лучи, но проникающіе лучи появляются гораздо быстрѣе, чѣмъ въ случаѣ съ эманацией торія. Этотъ фактъ находится въ связи съ болѣе быстрымъ развитіемъ индуктивной радіоактивности.

Эманациі не несутъ электрическаго заряда. Съ одной стороны П. Кюри, съ другой Рутерфордъ наблюдали, что скорость диффузиі эманаций радія и торія не измѣняется электрическимъ полемъ, нормальнымъ къ направленію диффузиі. Рутерфордъ пропускалъ токъ воздуха, заряженный эманацией торія, въ цилиндрической конденсаторъ большой длины, образуемый металлическою трубкою, снабженною

(1) Rutherford, *Phil. Mag.*, 1905 г.

сооснымъ цилиндрическимъ электродомъ. Устанавливая разность потенциаловъ между трубкою и электродомъ, можно было вызвать радіальное электрическое поле, нормальное къ направленію движенія эманации. Нельзя было констатировать никакого вліянія такого электрическаго поля на движеніе эманации, и изъ этихъ опытовъ вытекаетъ, что, для средняго поля въ 1 вольтъ на сантиметръ, скорость перемѣщенія эманации въ направленіи этого поля несомнѣнно ниже 10^{-5} см. въ секунду; такимъ образомъ, подвижность частицы эманации была бы лишь очень малою дробью отъ подвижности газоваго іона, порядокъ величины котораго есть $1^{см},5$ въ секунду, тогда какъ коэффициентъ диффузій въ воздухѣ, напротивъ, больше (около 0,1 для эманаций, 0,03 въ среднемъ для газоваго іона). Отсюда вытекаетъ, что отношеніе заряда e' , какой могла бы имѣть частица эманации, къ элементарному заряду e таково, что

$$\frac{e'}{e} < \frac{10^{-5}}{1,5} \frac{0,03}{0,1}, \quad \text{или} \quad \frac{e'}{e} < 2 \times 10^{-6}.$$

Вѣроятно, поэтому, что эманация торія не заряжена.

Mc Clelland произвелъ прямой опытъ, вводя внезапно эманацию радія въ газовый конденсаторъ, употребленный, какъ «цилиндръ Фарадея, при чемъ ящикъ, образующій вѣшнюю обкладку конденсатора, соединялся съ электрометромъ. Нельзя было констатировать никакого отклоненія электрометра отъ введенія эманации (1). Опыты этого рода представляютъ ту трудность, что изолированіе цилиндра Фарадея дѣлается неполнымъ подъ дѣйствіемъ проникающихъ лучей, проходящихъ сквозь металлъ и обращающихъ въ проводникъ окружающій его воздухъ; изъ этого слѣдуетъ, что слабый зарядъ могъ пройти незамѣченнымъ.

§ 68. Образованіе и выдѣленіе эманаций.—Радіоактивныя эманации образуются и выдѣляются твердыми соединеніями или растворами радія, торія или актинія, и это выдѣленіе находится въ тѣсной связи съ активностью порождающихъ его продуктовъ.

Гизель первый обратилъ вниманіе на тотъ фактъ, что твердая соль радія, только-что приготовленная изъ раствора, не имѣетъ тотчасъ послѣ своего приготовленія постоянной активности (2); ея активность увеличивается съ момента приготовленія и достигаетъ предѣльнаго, замѣтно не-

(1) Mc Clelland, *Phys. Zeit.*, 1904 г.

(2) Giesel, *Wied. Ann.*, т. LXIX, стран. 91.

измѣняемаго, значенія по прошествіи приблизительно мѣсяца. Противоположное происходитъ для раствора. Только-что приготовленный, онъ сначала очень активенъ, но, оставленный на свободномъ воздухѣ, быстро разактивировывается, и въ концѣ концовъ принимаетъ предѣльную активность, которая можетъ оказаться значительно слабѣе начального значенія. Эти измѣненія активности объясняются очень хорошо съ точки зрѣнія эманации. Уменьшеніе активности раствора соотвѣтствуетъ главнымъ образомъ потерѣ эманации, уходящей въ пространство; это пониженіе гораздо меньше, если растворъ запааянъ въ трубку. Растворъ, разактивированный на свободномъ воздухѣ, вновь принимаетъ ббльшую активность, когда его заключаютъ въ запааянную трубку. Періодъ возрастанія активности соли, которая, по раствореніи, только-что приведена въ твердое состояніе, равенъ тому, въ теченіи котораго эманация снова собирается въ твердомъ радіи.

Вотъ нѣсколько опытовъ въ этомъ отношеніи:

Растворъ радіеоснаго хлористаго барія заключенъ въ закрытомъ сосудѣ; открываютъ сосудъ, выливаютъ растворъ въ чашку и измѣряютъ активность:

Активность, измѣренная непосредственно	67
„ по прошествіи 2 часовъ	20
„ „ 2 дней	0,25

Такимъ образомъ, этотъ растворъ, оставленный на свободномъ воздухѣ въ теченіи 2 дней, становится приблизительно въ 300 разъ менѣ активнымъ.

Растворъ радіеоснаго хлористаго барія, остававшійся на свободномъ воздухѣ, заключается въ запааянную стеклянную трубку, и измѣряется лученепусканіе этой трубки. Находятъ слѣдующіе результаты:

Активность, измѣренная непосредственно	27
„ послѣ 2 дней	61
„ „ 3 „	70
„ „ 4 „	81
„ „ 7 „	100
„ „ 11 „	100

Начальная активность твердой радіеосной соли по ея приготовленіи можетъ зависѣть отъ времени, въ теченіи котораго соль оставалась растворенною, если это время коротко. Дѣйствительно, твердая соль содержитъ нѣкоторое количество эманации, сопровождаемой индуктивной радиоактивностью; когда соль растворяютъ и растворъ

оставляютъ въ теченіи 1 дня или долѣе въ условіяхъ, при которыхъ эманация легко уходитъ, индуктивная радиоактивность постепенно потухаетъ; если тогда быстро выпарить растворъ, полученная сухая соль сначала не содержитъ ощутительно ни эманации, ни индуктивной радиоактивности; эта соль обладаетъ тогда *минимальною полною активностью*, что возможно обнаружить въ опредѣленныхъ условіяхъ измѣренія. Если, напротивъ, давно приготовленная твердая соль подвергается растворенію и непосредственному высушиванію, эманация, содержащаяся въ соли, изгоняется, но индуктивная радиоактивность остается съ солью, начальная активность которой оказывается отъ этого факта увеличенною. Однакожъ, въ этомъ случаѣ, соль испытываетъ пониженіе активности въ теченіи первыхъ часовъ по высушиванію; это пониженіе обязано разрушенію индуктивной радиоактивности, совершающемуся быстро, тогда какъ накопленіе эманации требуетъ гораздо болѣе долгаго времени. Также всегда будетъ наблюдаться избытокъ начальной активности соли надъ ея минимальною активностью, когда соль получается быстрымъ выпариваніемъ раствора, сохранявшася въ закрытомъ сосудѣ и, слѣдовательно, содержавшаго эманацию и индуктивную радиоактивность.

Вотъ значенія начальныхъ активностей, полученныхъ съ хлористымъ соединеніемъ, предѣльная активность котораго была 800 и которое выдерживали въ растворѣ данное время; затѣмъ соль высушивали и непосредственно измѣряли ея активность:

Предѣльная активность	800
Начальная активность послѣ растворенія и непосредственнаго высушиванія	440
Начальная активность послѣ того, какъ соль оставалась въ растворѣ 5 дней	120
Начальная активность послѣ того, какъ соль оставалась въ растворѣ 18 дней	130
Начальная активность послѣ того, какъ соль оставалась въ растворѣ 32 дня	114

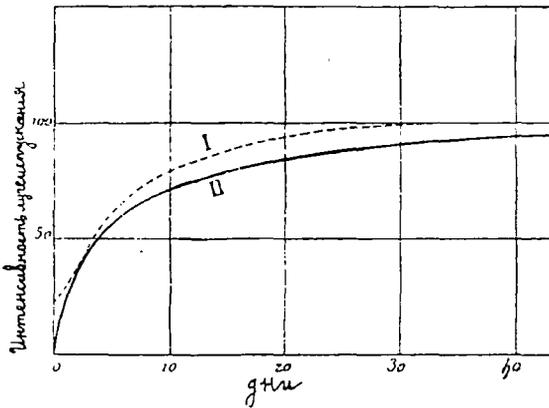
Въ этомъ опытѣ растворенная соль находилась въ сосудѣ, накрытомъ просто часовымъ стекломъ.

Два раствора, приготовленные съ одною и тою же солью, сохранялись въ запаянной трубкѣ въ теченіи нѣсколькихъ мѣсяцевъ; одинъ изъ этихъ растворовъ былъ въ 8 разъ концентрированнѣе другого. Послѣ быстраго высушиванія активность соли изъ концентрированнаго раствора была въ два раза больше активности соли изъ болѣе разбав-

ленного раствора. Но, спустя день, оба образца соли имѣли одну и ту же активность, и возрастание активности продолжалось совершенно одинаково для обѣихъ солей до предѣла. Разность начальныхъ активностей была обязана избытку индуктивной радиоактивности въ растворѣ, который, при очень маломъ объемѣ, могъ быть выпаренъ быстрее.

Полезно отдать себѣ отчетъ въ только-что указанныхъ подробностяхъ, чтобы можно было принять ихъ въ соображеніе для сравненія активности радіеносныхъ солей.

Нижеслѣдующія таблицы указываютъ, какъ увеличивается активность твердой радіеносной соли съ момента, когда эта соль послѣ растворенія высушена, до момента, когда она достигаетъ своей предѣльной активности (1); въ этихъ таблицахъ черезъ I обозначена интенсивность лученспусканія, при чемъ предѣльная интенсивность предположена равною 100, а время отсчитывается съ момента, когда продуктъ высушенъ. Таблица I (черт. 63, кривая I) относится къ полному



Черт. 63

лученспусканію; таблица II (черт. 63, кривая II) относится только къ проникающимъ лучамъ (лучи, прошедшіе $3^{см}$ воздуха и $0^{мм},01$ алюминія).

ТАБЛИЦА I		ТАБЛИЦА II	
Время	I	Время	I
0	21	0	1,3
1 день	25	1 день	19
3 "	44	3 "	43
5 "	60	6 "	60
10 "	78	15 "	70
19 "	93	23 "	86
33 "	100	46 "	94
67 "	100		

(1) M. Curie, *Thèse de doctorat*, 1903 г.

Результаты отъ разныхъ серій измѣреній не абсолютно согласны: различія могутъ происходить вслѣдствіе небольшихъ потерь эманаци, испытанныхъ твердою солью; но общій характеръ полученныхъ кривыхъ остается одинъ и тотъ же. Возобновленіе активности является полнымъ лишь по прошествіи мѣсяца, и наиболѣе проникающими лучами оказываются тѣ, которые наиболѣе глубоко затронуты процессомъ растворенія.

Начальная интенсивность лучеиспусканія, могущаго проходить 3^{cm} воздуха и $0^{mm},01$ алюминія, составляла лишь 1% предѣльной интенсивности, тогда какъ начальная интенсивность цѣлаго лучеиспусканія равнялась 21% предѣльнаго цѣлаго лучеиспусканія.

Мы видимъ, слѣдовательно, что проникающее лучеиспусканіе радіеносной соли, лишенной эманаци и индуктивной радиоактивности, практически отпадаетъ; *радіи въ минимумъ активности испускаетъ только поглощаемые лучи*, и мы увидимъ далѣе, что эти лучи—рода α ; присутствіе лучей β и γ въ лучеиспусканіи радія связано съ присутствіемъ эманаци, которая, впрочемъ, участвуетъ въ этомъ испусканіи не прямо, а въ силу сопровождающей ее индуктивной радиоактивности (1).

Когда радіеносный растворъ, не содержащій замѣтнымъ образомъ эманаци, заключается въ закрытый сосудъ, проникающее лучеиспусканіе этого раствора, вначалѣ нулевое, увеличивается въ функціи отъ времени точно такъ же, какъ проникающее лучеиспусканіе твердой соли съ момента ея высушиванія.

Слѣдовательно, образованіе эманаци происходитъ такъ же хорошо, когда соль въ растворѣ, какъ и тогда, когда она въ твердомъ состояніи. Количество эманаци, накапливающееся въ закрытомъ сосудѣ, содержащемъ твердую или растворенную соль радія, стремится къ нѣкоторому предѣлу. Этотъ предѣлъ достигается въ теченіи мѣсяца *и онъ одинъ и тотъ же какъ съ твердою солью, такъ и съ ея растворомъ*; онъ зависитъ только отъ количества радія, содержащагося въ закрытомъ сосудѣ.

Вотъ какъ можно въ этомъ убѣдиться. Нѣкоторое количество растворимой твердой радіеносной соли вводится въ сухой стеклянный флаконъ формы, указанной на *черт. 66а*. Если шлифы держатъ,

(1) Однако по нѣкоторымъ изслѣдованіямъ весьма небольшую часть лучеиспусканія β (не болѣе 1%) можно было бы приписать самому радію (§ 189).

производить легкое вытягиваніе воздуха изъ флакона, затѣмъ закрываютъ краны и оставляютъ флаконъ на мѣсяць. По прошествіи этого времени открываютъ отверстіе трубки *B* подъ водою и впускаютъ нѣсколько кубическихъ сантиметровъ воды въ флаконъ такимъ образомъ, чтобы быстро растворить радіеносную соль; количество жидкости должно быть таково, чтобы трубка *B* погружалась въ растворъ. Эманация, содержащаяся въ растворѣ и въ флаконѣ, увлекается тогда токомъ воздуха, проходящимъ сквозь растворъ, и переносится въ измѣрительный конденсаторъ; эта операція совершается весьма полно при маломъ объемѣ раствора. Затѣмъ вновь закрываютъ краны и оставляютъ радіеносный растворъ въ теченіи мѣсяца; по прошествіи этого времени измѣряютъ снова накопившуюся эманацию, перенося ее точно такимъ же образомъ въ тотъ же конденсаторъ. Результаты обонхъ измѣреній весьма близки между собою.

Предѣльное количество эманации, могущее накопляться въ закрытомъ сосудѣ, содержащемъ нѣкоторое количество радія, не зависитъ отъ формы и размѣровъ сосуда, въ чемъ можно убѣдиться посредствомъ опытовъ, аналогичныхъ только-что описанному. Слѣдовательно, образованіе эманации не есть явленіе, аналогичное испусканію пара, упругость котораго можетъ стать насыщающею.

II. Кюри и Дебьернъ выполнили множество опытовъ надъ образованіемъ индуктивной радіоактивности въ закрытомъ помѣщеніи, содержащемъ радіеносную соль (1). Они нашли, что, для опредѣленнаго расположенія опыта, индуктивная активность, развивающаяся на стѣнкахъ сосуда или на пластинкахъ, помѣщенныхъ въ сосудѣ, медленно стремится къ предѣльному значенію. Оперируя посредствомъ радіеноснаго раствора подъ разными давленіями, начиная съ атмосфернаго до давленія насыщеннаго пара раствора, находятъ, что предѣльное активированіе одно и то же и что оно устанавливается съ одною и тою же скоростью, каково бы ни было давленіе. Когда активирующее вещество есть твердая соль, можно оперировать либо при атмосферномъ давленіи, либо при очень сильной пустотѣ; въ обонхъ случаяхъ предѣльное активированіе почти одно и то же. Тотъ же результатъ получается и при замѣнѣ воздуха водородомъ въ активирующемъ помѣщеніи. Слѣдовательно, предѣльное значеніе индуктивной радіоактивности и скорость ея развитія не зависятъ отъ природы и давленія газа, содержащагося въ помѣщеніи, но только отъ количества находящагося

(1) Curie и Debierne, *Comptes rendus*, 1901 г.

там радія, при чемъ активированіе гораздо сильнѣе съ растворенною солью, чѣмъ съ тою же твердою солью. Интенсивность активированія можетъ служить для измѣренія количества эманаци, находящейся въ активирующемъ помѣщеніи. Итакъ, только-что описанные опыты доказываютъ, что стационарное состояніе, согласно которому развивается это количество эманаци, не зависитъ отъ природы и давленія газа.

Ни образованіе, ни разрушеніе эманаци не могутъ, такимъ образомъ, подвергаться вліянію. Съ другой стороны, стационарное состояніе устанавливается такъ медленно, что замедленіемъ, вносимымъ диффузіей эманаци въ широкомъ сосудѣ, можно пренебречь; вотъ почему условія являются такими, при которыхъ природа и давленіе газа, измѣняющія скорость диффузии, остаются безъ вліянія; тѣ же условія получились бы въ опытахъ съ эманациями торія или актинія.

Простѣйшая теорія состоитъ въ предположеніи, что образованіе эманаци радіемъ непрерывно и постоянно и что стационарное состояніе, устанавливающееся въ закрытомъ сосудѣ, вытекаетъ изъ компенсаціи между количествомъ эманаци, образуемымъ въ теченіи нѣкотораго времени, и количествомъ, исчезающимъ въ теченіи того же времени въ силу самопроизвольнаго разрушенія.

Мы видѣли, что, обозначая черезъ q количество эманаци, находящейся во время t въ сосудѣ, не содержащемъ радія, и черезъ q_0 количество, находящееся въ томъ же сосудѣ во время $t = 0$, можно писать:

$$q = q_0 e^{-\lambda t},$$

гдѣ λ — постоянная, характеризующая самопроизвольное разрушеніе эманаци.

Слѣдовательно, имѣемъ:

$$\frac{dq}{dt} = -\lambda q_0 e^{-\lambda t} = -\frac{q_0}{\theta} e^{-\frac{t}{\theta}},$$

или

$$\frac{dq}{dt} = -\lambda q = -\frac{q}{\theta};$$

такимъ образомъ, количество эманаци, исчезающей въ единицу времени въ силу самопроизвольнаго разрушенія, выражается черезъ λq , или $\frac{q}{\theta}$.

Пусть, съ другой стороны, Δ будетъ количество эманаци, образуемой въ единицу времени граммомъ радія. Если въ закрытомъ со-

судѣ находится p граммовъ радія, то накопленіе эманациі въ этомъ судѣ будетъ происходить по слѣдующему закону:

$$\frac{dq}{dt} = p\Delta - \lambda q.$$

Интегрируя это уравненіе, получаемъ:

$$q = \frac{p\Delta}{\lambda} + Ae^{-\lambda t},$$

гдѣ A —произвольная постоянная.

Обозначая через q_0 значеніе q во время $t = 0$, находимъ:

$$\dot{q} = qe^{-\lambda t} + \frac{p\Delta}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}).$$

Первый членъ $q_0 e^{-\lambda t}$ представляет то, что остается во время t отъ первоначальнаго количества q_0 . Второй членъ представляет эманацию, накапливающуюся въ присутствіи радія. Если, въ частности, $q_0 = 0$, т.-е. если въ закрытомъ судѣ не содержится эманациі во время $t = 0$, формула принимаетъ видъ

$$q = \frac{p\Delta}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t}),$$

или же

$$q = p\Delta\theta \left(1 - e^{-\frac{t}{\theta}}\right).$$

Если соль радія—въ твердомъ состояніи, количество эманациі q находится въ ней почти сполна въ *окклюзированной* состояніи. Если соль растворена и растворъ содержится въ закрытомъ судѣ, количество q распредѣляется между растворомъ и плавающимъ сверху воздухомъ; разрушеніе эманациі, притомъ, достаточно медленно, чтобы распредѣленіе совершалось по законамъ растворимости газовъ въ жидкостяхъ, по крайней мѣрѣ, приближенно; замедленіе, вносимое диффузіей, становится важнымъ лишь съ большими количествами жидкости и съ сосудами, требующими капиллярныхъ частей.

Предѣльное количество эманациі, могущей накопиться въ закрытомъ судѣ, содержащемъ данное количество радія, можно обозначить черезъ q_∞ ; теоретически его можно было бы достигнуть лишь для $t = \infty$. Слѣдовательно, имѣемъ:

$$\begin{aligned} q_\infty &= p\Delta\theta, \\ q &= q_\infty \left(1 - e^{-\frac{t}{\theta}}\right). \end{aligned} \quad (1)$$

Количество q_∞ получается умножением количества эманации, образуемого въ единицу времени, на постоянную времени θ , характеризующую разрушение эманации. Для эманации радія $\theta = 133$ часамъ приблизительно; слѣдовательно, q_∞ есть количество, которое выдѣлилось бы въ 133 часа, если бы не происходило самопроизвольнаго разрушенія.

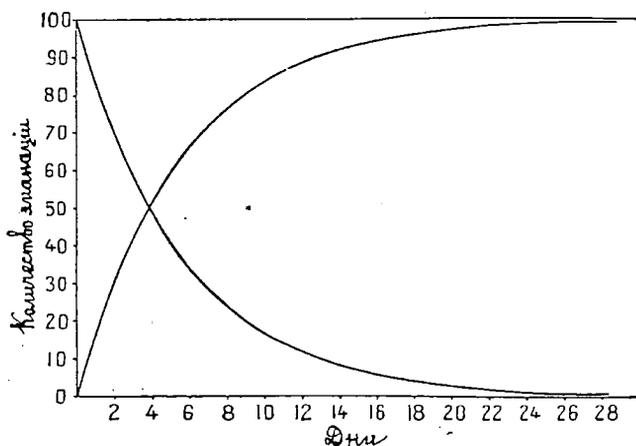
Полагая

$$q' = q_\infty e^{-\frac{t}{\theta}},$$

получаемъ соотношеніе

$$q + q' = q_\infty.$$

Слѣдовательно, кривая накопленія эманации и кривая ея разрушенія, начиная съ предѣльнаго ея значенія, таковы, что сумма ихъ ординатъ постоянна и равна этому предѣльному значенію. Эти кривыя называются *дополнительными*. Онѣ представлены на *черт. 64* согласно теоріи, при принятомъ для θ значеніи 133,2 часа.



Черт. 64

Если считать, что часть лученспусканія твердой соли, которая можетъ быть упразднена дѣйствіемъ растворенія, пропорциональна количеству эманации q , присутствующей въ соли, и если предположить, что твердая соль не теряетъ эманации наружу, тогда кривая, дающая q въ функціи отъ времени, должна также представлять возрастаніе активности въ функціи отъ времени для соли, которая была приведена къ минимуму ея активности. Экспериментальныя кривыя чертежа 63

должны, поэтому, оказаться сливающимися съ разсматриваемою кривою. Общее направленіе этихъ кривыхъ, дѣйствительно, благоприятно для такой точки зрѣнія, и, согласно теоріи, половина избытка предѣльнаго лученспусканія надъ начальнымъ получается въ промежутокъ времени, близкій къ четыремъ днямъ; однакожь согласіе не очень полное, такъ какъ соль могла потерять немного эманациі наружу.

Можно получить кривыя, болѣе согласныя съ теоріей, измѣряя приращеніе активности соли, которая по приведеніи къ минимуму своей активности была заключена въ запаянную трубку. Измѣряютъ въ функціи отъ времени интенсивность проникающаго лученспусканія соли, при томъ же расположеніи опыта, какой былъ использованъ для изученія убыванія эманациі по методу внѣшнихъ электродовъ. Интенсивность лученспусканія пропорціональна индуктивной радіоактивности, образующейся въ соли и пропорціональной, въ свою очередь, количеству эманациі q , присутствующей въ пузырькѣ по прошествіи времени t .

Формулу (1) можно написать въ видѣ

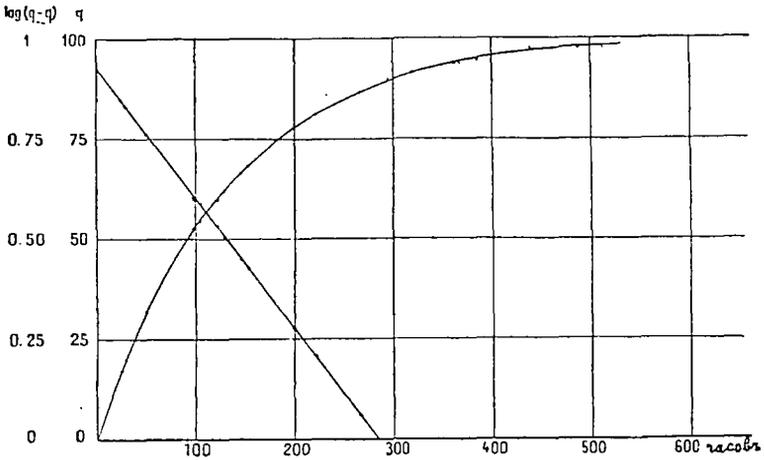
$$\frac{q_{\infty} - q}{q_{\infty}} = e^{-\frac{t}{\theta}} = e^{-\lambda t}.$$

Избытокъ предѣльной активности надъ дѣйствительною убываетъ, такимъ образомъ, по закону разрушенія эманациі. Если нанести въ абсциссахъ время и въ ординатахъ логарифмъ разности $(q_{\infty} - q)$, то полученныя точки должны размѣститься на прямой линіи, наклоненіе которой позволяетъ вычислить постоянную λ . Итакъ, вотъ средство для опредѣленія характеристичнаго коэффициента разрушенія эманациі радія.

Нѣсколько опытовъ, произведенныхъ съ этою цѣлью, дали результаты, совершенно согласныя съ теоріей. Уменьшеніе десятичнаго логаринома отъ $(q_{\infty} - q)$ въ часъ очень точно совпадаетъ съ уменьшеніемъ, наблюдаемымъ на прямыхъ чертежа 48. Для этого уменьшенія въ трехъ послѣдовательныхъ опытахъ были получены числа

$$0,00317, \quad 0,00326, \quad 0,00322.$$

Одинъ изъ этихъ опытовъ представленъ на *черт.* 65. Однако, такъ какъ этотъ методъ не далъ столь согласныхъ результатовъ, какъ методы измѣренія убыванія эманациі, то полученныя числа не были использованы для опредѣленія постоянной λ . Методъ имѣетъ, притомъ, то неудобство, что ошибка при измѣреніи предѣльной интенсивности отражается на каждой изъ разностей $(q_{\infty} - q)$.



Черт. 65

§ 69. Дозирование радия измерением выделяемой эманации.—

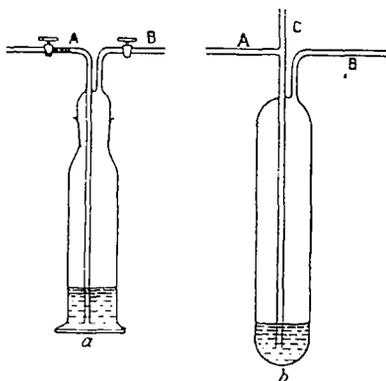
Предыдущая теория позволяет установить способ дозирования радия посредством эманации, выделяемой имъ въ данный промежутокъ времени. Такой способъ былъ предложенъ съ разныхъ сторонъ и былъ дѣйствительно использованъ въ разныхъ лабораторіяхъ для работъ, изъ которыхъ нѣкоторыя имѣютъ большое значеніе. Наиболѣе часто употреблявшійся методъ состоитъ въ удаленіи посредствомъ кипяченія предѣльной эманации, содержащейся въ растворѣ, въ которомъ заключается радій, и въ перенесеніи этой эманации въ измерительный приборъ. Я специально изучила методъ дозирования радия посредствомъ выделяемой имъ эманации ⁽¹⁾. Этотъ методъ, уже много лѣтъ постоянно употребляемый въ Парижской лабораторіи по радиоактивности, оказался весьма практичнымъ и даетъ результаты очень большой точности; опишемъ его поэтому съ нѣкоторыми подробностями. Методъ состоитъ въ увлеченіи токомъ воздуха на холоду эманации, выделяемой небольшимъ количествомъ (нѣсколькими кубическими сантиметрами) раствора, содержащаго радій.

На черт. 66 изображены два вида стеклянныхъ приборовъ (промывателей) ⁽²⁾ для помѣщенія въ нихъ раствора. Промыватель *a* запи-

⁽¹⁾ М. Curie, *Le Radium*, 1910 г.

⁽²⁾ Газъ, пропущенный сквозь жидкость, называется промыватемъ этою жидкостью. Отсюда и приборы, предназначенные для такой операци, называются промывателями. *Примѣч. перев.*

рается притертою пробкою; через это отверстие вводится растворъ. Приборъ снабженъ трубкою *A* для проведенія воздуха на дно сосуда и выходною трубкою *B*; объѣмъ трубки съ кранами. Промыватель *b* не



Черт. 66

имѣть ни притертыхъ отверстій, ни крановъ. Растворъ вводится черезъ трубку *C* посредствомъ пипетки съ длиннымъ и тонкимъ остриемъ; по введеніи раствора отверстие трубки *C* запаивается на лампѣ; трубка *A* служитъ для притока воздуха, а трубка *B* есть трубка выходная. Объѣмъ эти трубки вытягиваются въ тонкое острие и остаются запаянными на лампѣ, пока накапливается эманация, такъ что приборъ оказывается тогда строго закрытымъ и не можетъ происходить никакой утечки эманации. Промыватель *a* не представляетъ такой надежности, потому что его закрываніе требуетъ притирания и двухъ крановъ; онъ, однако, практичнѣе и служитъ для обычнаго употребленія, тогда какъ промыватель *b* употребляется при точныхъ изслѣдованіяхъ. Полный объемъ, вообще, равенъ 25^{см}; но можно употреблять какъ меньшіе, такъ и большіе промыватели. Въ промыватель вводятъ небольшой объемъ предложеннаго раствора, такъ чтобы трубка *A* погрузилась въ растворъ на нѣсколько миллиметровъ длины. Приборъ, служащій для измѣренія активности эманации, производимой растворомъ, есть газовый конденсаторъ, снабженный двумя кранами (черт. 38). Переносъ эманации, содержащейся въ промывателѣ вида *a*, въ измѣрительный конденсаторъ совершается слѣдующимъ образомъ: отверстие трубки *B* промывателя соединяется каучуковою трубкою небольшой длины съ однимъ изъ такихъ же отверстій конденсатора, въ которомъ предварительно произведена пустота; при закрытомъ кранѣ *A* устанавливають сообщеніе между промывателемъ и конденсаторомъ; содержащійся въ

промывателѣ воздухъ, заряженный эманацией, вытягивается въ конденсаторъ, объемъ котораго приблизительно въ 20 разъ больше объема промывателя. Во время этой операціи извлекается изъ промывателя наибольшая часть содержащейся въ немъ эманации. Тогда закрываютъ сообщеніе съ конденсаторомъ, отвертываютъ поемногу кранъ *A* и впускаютъ въ промыватель неактивный воздухъ, который, проходя сквозь растворъ, увлекаетъ содержащуюся въ немъ эманацию. По восстановленіи въ промывателѣ атмосфернаго давленія производятъ новое вытягиваніе, открывая кранъ со стороны конденсатора, въ то время какъ кранъ *A* закрытъ. Рядомъ вытягиваній и впусканій воздуха можно практически удалить всю сумму эманации, содержащейся въ промывателѣ для временъ накопленія, превосходящихъ нѣсколько часовъ. Полезно оперировать всегда однимъ и тѣмъ же манеромъ; я получила превосходные результаты, производя три вытягиванія, сопровождаемые тремя впусканіями воздуха, послѣ чего при открытомъ кранѣ *A* впускался въ конденсаторъ токъ воздуха, проходящій чрезъ промыватель подъ атмосфернымъ давленіемъ и имѣющій всегда почти одну и ту же скорость, регулируемую повертываніемъ крана конденсатора. Въ моихъ опытахъ совокупность трехъ вытягиваній и трехъ впусканій воздуха требуетъ 5 минутъ; правильный токъ воздуха пропускается затѣмъ въ теченіи 10 минутъ. Жидкость оказывается тогда послѣ каждой операціи въ совершенно опредѣленномъ состояніи и сохраняетъ лишь такое количество эманации, которымъ можно пренебречь по сравненію съ количествомъ, образующимся въ теченіи нѣсколькихъ часовъ. Количества эманации, извлеченныя въ равныя промежутки времени, очень точно равны между собою для временъ накопленія, превышающихъ 4 часа.

При употребленіи промывателя вида *b* открываніе трубокъ совершается отламываніемъ ихъ острій въ каучуковыхъ трубкахъ, соединяющихъ ихъ съ конденсаторомъ и съ промывательнымъ флакономъ; для эволюцій служатъ тогда кранъ конденсатора и кранъ промывательнаго флакона. Послѣ операціи снова запаиваютъ острія трубокъ на лампѣ.

По окончаніи операціи пока не восстанавливаютъ атмосфернаго давленія въ конденсаторѣ. Оставляютъ послѣдній подъ уменьшеннымъ давленіемъ и ждутъ, чтобы, вслѣдствіе развитія индуктивной радиоактивности, токъ достигъ бы максимальнаго значенія, которое можно легко измѣрить съ большою точностью. Выгодно восстанавливать атмосферное давленіе въ конденсаторѣ лишь за нѣсколько минутъ до измѣренія, потому что, если приборъ не былъ совершенно непроницаемъ, небольшая потеря эманации, которая могла бы отъ этого произойти,

явилась бы уменьшенной. Можно производить измѣреніе тока насыщенія между 3 часами 30 минутами и 4 часами, начиная съ момента вытягиванія эманации. Полезно сдѣлать два ряда измѣреній съ получасовымъ перерывомъ.

Значеніе тока насыщенія для одного и того же количества эманации зависитъ отъ размѣровъ конденсатора и отъ плотности содержащагося въ немъ газа; дѣйствительно, эти условія вліяютъ на родъ использованія лучей, испускаемыхъ эманацией и индуктивною радиоактивностью. Чѣмъ больше размѣры конденсатора и чѣмъ выше плотность газа, тѣмъ интенсивнѣе токъ. Если размѣры употребляемыхъ конденсаторовъ остаются всегда одни и тѣ же, достаточно опредѣлить точно вліяніе плотности газа и привести всѣ измѣренія къ плотности, принятой за нормальную. Вводимая на этотъ случай поправка опредѣлена изъ опыта. При нѣкоторомъ количествѣ эманации въ конденсаторѣ, соединенномъ съ манометромъ, и по достиженіи токомъ максимальнаго значенія производили измѣреніе тока, увеличивая постепенно количество воздуха, содержащееся въ конденсаторѣ, такъ чтобы имѣть значеніе тока для ряда давленій, включая атмосферное и удаляясь въ двухъ направленіяхъ отъ значенія въ нѣсколько сантиметровъ ртутнаго столба. Полученная такимъ образомъ эмпирическая кривая дала возможность установить поправку, зависящую отъ измѣненія давленія атмосфернаго воздуха; поправка, зависящая отъ измѣненія окружающей температуры, была выведена при допущеніи, что температура вліяетъ лишь на измѣненіе плотности воздуха. При размѣрахъ употребляемыхъ конденсаторовъ формула поправки такова:

$$\epsilon = i [0,0007 (760 - p) + 0,002 (t - 15)],$$

гдѣ ϵ есть поправка, которую надлежитъ прибавить къ измѣренному току i , чтобы привести его къ значенію при давленіи въ 760^{mm} ртутнаго столба и температурѣ въ 15° воздуха конденсатора, если давленіе и температура воздуха въ моментъ послѣдняго наполненія были въ дѣйствительности p миллиметровъ ртутнаго столба и t градусовъ. Поправка можетъ достигать 2% измѣреннаго значенія, и употребленіе ея полезно при точныхъ измѣреніяхъ.

Конденсаторъ, служившій для измѣренія, очищается затѣмъ отъ находящейся въ немъ эманации; для этого производятъ въ немъ пустоту и потомъ впускаютъ высушенный и профильтрованный неактивный воздухъ. Послѣ повторенія этой операціи нѣсколько разъ конденсаторъ оставляется на день, чтобы дать потухнуть индуктивной радиоактивности.

Послѣ этого онъ можетъ снова служить для измѣренія. Однако онъ можетъ сохранить небольшую активность, которая должна входить, какъ поправка къ измѣреніямъ, и должна быть сколь возможно слабою. Опытъ показываетъ, что конденсаторы одинаковыхъ размѣровъ вполне измѣнчивы.

Заряженный эманацией воздухъ, проникающій въ конденсаторъ, очень влаженъ; введеніе высушивающихъ трубокъ можетъ повести къ такимъ ошибкамъ, какъ поглощеніе небольшихъ количествъ эманации этими веществами. Этому посредства трубокъ можно избѣжать, если для изолирующихъ частей конденсатора употреблять янтарь; дѣйствительно, онъ сохраняетъ во влажномъ воздухѣ свои изолирующія свойства въ достаточной степени, чтобы измѣреніе могло совершаться очень точно по методу нуля; эбонитъ не можетъ оказать такой же услуги. Послѣ каждой операціи полезно высушивать конденсаторъ.

Мы видѣли, что количество эманации q , накопленное въ теченіи времени t , дается формулою

$$q = \Delta p \theta \left(1 - e^{-\frac{t}{\theta}} \right).$$

Если эманация не испытывала самопроизвольнаго разрушенія, то то же количество эманации q получилось бы въ теченіи времени t_r , которое можно назвать *приведеннымъ временемъ* и которое таково, что

$$q = \Delta p t_r.$$

Слѣдовательно,

$$t_r = \theta \left(1 - e^{-\frac{t}{\theta}} \right).$$

Приведенное время увеличивается вмѣстѣ съ t и стремится къ значенію θ , когда t приближается къ безконечности. Практически предѣлъ достигается съ большимъ приближеніемъ для $t = 3\theta$ днямъ.

Количество

$$\frac{q}{t_r} = \Delta p$$

должно быть постояннымъ для опредѣленнаго промывателя, содержащаго постоянный вѣсъ p радія. Пусть R будетъ значеніе этого отношенія. Для двухъ промывателей, содержащихъ различныя вѣса p

и p' радія, соотвѣтственные отношенія R и R' должны удовлетворять соотнoшенію

$$\frac{R'}{R} = \frac{p'}{p}.$$

Итакъ, достаточно будетъ знать значеніе отношенія R для раствора, содержащаго извѣстное количество радія, чтобы быть въ состояніи дозировать по сравненію радій, содержащейся во всякомъ другомъ растворѣ. Чтобы доказать законность этого метода, необходимо убѣдиться, что отношеніе R не зависитъ отъ времени накопленія и что оно пропорціонально содержанию радія въ растворѣ.

Если постоянная времени θ эманации извѣстна, приведенное время t_r можно легко вычислить для какого-угодно значенія времени накопленія t . Можно, въ частности, составить Таблицу, дающую значенія t_r , соотвѣтствующія значеніямъ t , возрастающимъ черезъ надлежащія промежутки. Такая Таблица уже нѣсколько лѣтъ въ обычномъ употребленіи въ моей лабораторіи. Можно допустить, что значеніе θ очень близко къ 133,2 часамъ (§ 59). Это число и было принято за основаніе при составленіи Таблицы, воспроизведенной въ концѣ этого тома (Таблица В).

Опытъ доказываетъ, что отношеніе R является весьма постояннымъ и можетъ быть измѣрено съ большою точностью для временъ накопленія, заключающихся между 15 и 48 часами. Для временъ накопленія всего въ нѣсколько часовъ измѣреніе не такъ хорошо устанавливается, въ томъ смыслѣ, что способъ захвата эманации имѣетъ здѣсь больше значенія; также и результаты менѣе хороши. Наконецъ, для временъ въ нѣсколько дней и долѣе R сохраняетъ приближенно то же значеніе, какъ и для одного дня, но измѣренія менѣе согласны, и найденное значеніе для R чаще всего слишкомъ слабо, при чемъ отклоненіе можетъ достигать около 5%.

При употребленіи промывателей съ кранами всякое слишкомъ слабое значеніе R можно приписать погрѣшности затворовъ, но съ совершенно закрытыми промывателями эта причина ошибокъ отпадаетъ. Возможно, что для длинныхъ временъ накопленія можетъ происходить частичная окклюзія эманации въ стеклѣ. Можно также замѣтить, что если бы всегда получалось для $t=30$ днямъ значеніе $\frac{q}{t_r}$ постоянное и ниже получающагося для $t=1$ дню, то этотъ фактъ служилъ бы указаніемъ, что принятое для θ значеніе слишкомъ велико; въ самомъ дѣлѣ, если, напр., измѣнить значеніе θ на 5%, то приведенное время, соотвѣтствующее $t = \infty$, измѣнится въ той же пропорціи, тогда какъ приве-

денныя времена, соотвѣтствующія временамъ накопленія ниже 2 дней, испытываютъ приведеніе ниже 1%. Результаты, полученные со значеніями t , взятыми между 5 и 30 днями, не достаточно правильны, чтобы можно было ими воспользоваться съ цѣлью фиксировать значеніе постоянной.

Вотъ, въ видѣ примѣра, нѣкоторые изъ множества рядовъ выполненныхъ измѣреній:

I. Промыватель съ кранами		II. Промыватель безъ крановъ		III. Промыватель безъ крановъ	
t часовъ	R	t часовъ	R	t часовъ	R
40,2	2,13	16,8	14,34	45,5	2,19
121,5	2,10	26,4	14,18	2530	2,13
51,4	2,15	21,5	14,27	48	2,16
67,4	2,13	21,2	14,28		
68,9	2,13	26,3	14,22		
24,1	2,15	4,23	14,38		
792	1,97	17,35	14,17		
42,4	2,14	2,42	14,47		
		21,68	14,07		
		0,908	14,38		
		24,3	14,32		
				IV. Промыватель безъ крановъ	
				t часовъ	R
				17,28	2,68
				44,75	2,68
				27,07	2,68

Употребляя время накопленія между 1 и 2 днями и оперируя съ большою тщательностью, можно получить точность въ 0,5%. Ошибка опасенія за постоянную θ не можетъ вліять на результаты ощутительнымъ образомъ, если $t < 48$ часовъ.

Значенія R для двухъ разныхъ промывателей очень точно пропорціональны вѣсамъ радія, содержащимся въ растворахъ. Тогда можно приготовить растворъ-эталонъ съ чистою солью радія и опредѣлить въ абсолютномъ значеніи интенсивность тока насыщенія, который эманация, доставляемая этимъ растворомъ въ единицу времени, можетъ произвести въ конденсаторѣ опредѣленнаго вида. Это эталонированіе служитъ затѣмъ основаніемъ для всѣхъ дозированій, какія потребуются выполнить; оно представляетъ деликатную операцію, которая должна быть исполнена съ величайшею тщательностью во вниманіе къ ея важности. Вотъ какъ была выполнена эта операція.

Какъ соль радія былъ взятъ совершенно чистый хлористый радій (атомный вѣсъ 226,5). Соль, только-что выкристаллизованная изъ раствора, содержащаго соляную кислоту, высушивается въ сушильной печи до потери ея кристаллизационной воды. Затѣмъ отбираются нѣсколько кусочковъ, сохраняющихъ форму кристалловъ, помещаются въ

платиновый тигель и взвѣшиваются послѣ высушиванія съ тѣми же предосторожностями, которыя являлись обычными при опредѣленіи атомнаго вѣса. Вѣсъ употребленнаго безводнаго хлористаго радія былъ отъ $0^{гp},02$ до $0^{гp},03$.

Соль вводится въ совершенно чистый стеклянный флаконъ съ притертою пробкою; вмѣстимость этого флакона около 250 кб. см.; онъ взвѣшивается до $1^{гp}$. Наливая на соль немного воды, которая была вновь дистиллирована въ платиновомъ приборѣ, должно получить растворъ соли безъ всякаго остатка. Объемъ раствора приводится тогда приблизительно къ 150 кб. см., и прибавляется капля очень чистой соляной кислоты; полный вѣсъ раствора опредѣляется точнымъ взвѣшиваніемъ до миллиграмма. Приготовленный такимъ образомъ растворъ можетъ сохраняться въ теченіи нѣкотораго времени безъ какого-либо замѣтнаго измѣненія въ его прозрачности.

Количество чистаго хлористаго радія, использованное для измѣренія активности выдѣленной эманацин, было, вообще, около 10^{-6} грамма; такимъ образомъ являлось необходимымъ составлять промыватели съ растворомъ гораздо разжиженнѣе главнаго. Для этого изъ послѣдняго берутъ доли жидкости, предназначенныя для приготовления вспомогательныхъ растворовъ. Вынутая жидкость (отъ $1^{кб. см.}$ до $2^{кб. см.}$) тщательно взвѣшивается; ее разбавляютъ надлежащимъ количествомъ ($150^{кб. см.}$) совершенно чистой воды и полученный такимъ образомъ растворъ взвѣшиваютъ. По каждому изъ этихъ вспомогательныхъ растворовъ количество, использованное для промывателя, составляетъ отъ $0^{гp},5$ до $1^{гp},5$; это количество опредѣляютъ взвѣшиваніемъ промывателя до и послѣ введенія жидкости; прибавляютъ немного чистой воды, чтобы довести объемъ приблизительно до $2^{кб. см.}$, и затѣмъ закрываютъ промыватель; онъ готовъ для употребленія.

Выполнялось, вообще, по три измѣренія для каждого промывателя. Измѣряютъ для времени накопленія t токъ насыщенія, который можно получить въ конденсаторѣ опредѣленнаго вида отъ 3 до 4 часовъ спустя послѣ введенія эманацин, т.-е. когда токъ достигъ своего максимальнаго значенія. Интенсивность тока измѣряется посредствомъ пьезоэлектрическаго кварца въ граммахъ на секунду; ее относятъ къ часу приведеннаго времени и приводятъ къ нормальному давленію и къ температурѣ въ 15° . Полученное такимъ образомъ число обозначается черезъ R . Пусть p будетъ вѣсъ соли, содержащейся въ промывателѣ. Отношеніе $\frac{R}{p}$ должно быть постояннымъ для одного и того же

газового конденсатора и одной и той же пьезоэлектрической пластинки; знания этого отношения достаточно для выполнения дозирования радия.

Вотъ примѣръ опредѣленія этого рода:

		R	$\frac{R}{P}$ (средняя)	
Главный растворъ, содержащій 0,0245 ^{гр} чистаго RaCl ²	Вспомогательный растворъ I	Промыватель a	5,24	} 2.257.10 ⁶
			5,21	
			5,24	
		Вспомогательный растворъ II	Промыватель b	3,165
	3,17			
	3,164			
	Вспомогательный растворъ II		Промыватель c	5,17
		5,11		
5,11				
Вспомогательный растворъ II		Промыватель d	4,55	} 2.267.10 ⁶
	4,60			
	4,53			

Мы видимъ, что согласіе очень хорошее: максимальное расхождение не достигаетъ 0,5%. Времена накопленія были отъ 1 до 2 дней.

Чтобы получить абсолютное число, нужно ввести постоянную использованной кварцовой пластинки; эта постоянная узнается изъ опытовъ эталонирования (§ 27). Можно такимъ образомъ вычислить интенсивность i максимальнаго тока для эманации, получаемой отъ грамма соли и въ часъ приведеннаго времени. Я нашла, какъ среднюю изъ нѣсколькихъ серій согласныхъ измѣреній:

$i = 2,00.10^4$ э.-ст. ед. отъ грамма RaCl² и въ часъ приведеннаго времени,
или

$i = 2,62.10^4$ э.-ст. ед. отъ грамма Ra и въ часъ приведеннаго времени.

Это число получено при слѣдующихъ условіяхъ опыта: измѣрительный конденсаторъ есть цилиндрическій сосудъ въ 12^{см},5 высоты и въ 6^{см},7 внутренняго діаметра (объемъ около 440^{куб. см.}). Центральнй электродъ есть стержень 3^{мм} въ діаметрѣ, не доходящій 1^{см} до дна. Небольшое отклоненіе отъ этихъ размѣровъ не влечетъ за собою замѣтнаго измѣненія въ результатахъ измѣреній, такъ что воспроизведеніе указанныхъ опытныхъ условій не представляетъ затрудненій. Токъ насыщенія всегда былъ достигнутъ; разность потенциаловъ между обкладками конденсатора была въ 800 вольтъ.

Растворы радія при извѣстномъ содержаніи могутъ служить для эталонирования измѣрительныхъ приборовъ, предназначенныхъ служить для дозирования. Если чувствительность къ току извѣстна для измѣрительнаго прибора въ абсолютной величинѣ, то можно пользоваться вышеуказанными данными для выполнения дозирования безъ помощи раствора-эталона.

Приготовление разжиженныхъ растворовъ-эталоновъ есть трудная операція, которая должна выполняться съ чрезвычайною тщательностью, такъ чтобы избѣжать образованія нерастворимыхъ осадковъ. Сохраненіе этихъ растворовъ также представляетъ затрудненія. Повидимому, растворъ, являющійся прозрачнымъ, можетъ, однако, испытать потерю соли радія, такъ какъ послѣдняя можетъ быть поглощена стекломъ. Чтобы облегчить сохраненіе вспомогательныхъ растворовъ, полезно разбавлять ихъ небольшимъ количествомъ чистой соли барія, такъ какъ барій можетъ замѣнять радій въ реакціяхъ, стремящихся сдѣлать послѣдній нерастворимымъ. Промыватели, приготовленные съ этими вспомогательными растворами, сохраняются безъ измѣненія въ теченіи многихъ мѣсяцевъ, излучая постоянное количество эманации.

Методъ промыванія на холоду можно употреблять для дозирования количества радія гораздо слабѣйшихъ, чѣмъ тѣ, которыя служили для эталонирования. Увеличивая чувствительность системы измѣрительныхъ приборовъ и количество жидкости, можно, напр., дозировать такимъ образомъ 10^{-9} грамма радія. Если бы, однако, пришлось утилизировать слишкомъ большое количество жидкости, методъ сталъ бы неприложимымъ, и было бы необходимо изгонять эманацию кипяченіемъ; впрочемъ, даже при такомъ оперированіи можно себя спросить, является ли изгнаніе эманации полнымъ при этихъ условіяхъ. Когда идетъ дѣло о дозированіи радія въ такой матеріи, какъ руда, можно поступать слѣдующимъ образомъ: вмѣсто того чтобы пользоваться растворомъ руды для непосредственнаго его дозирования, приступаютъ къ сколь возможно полному извлеченію изъ него содержащагося въ немъ радіеноснаго барія, что даетъ возможность дозировать радій въ сокращенномъ объемѣ раствора.

Теорія предполагаетъ, что образованіе эманации радіемъ постоянно. По опытамъ, исполненнымъ до настоящаго времени, безспорно, что это такъ, по крайней мѣрѣ, въ первомъ приближеніи. Но эти опыты не позволяютъ утверждать, что не происходитъ никакого медленнаго измѣненія въ количествѣ излучаемой эманации солей радія, начиная съ ихъ приготовления. Систематическое изученіе этого количества можетъ дать

намъ свѣдѣнія въ этомъ отношеніи, и мы видимъ, что такое изученіе осуществимо съ довольно большою точностью по указанному методу.

Выдѣленіе эманации твердыми солями радія сравнительно слабо при обыкновенной температурѣ, и по этой именно причинѣ активность этихъ солей не измѣняется замѣтнымъ образомъ воздушными токами. П. Кюри и Дебьернъ констатировали, что для твердой соли, хорошо высушенной, активирующая сила, т.-е. способность производить индуктивную радиоактивность въ закрытомъ помѣщеніи, представляетъ лишь малую дробь, напр. 2,5%, активирующей силы раствора той же соли (¹); притомъ активирующую силу можно разсматривать, какъ мѣру количества эманации, освобождающейся въ закрытомъ помѣщеніи въ каждую единицу времени. Почти нельзя придать совершенно определенное значеніе количеству эманации, доставляемой твердымъ тѣломъ наружу; дѣйствительно, это количество зависитъ отъ разныхъ условий, такихъ, какъ величина свободной поверхности для опредѣляемой массы и состояніе осѣданія. Для растворимыхъ солей способность выдѣлять эманацию наружу въ сильной степени подвержена влиянію состоянія влажности окружающаго воздуха, при чемъ соль тѣмъ менѣе проникаема для эманации, чѣмъ онъ суше; для нерастворимыхъ солей этотъ эффектъ не чувствителенъ. Мы также увидимъ, что соли являются менѣе проникаемыми для эманации, когда они подвергнуты сильному и продолжительному нагрѣванію.

Устраивая пустоту надъ радіеносою солью, извлекаютъ всю эманацию, какой можно располагать. Однакожъ радиоактивность радіеноснаго хлористаго соединенія, надъ которымъ была устроена пустота, за 6 дней не испытала ощутительнаго пониженія отъ этой операціи и оставалась все время гораздо выше минимума активности той же соли, полученнаго послѣ растворенія и высушиванія. Такимъ образомъ радиоактивность соли обязана въ значительной части эманации, окклюзированной внутри крупинокъ, которую нельзя удалить пустотою.

Если эманация радія испытываетъ сопротивленіе своему прохожденію изъ крупинокъ въ окружающій воздухъ, то то же оказывается и для ея прохожденія изъ твердаго радія въ жидкость. Если приводить въ волненіе радіеносную сѣрнокислую соль съ водою въ теченіи цѣлаго дня, то ея активность послѣ такой операціи замѣтно та же, что и активность порціи этой же соли, оставленной на свободномъ воздухѣ.

§ 70. Дѣйствіе температуры на выдѣленіе радиоактивныхъ эманаций

(¹) Curie и Debierne, *Comptes rendus*, 1901 г.

твердыми веществами.—Какъ замѣтилъ сперва Dogn, выдѣленіе эманациі твердыми солями радія ставится легче при повышенной температурѣ. Я изучила съ нѣкоторыми подробностями дѣйствіе нагрѣванія на соли радія (1).

При нагрѣваніи радіеносное соединеніе выдѣляетъ эманацию и теряетъ активность. Потеря активности тѣмъ больше, чѣмъ за-разъ интенсивнѣе и продолжительнѣе нагрѣваніе. Такъ, нагрѣваніе радіеносной соли въ теченіи 1 часа до 130° заставляетъ ее терять 10% всего ея лучеиспусканія; напротивъ, нагрѣваніе въ теченіи 10 минутъ до 400° производитъ небольшое дѣйствіе. Нагрѣваніе докрасна въ теченіи нѣсколькихъ часовъ разрушаетъ 77% всего лучеиспусканія.

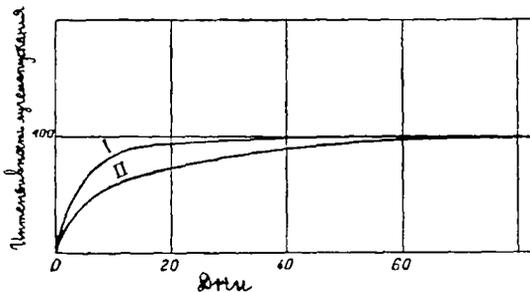
Потеря активности отъ нагрѣванія значительнѣе для проникающихъ лучей, чѣмъ для поглощаемыхъ. Такъ, очень сильное нагрѣваніе въ теченіи нѣсколькихъ часовъ разрушаетъ около 77% всего лучеиспусканія, но то же нагрѣваніе разрушаетъ почти сполна лучеиспусканіе, способное проходить 3^{см} воздуха и 0^{мм},1 алюминія. Поддерживая радіеносный хлористый барій въ расплавленномъ состояніи въ теченіи нѣсколькихъ часовъ (около 800°), разрушаемъ 98% лучеиспусканія, способнаго пройти сквозь 0^{мм}, 3 алюминія. Можно сказать, что *проникающіе лучи не существуютъ замѣтнымъ образомъ послѣ сильного и продолжительнаго нагрѣванія*. Этотъ фактъ можетъ быть сближенъ съ аналогичнымъ результатомъ, получаемымъ для лучеиспусканія радія, когда этотъ послѣдній обладаетъ своею минимальною активностью по раствореніи. Въ этомъ случаѣ проникающее лучеиспусканіе также замѣтно отсутствуетъ. Оба случая допускаютъ одно и то же толкованіе: такъ какъ проникающее лучеиспусканіе обязано индуктивной радиоактивности, сопровождающей эманацию, то оно временно прекращается, когда соль лишена своей эманациі и соотвѣтственная индуктивная радиоактивность погасла. Остающееся поглощаемое лучеиспусканіе неотдѣлимо отъ радія; оно составляетъ около 22% всего лучеиспусканія въ употреблявшемся измѣрительномъ приборѣ.

Когда радіеносная соль потеряла часть своей активности отъ нагрѣванія, это пониженіе активности не стойко; активность соли возрождается самопроизвольно при обыкновенной температурѣ и стремится къ предѣльному значенію. Я замѣтила очень любопытный фактъ, что этотъ предѣлъ выше предѣльной активности соли до нагрѣванія, по

(1) M^{me} Curie, *Thèse de doctorat*.

крайней мѣрѣ, это такъ для хлористаго соединенія, содержащаго, вообще, кристаллизационную воду. Вотъ примѣры: полное лученспусканіе образца радіеноснаго хлористаго барія, который, послѣ приготовления въ твердомъ видѣ, уже давно достигъ своей предѣльной активности, выражается числомъ 470. Этотъ образецъ подвергается нагрѣванію докрасна въ теченіи нѣсколькихъ часовъ; два мѣсяца спустя послѣ нагрѣванія онъ достигаетъ предѣльной активности съ полнымъ лученспусканіемъ, равнымъ 690; такимъ образомъ лученспусканіе увеличилось въ отношеніи 1,45. Образецъ радіеноснаго хлористаго барія, который, послѣ приготовления въ твердомъ видѣ, достигъ предѣльной активности, равной 62, поддерживается въ расплавленномъ состояніи въ теченіи нѣсколькихъ часовъ; затѣмъ сплавленный продуктъ растирается въ порошокъ. Этотъ продуктъ принимаетъ новую предѣльную активность, равную 140, т.-е. въ два раза больше той, которой онъ могъ достигъ, когда былъ приготовленъ въ твердомъ видѣ безъ значительнаго нагрѣванія во время высушиванія.

Вотъ, въ видѣ примѣра, числа, указывающія законъ увеличенія активности радіеносныхъ соединеній послѣ нагрѣванія. Таблицы I и II даютъ интенсивность лученспусканія I въ функціи отъ времени, при чемъ предѣльная интенсивность предположена равною 100 и время отсчитывается отъ конца нагрѣванія. Таблица I (*черт.* 67, кривая I)



Черт. 67

относится къ полному лученспусканію образца радіеноснаго хлористаго барія. Таблица II (*черт.* 67, кривая II) относится къ проникающему лученспусканію образца радіеноснаго сѣрнокислаго барія; измѣрялась интенсивность лученспусканія, проходившаго $3^{\text{см}}$ воздуха и $0^{\text{мг}}$,01 алюминія. Оба продукта подвергались нагрѣванію до красно-вишневаго цвѣта въ продолженіи 7 часовъ.

ТАБЛИЦА I		ТАБЛИЦА II	
Время	I	Время	I
0	16,2	0	0,8
0,6 дня	25,4	0,7 дня	13
1 "	27,4	1 "	18
2 "	38	1,9 "	26,4
3 "	46,3	6 "	46,2
4 "	54	10 "	55,5
6 "	67,5	14 "	64
10 "	84	18 "	71,8
24 "	95	27 "	81
57 "	100	36 "	91
		50 "	95,5
		57 "	99
		84 "	100

Кривые I и II напоминают кривую накопления эманации (*черт. 64*), сь которою онѣ должны были бы сливаться, если бы условия опыта были совершенны.

Когда два образца одной и той же радіеносной соли, изъ которыхъ только одинъ подвергся измѣненію въ активности отъ нагрѣванія, оставлены въ растворѣ въ теченіи нѣсколькихъ часовъ и затѣмъ высушены, нельзя констатировать никакого различія въ активности этихъ двухъ продуктовъ по высушиваніи.

Радіеносная соль, которая была растворена и только-что высушена при очень умѣренной температурѣ (ниже 100°), всегда обладаетъ замѣтно одною и тою же силою вызванія индуктивной активности и, слѣдовательно, позволяетъ уходить наружу всегда такому же количеству эманации. Кроме того, ея активизирующая сила не отличается отъ активизирующей силы образца той же соли, которая по приготовленіи въ твердомъ видѣ остается въ этомъ состояніи достаточное время для достиженія предѣльной радіоактивности.

Для твердыхъ радіеносныхъ солей на силу вызванія индуктивной радіоактивности сильно влияетъ нагрѣваніе. Во время нагрѣванія радіеносныя соединенія выдѣляютъ больше эманации, чѣмъ при обыкновенной температурѣ; но когда они затѣмъ приведены къ обыкновенной температурѣ, не только ихъ радіоактивность является гораздо ниже радіоактивности, которую они имѣли до нагрѣванія, но и ихъ активизирующая сила значительно уменьшается. Въ теченіи времени, слѣдующаго за нагрѣваніемъ, радіоактивность продукта увеличивается и даже можетъ превзойти первоначальное значеніе. Активизирующая сила также отчасти восстанавливается; однако, послѣ продолжительнаго нагрѣва-

нія докрасна активирующая сила оказывается въ значительной части утраченной и не может самопроизвольно появиться вновь съ течениемъ времени. Первоначальную активирующую силу можно возстановить въ радіеносной соли, растворяя ее въ водѣ и высушивая въ сушильной печи при температурѣ въ 120° . Значить, прокаливаніе, повидимому, влечетъ за собою особое физическое состояніе соли, при которомъ эманация выдѣляется гораздо труднѣе, чѣмъ это имѣетъ мѣсто для того же твердаго продукта, который не былъ нагрѣтъ до высокой температуры, и отсюда весьма естественно вытекаетъ, что соль достигаетъ предѣльной радіоактивности болѣе высокой, чѣмъ та, которую она имѣла до нагрѣванія. Чтобы снова привести соль въ то физическое состояніе, которое она имѣла до нагрѣванія, достаточно ее растворить и высушить, не нагрѣвая свыше 150° .

Вотъ нѣсколько относящихся сюда численныхъ примѣровъ:

Черезъ a обозначена предѣльная педуктивная активность, вызываемая въ закрытомъ сосудѣ на мѣдной пластинкѣ образцомъ радіеноснаго углекислаго барія активности 1600.

Полагаемъ для не нагрѣтаго продукта

$$a = 100.$$

Находимъ:

1 день спустя послѣ нагрѣванія	$a = 3,3$
4 дня " " " "	$a = 7,1$
10 дней " " " "	$a = 15$
20 " " " "	$a = 15$
37 " " " "	$a = 15$

Радіоактивность продукта уменьшилась на 90% отъ нагрѣванія, но, по прошествіи мѣсяца, она уже снова приняла прежнее значеніе.

Вотъ опытъ въ томъ же родѣ, пропзведенный съ радіеноснымъ хлористымъ баріемъ активности 3000. Активирующая сила опредѣляется такъ же, какъ и въ предыдущемъ опытѣ.

Активирующая сила не нагрѣтаго продукта: $a = 100$.

Активирующая сила продукта послѣ нагрѣванія докрасна въ теченіи трехъ часовъ:

2 дня спустя послѣ нагрѣванія	2,3
5 дней " " " "	7,0
11 " " " "	8,2
18 " " " "	8,2

Активирующая сила не нагрѣтаго продукта, который былъ растворенъ, затѣмъ высушенъ при 150°	92 .
Активирующая сила нагрѣтаго продукта, который былъ растворенъ, затѣмъ высушенъ при 150° .	105

Можно предложить себѣ дозировать радій посредствомъ эманациі, освобождаемой во время нагрѣванія при опредѣленныхъ условіяхъ. Этотъ методъ былъ примѣненъ къ дозированию радія въ радиоактивныхъ минералахъ. Въ моей лабораторіи были произведены изслѣдованія для изученія условій приложенія этого метода. Приборомъ служила кварцовая трубка небольшого объема, длинная и узкая, съ одного конца закрытая, а съ другого снабженная краномъ съ тремя отверстіями. На днѣ трубки помѣщался платиновый челнокъ, содержащій небольшое количество радіеноснаго хлористаго барія. Кварцовую трубку можно было нагрѣть до высокой температуры въ электрической печи; температура измѣрялась посредствомъ термо-электрической пары. Были произведены пробные опыты, чтобы удостовѣриться, что эманациа радія не проходитъ черезъ кварцъ даже при высокой температурѣ.

Опытъ состоялъ сперва въ нагрѣваніи соли до плавленія и въ сколь возможно полномъ увлеченіи выдѣляемой эманациі; для этого послѣдняя втягивалась въ газовый конденсаторъ, въ которомъ была произведена пустота; затѣмъ впускался неактивный воздухъ въ кварцовую трубку и производилось новое втягиваніе. Повторяя нѣсколько разъ попеременно обѣ эти операціи, посредствомъ надлежащаго поворачиванія крана съ тремя отверстіями, доходили до очень полного переноса всей эманациі, которой можно располагать, изъ трубки въ конденсаторъ. Тогда приборъ закрывался и предоставлялся самому себѣ въ теченіи опредѣленнаго времени, чтобы дать эманациі вновь собраться въ соли; по прошествіи этого времени t соль снова доводилась до высокой и извѣстной температуры, и снова производилось извлеченіе эманациі. Активность послѣдней измѣрялась по максимальному току насыщенія, который она могла произвести въ конденсаторѣ (отъ 3 до 4 часовъ послѣ вытягиванія).

Опыты показали, что количество эманациі q , выдѣляемое солью во время плавленія, точно такое же, какъ и количество, получаемое съ тою же солью и для того же времени накопленія, когда соль растворена и употребляется методъ дозирования, описанный выше. Полезно замѣтить, что въ опытахъ съ расплавленной солью объемъ соли былъ очень малъ, такъ какъ количество взятой соли было меньше дециграмма. Вотъ нѣсколько чиселъ въ видѣ примѣра:

q при плавленіи	q при раствореніи
113	113
111	103
132	130
136	135

Рядъ опытовъ былъ произведенъ съ временами накопленія, близкими къ 3 днямъ. Соль сперва нагрѣвалась въ теченіи отъ 2 до 3 часовъ до температуры T , и эманация, которою можно располагать, вытягивалась; затѣмъ накопленіе эманации происходило при обыкновенной температурѣ, и только лишь передъ извлеченіемъ снова устанавливалась температура T при томъ же времени нагрѣванія. Тогда эманация извлекалась и измѣрялась. Температура T указывается въ первомъ столбцѣ таблицы. Во второмъ столбцѣ находится количество q эманации, получавшееся съ радіеноснымъ хлористымъ баріемъ, при чемъ это количество отнесено ко времени накопленія въ одинъ часъ. Въ третьемъ столбцѣ это же количество q дается для радіеноснаго сѣрнокислаго барія, содержавшаго столько же радія, какъ и хлористый барій, доставившій числа второго столбца. Наконецъ, въ послѣднемъ столбцѣ фигурируетъ значеніе q для растворенной соли, содержащей то же количество радія, какъ и обѣ соли, изслѣдованныя посредствомъ нагрѣванія; въ этомъ случаѣ извлеченіе эманации было произведено по методу промыванія.

Температура T	q (хлористое соединеніе)	q (сѣрнокислая соль)	q при раствореніи
1200°	113 (расплавленная соль)	106 (нагрѣваніе въ продолженіи 3 часовъ)	113
1060	113 (расплавленная соль)	59 (нагрѣваніе въ продолженіи 3 часовъ)	
860	71 (нагрѣваніе въ продолженіи 3 часовъ)	4 (нагрѣваніе въ продолженіи 3 часовъ)	

Температура Т	q (хлористое соедине- ние)	q (сѣрноокислая соль)	q при раство- реніи
850°	72,3 (нагрѣваніе въ про- долженіи 3 часовъ 30 минутъ)		
850	56 (нагрѣваніе въ про- долженіи 2 часовъ)		
650	32,5 (нагрѣваніе въ про- долженіи 2 часовъ)		
350	6 (нагрѣваніе въ про- долженіи 2 часовъ)		

Можно констатировать, что количество эманации, получаемое съ расплавленной солью, равно количеству, которое можно извлечь изъ того же раствореннаго продукта, и представляет maximum, который не былъ достигнутъ для твердой не расплавленной соли; даже при температурѣ въ 1200° сѣрноокислая соль не можетъ выдѣлить всей содержащейся въ ней эманации; однакожь послѣ нагрѣванія въ продолженіи 3 часовъ при этой температурѣ эта соль сохраняетъ лишь незначительную часть накопленной въ ней эманации.

Кромѣ того, мы видимъ, что если соль не была расплавлена, количество эманации, освобожденной при опредѣленной температурѣ, зависитъ не только отъ температуры, но также и отъ времени нагрѣванія.

Изъ предыдущаго можно заключить, что *дозированіе радія посредствомъ эманации законно при употребленіи метода нагрѣванія только въ томъ случаѣ, если было получено плавленіе радіеноснаго продукта.* Это условіе не было, вообще, осуществлено для минераловъ, изслѣдованныхъ по этому способу.

Предыдущіе опыты показываютъ также, что при одной и той же температурѣ хлористое не расплавленное соединеніе выдѣляетъ эманацию гораздо легче, чѣмъ сѣрноокислая соль.

Можно было бы думать, что эманация выдѣляется изъ твердой соли вслѣдствіе явленія диффузии, такимъ образомъ, что потеря наружу въ каждое мгновеніе пропорціональна количеству эманации q, нако-

пленной въ соли. Можно было бы обозначить через μq скорость потери, если μ есть коэффициентъ, который возрасталъ бы съ температурою. Если бы не входило никакого другого явленія, мы имѣли бы для скорости накопленія эманации, при опредѣленной температурѣ,

$$\frac{dq}{dt} = p\Delta - \lambda q - \mu q,$$

гдѣ p есть вѣсъ радія, содержащагося въ матеріи, Δ — количество эманацин, производимой въ единицу времени граммомъ радія, и λ — коэффициентъ, характеризующій самопроизвольное разрушеніе эманацин. Видно, что при такой гипотезѣ мы имѣли бы:

$$\left(\frac{dq}{dt}\right)_0 = p\Delta,$$

обозначая через $\left(\frac{dq}{dt}\right)_0$ скорость накопленія для $t = 0$, т.-е. для очень краткихъ временъ накопленія, считая съ момента, когда соль была лишена всякой эманацин.

Полное изслѣдованіе въ этомъ отношеніи было произведено Kolowrat'омъ ⁽¹⁾, измѣрившимъ для различныхъ температуръ значеніе $\left(\frac{dq}{dt}\right)_0$. Для этого изгонялась эманация изъ соли въ то время, какъ послѣдняя находилась въ расплавленномъ состояніи; затѣмъ устанавливали опредѣленную температуру T , которая поддерживалась въ теченіи 3,75 часа; по прошествіи этого времени освобожденная эманация вытягивалась и измѣрялась. Расплавивъ потомъ снова соль, можно было извлечь изъ нея эманацию, остававшуюся окклюзированной, и измѣрить ее. Такимъ образомъ для разсматриваемой соли узнавали:

1. Количество эманацин, производимое, вообще, въ часъ и могущее быть выдѣленнымъ сполна только при помощи плавленія, иначе говоря *дебетъ эманации* $p\Delta$;

2. Количество эманацин, выдѣляемое наружу въ часъ при опредѣленной температурѣ и въ условіяхъ опыта;

3. Разность между этими двумя количествами, представляющая эманацию, окклюзированную въ соли; это есть также для краткихъ временъ накопленія значеніе количества $\left(\frac{dq}{dt}\right)_0$.

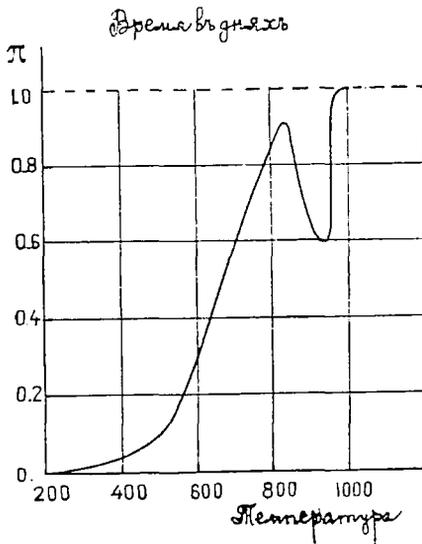
⁽¹⁾ Kolowrat, *Le Radium*, 1907 г. и 1909 г.

Находимъ, что значеніе $\left(\frac{dq}{dt}\right)_0$ не независимо отъ температуры T , но что оно, напротивъ, есть функція отъ этой послѣдней; эта функція сначала убываетъ съ повышеніемъ температуры; только лишь при обыкновенной температурѣ имѣемъ $\left(\frac{dq}{dt}\right)_0 = p\Delta$. Когда температура растеть, разность

$$\pi = p\Delta - \left(\frac{dq}{dt}\right)_0$$

увеличивается и представляетъ эманацию, выдѣляемую наружу процессомъ, отличимымъ отъ процесса диффузіи.

Законъ измѣненія π въ функціи отъ T представленъ на черт. 68. Для радіеноснаго хлористаго барія значеніе π остается



Черт. 68

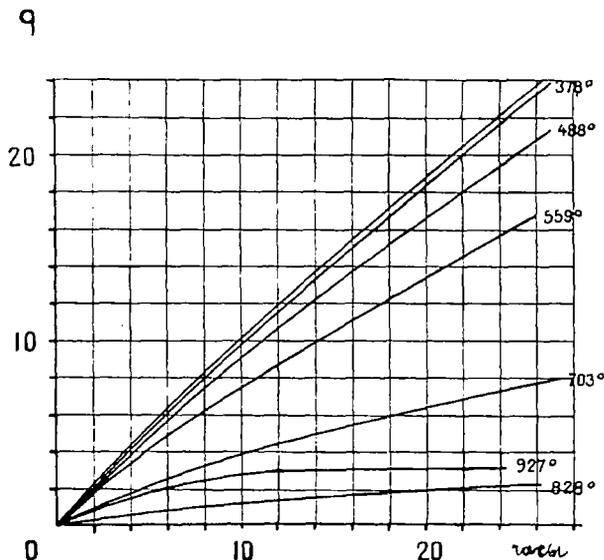
вначалѣ замѣтно нулевымъ до 350° приблизительно; начиная съ этой температуры, π быстро увеличивается до температуры около 830° ; затѣмъ происходитъ пертурбація, влекущая за собою уменьшеніе π , и около 900° наступаетъ minimum; за этимъ минимумомъ слѣдуетъ новое быстрое увеличеніе, продолжающееся до температуры плавленія около 950° ; при этой температурѣ π достигаетъ значенія $p\Delta$, т.-е. эманация выдѣляется сполна расплавленной солью. Можно думать, что

пертурбацию, происходящую вблизи 900° , причиняет молекулярное преобразование соли, имѣющее, повидимому, мѣсто при этой температурѣ.

Аналогичные результаты были получены съ фтористымъ соединеніемъ радіеноснаго барія; однакожъ значеніе π является ощутильнѣмъ лишь около 600° . Равнымъ образомъ констатируемъ, въ кривой, относящейся къ фтористому соединенію, изломъ, аналогичный тому, который происходитъ съ хлористымъ соединеніемъ.

Такимъ образомъ эманация можетъ быть испускаема солью иначе, чѣмъ посредствомъ явленія диффузиі; это испусканіе, увеличивающееся съ температурою, не зависитъ отъ количества наличной эманациі, но только отъ количества радія; значить, существуетъ родъ *испускательной способности*, которая является функциею отъ температуры и которую можно было бы попытаться истолковать, какъ явленіе метанія частицъ эманациі слоями соли, сообщеніе которыхъ съ окружающею средою легко.

Кривыя *чертежа* 69 указываютъ законъ поглощенія или оклюзиврованія эманациі солью, когда послѣдняя поддерживается при дан-



Черт. 69

ной температурѣ T въ теченіи 28 часовъ. Въ другихъ опытахъ нѣкоторыя изъ этихъ кривыхъ были продолжены въ теченіи нѣсколькихъ

дней. Кривыя, относящіяся къ различнымъ значеніямъ T , могутъ различаться между собою такъ же хорошо посредствомъ касательной въ началѣ, т.-е. посредствомъ значенія $\left(\frac{dq}{dt}\right)_0$, какъ и посредствомъ предѣльнаго значенія q , т.-е. q_∞ . Пертурбація въ видѣ кривыхъ вводится неправильнымъ измѣненіемъ $\left(\frac{dq}{dt}\right)_0$ вблизи 900° . Вышшая кривая представляетъ теоретическій законъ накопленія, когда эманация остается сполна поглощеннойю.

Можно попытаться представить соотношеніе между q и t подь видомъ

$$\frac{dq}{dt} = p(\Delta - a) - \lambda q - \mu q,$$

гдѣ a изображаетъ членъ, независящій отъ времени и отъ q , но зависящій отъ T . Въ такомъ случаѣ мы имѣли бы:

$$q = q_\infty [1 - e^{-(\lambda + \mu)t}]$$

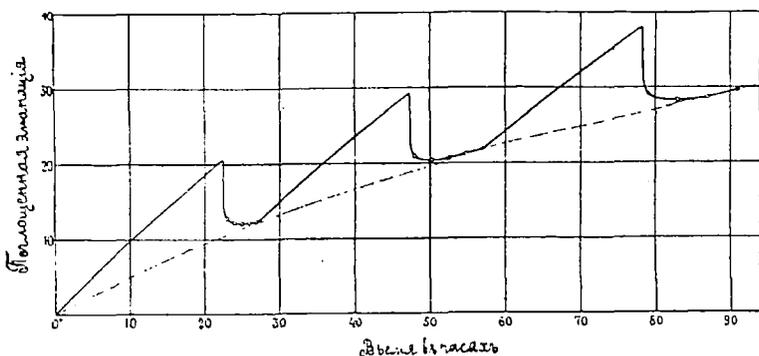
съ

$$q_\infty = \frac{p(\Delta - a)}{\lambda + \mu}.$$

Опытъ, повидимому, доказываетъ, что коэффициентъ μ принимаетъ ощутительное значеніе только при высокой температурѣ (вѣроятно, выше 800°), такъ что при среднихъ температурахъ потеря эманации горячимъ путемъ не зависѣла бы отъ q и могла бы быть обязанною главнымъ образомъ явленію метанія, природа котораго еще неизвѣстна.

Когда эманации предоставляютъ накапливаться при невысокой температурѣ T_1 и затѣмъ температуру быстро повышаютъ до значенія T_2 , то происходитъ внезапное выдѣленіе эманации. Въ противность тому, что мы могли бы предвидѣть, количество выдѣленной такимъ образомъ эманации не равно избытку наличнаго количества надъ количествомъ, которое было бы въ равновѣсїи съ солью при температурѣ T_2 ; констатируется, что оно скорѣе опредѣляется избыткомъ наличнаго количества надъ тѣмъ, которое накопилось бы за то же время при температурѣ T_2 . Нѣсколько опытовъ этого рода представлены кривою на *черт.* 70. Накопленіе происходитъ при обыкновенной температурѣ; спустя опредѣленное время (около 20 часовъ), температура доводится до

729° въ теченіи нѣсколькихъ часовъ, и эманация, которую можно располагать, извлекается въ сближенные промежутки времени; затѣмъ оставляютъ соль вновь приять обыкновенную температуру. Можно вычислить количество эманации, содержащейся въ соли въ данный мо-



Черт. 70

ментъ, и представить его кривою въ функции отъ времени. Мы видимъ, что эта кривая представляетъ изломы; поглощенное количество проходить черезъ minimum и затѣмъ увеличивается по закону, стремящемуся слиться съ закономъ накопленія при температурѣ въ 729°, который представленъ на чертежѣ прерывною кривою. Слѣдовательно, поглощенное количество при температурѣ T по истеченіи времени t одно и то же, была ли установлена температура T съ самаго начала накопленія, или сначала накапливали холоднымъ путемъ, а затѣмъ нагрѣвали до температуры T въ продолженіи надлежащаго времени.

Чтобы дать себѣ отчетъ въ этихъ опытахъ, Kolowratъ предложилъ слѣдующее объясненіе: молекулы эманации, образовавшіяся въ теченіи даннаго времени, могутъ отчасти поглотиться солью, но не всѣ изъ нихъ удерживаются съ одинаковою силою сцѣпленія; тѣ, которыя удерживаются энергичнѣе, могутъ выдѣлиться только при болѣе высокой температурѣ. Число молекулъ, способныхъ освободиться при данной температурѣ, составляетъ опредѣленную дробь отъ числа молекулъ, образующихся въ единицу времени; эта дробь растетъ съ температурою и становится равною 1 при температурѣ плавленія. Внезапное повышеніе температуры вызываетъ освобожденіе всѣхъ частицъ, которыя удерживались въ соли съ силою сцѣпленія ниже той, которая соответствуетъ только-что установленной температурѣ.

По этой теории законъ накопленія при постоянной температурѣ долженъ быть вида $q = q_{\infty} (1 - e^{-\lambda t})$, гдѣ λ есть постоянная разрушенія эманацин, а q_{∞} — количество эманацин, которое остается поглощеннымъ при стационарномъ состояніи и которое тѣмъ меньше, чѣмъ выше температура.

Опытъ доказываетъ, что разъ выдѣленная эманация уже болѣе не поглощается замѣтнымъ образомъ солью, даже при пониженіи температуры этой послѣдней.

Изучая разные образцы одной и той же радіеносной соли въ равныхъ количествахъ и, слѣдовательно, выдѣляющіе, для одного и того же времени накопленія, одно и то же количество эманацин во время плавленія, констатируемъ, что пропорція выдѣляемой эманацин при одной и той же температурѣ, въ однихъ и тѣхъ же условіяхъ, можетъ измѣняться отъ одного образца къ другому и, значитъ, зависитъ, по видимому, отъ физическаго состоянія соли и, можетъ быть, отъ присутствія примѣсей. Можно также думать, что въ нѣкоторой мѣрѣ можетъ существовать остаточное дѣйствіе нагрѣванія. Тотъ же образецъ соли даетъ очень правильные результаты, когда заботятся о расплавленіи соли раньше всякаго опыта.

Выдѣленіе эманацин торія твердыми соединеніями сравнительно легко при обыкновенной температурѣ; по этой именно причинѣ на активность соли сильно вліяютъ воздушные токи.

Главные признаки образованія и выдѣленія эманацин торія тѣ же, какіе были ясно обнаружены для эманацин радія. Въ особенности проявляются аналогичнымъ образомъ дѣйствія растворенія и нагрѣванія.

Рутерфордъ и Содди ⁽¹⁾ сравнили дебетъ эманацин различныхъ твердыхъ соединеній торія въ опредѣленныхъ условіяхъ, увлекаая токкомъ воздуха извѣстной скорости эманацию, производимую извѣстнымъ вѣсомъ вещества, помѣщеннаго въ плоскомъ сосудѣ, и посылая этотъ токъ воздуха въ измѣрительный конденсаторъ. По прошествіи 10 минутъ наступаетъ стационарное состояніе. Опытъ показалъ, что, для употребляемыхъ скоростей воздушнаго тока, токъ насыщенія былъ пропорціоналенъ вѣсу вещества до $20^{\text{г}}$. Изъ этого изслѣдованія вытекаетъ, что соединенія торія обладаютъ способностью выдѣленія эманацин, измѣняющагося въ очень широкихъ предѣлахъ. Такъ гидратъ торія испускаетъ при равномъ вѣсѣ въ 2—3 раза болѣе эманацин, чѣмъ

(1) Rutherford и Soddy, *Phil. Mag.*, 1902 г.

обычная окись торія. Азотнокислый торій въ твердомъ состояніи выдѣляетъ лишь $\frac{1}{200}$ количества эманацин, доставляемой при равномъ вѣсѣ окисью торія. Различные образцы углекислой соли проявляютъ себя весьма различно, смотря по ихъ способу приготовленія.

Для окиси торія способность выдѣлять эманацию въ два или въ три раза больше въ газахъ влажныхъ, чѣмъ въ высушенныхъ.

Выдѣленіе эманацинъ облегчается повышеніемъ температуры (¹). Окись торія, нагрѣтая докрасна въ платиновой трубкѣ, выдѣляетъ тройное или четверное количество эманацинъ, выдѣляемой холоднымъ путемъ. Пока температура поддерживается постоянною, скорость выдѣленія эманацинъ сохраняетъ это высокое значеніе, но она вновь принимаетъ свое первоначальное значеніе во время охлажденія. Если, однако, продуктъ былъ нагрѣтъ добѣла, способность выдѣленія сильно сокращается и послѣ охлажденія падаетъ до значенія, составляющаго лишь 10% первоначальнаго. Продуктъ въ такомъ состояніи Рутерфордъ называетъ *деэманированнымъ* (*déémané*).

Способность выдѣлять эманацию уменьшается для окиси торія съ пониженіемъ температуры; при температурѣ твердой углекислоты она въ десять разъ меньше, чѣмъ при обыкновенной температурѣ; при отогрѣваніи она возвращаетъ свое первоначальное значеніе.

Дѣйствіе измѣненій въ температурѣ возвратимо до тѣхъ поръ, пока не была достигнута температура деэманирования. Когда же эта послѣдняя была превзойдена, дѣйствіе нагрѣванія можно разрушить, проводя продуктъ чрезъ состояніе растворенія. Слѣдовательно, дѣйствіе нагрѣванія состоитъ, какъ въ случаѣ солей радія, въ измѣненіи свойствъ продукта, становящагося менѣе проникаемымъ для эманацинъ, но не вліяетъ на способность производить эту послѣднюю.

Выдѣленіе эманацинъ торія облегчается раствореніемъ. Растворенный азотнокислый торій выдѣляетъ въ три или въ четыре раза болѣе эманацинъ, чѣмъ соотвѣтственное количество окиси торія. Когда быстро растворяютъ въ горячей водѣ нѣкоторое количество азотнокислаго торія, содержащееся въ флаконѣ, накопившаяся въ этой соли эманация выдѣляется и можетъ быть увлечена въ измѣрительный приборъ быстрымъ токомъ воздуха, проходящимъ черезъ растворъ въ теченіи 25 секундъ. Ионизаціонный токъ измѣряется непосредственно, затѣмъ растворъ предоставляется самому себѣ на 10 минутъ. По прошествіи

(¹) Rutherford, *Phys. Zeit.*, 1901 г.

этого времени наступает стационарное состояніе между образованіемъ и разрушеніемъ эманацин; тогда увлекаютъ накопившуюся эманацию, дѣйствуя точно такъ же, какъ въ предыдущемъ случаѣ, и производятъ новое измѣреніе. Находятъ, что предѣльная эманация, накапливающаяся въ растворенной соли, производитъ такой же токъ, какъ и эманация, которая была накапливаема въ твердой соли. Это можно было предвидѣть, если образованіе эманации одно и то же какъ въ твердой, такъ и въ растворенной соли, и если твердая соль не выдѣляетъ эманацин наружу, условіе, приближенно осуществленное для азотнокислой соли (1).

Твердый азотнокислый торій долженъ содержать предѣльное количество эманацин, которое можно вычислить, предполагая постоянное образованіе и разрушеніе по характеристическому показательному закону. Тогда для этого предѣльнаго количества q_{∞} имѣемъ:

$$q_{\infty} = p \frac{\Delta}{\lambda},$$

гдѣ Δ обозначаетъ количество эманацин, производимое въ секунду граммомъ торія, p — число использованныхъ граммовъ торія, λ — постоянная разрушенія эманацин. Находимъ:

$$q_{\infty} = 87p\Delta;$$

значитъ, предѣльное количество въ 87 разъ больше количества, образующагося въ секунду.

Еще мало опытовъ произведено надъ выдѣленіемъ эманацин актинія. Однако извѣстно, что это выдѣленіе чрезвычайно легко при обыкновенной температурѣ для твердыхъ соединеній, на активность которыхъ сильно вліяютъ, по этой причинѣ, воздушные токи. Гидратъ выдѣляетъ эманацию легче, щавелевокислая соль выдѣляетъ ее гораздо менѣе.

Опыты надъ сгущеніемъ, описанные выше (§ 65), показываютъ, что низкая температура препятствуетъ выдѣленію эманацин твердымъ соединеніемъ актинія. Это выдѣленіе начинаетъ замѣчаться только съ -140° и затѣмъ быстро увеличивается съ температурою до $+120^{\circ}$ и выше. Кривая, представляющая явленіе (черт. 61), напоминаетъ кривую (черт. 68), представляющую выдѣленіе эманацин наружу солью радія въ функціи отъ температуры, за исключеніемъ того, что кривая, относящаяся къ актинію, не представляетъ возмущенія, наблюдаемаго съ

(1) Rutherford, *Radioactivity*, 1901 г.

солями радія. Все происходитъ такъ, какъ если бы активнѣй, съ точки зрѣнія своей проникаемости для эманацин, находился при -140° въ условіяхъ, сравнимыхъ съ тѣми, въ которыхъ находится хлористый радій при 350° .

Мы видѣли, что выдѣленіе эманацин твердымъ соединеніемъ при обыкновенной температурѣ совершается съ трудомъ для радіеносной соли барія и сравнительно легко для соединеній торія и активнѣйшихъ веществъ. Но, вѣдь, и имѣется различіе въ природѣ между веществами, входящими въ оба случая. Радій, вообще, разжиженъ въ соляхъ барія; активнѣй встрѣчается въ состояніи слѣда съ рѣдкими землями; торій X, источникъ эманацин торія, разжиженъ въ соединеніяхъ торія. Можно поэтому думать, что бѣлая или меньшая легкость, съ которою выдѣляются эманацин, скорѣе могла бы зависѣть отъ природы веществъ, внутри которыхъ онѣ образуются, чѣмъ отъ самой природы эманацин. Эта точка зрѣнія была подтверждена недавними опытами (1), допускающими изученіе выдѣленія эманацин разными нерастворимыми соединеніями, содержащими слѣды радія. Къ раствору, содержащему соль выбраннаго металла, прибавлялся растворъ, содержащій извѣстное и очень незначительное количество радія; затѣмъ металл осадили, въ видѣ нерастворимой соли или гидрата, приспособленнымъ реактивомъ. Осадокъ увлекалъ радій въ пропорціи, болѣе или менѣе сильной для различныхъ изучаемыхъ соединеній; такъ радій очень полно увлекается осадкомъ гидрата желѣза или урана, тогда какъ гидраты торія, дидама или алюминія увлекаютъ его лишь въ незначительной пропорціи. Осадокъ, отдѣленный отъ жидкости, высушивался въ сушильной печи около 120° ; затѣмъ измѣряли отдѣльно эманацин, выдѣленные жидкостью и твердымъ тѣломъ по прошествіи 20 часовъ накопленія въ закрытомъ сосудѣ. Такимъ образомъ находимъ, что, для твердыхъ солей барія и свинца, собранная эманация составляетъ лишь около 3% накопленной эманацин, тогда какъ для другихъ соединеній выдѣленіе гораздо значительнѣе. Вотъ отношеніе количества собранной эманацин къ количеству накопленной эманацин для нѣкоторыхъ изученныхъ соединеній:

Гидратъ желѣза	0,29
Гидратъ урана	0,20
Гидратъ барія	0,035
Фтористый дидамъ	0,20
Фтористый барій	0,05

(1) *Hersz finkel, Comptes rendus, 1909 г.*

Хромовокислое желѣзо	0,34
Хромовокислый барій	0,045
Сѣрноокислый свинецъ	0,033
Сѣрноокислый барій	0,028

Въ опытахъ надъ эманацией радія эта послѣдняя доставляется, вообще, растворомъ, и въ нѣкоторыхъ случаяхъ изъ этого могутъ вытекать затрудненія. Употребленіе радія, разжиженнаго въ соединеніяхъ, проницаемыхъ для эманации (въ гидратѣ желѣза или урана, въ хромовокисломъ желѣзѣ, въ фтористомъ дидимѣ), даетъ возможность получить при обыкновенной температурѣ сильную пропорцію накопленной эманации.

§ 71. Эманации представляютъ матеріальные газы. Отдѣленіе эманации радія въ чистомъ видѣ. Измѣреніе объема.—Мы видѣли, что радиоактивныя эманации проявляютъ себя съ многихъ точекъ зрѣнія, какъ газы; однако во всѣхъ опытахъ, описанныхъ до сихъ поръ, присутствіе эманации всегда открывалось единственно по ея радиоактивнымъ свойствамъ. Для доказательства, что эманации—настоящіе газы, можно постараться ихъ изолировать, измѣрить ихъ объемъ подъ опредѣленнымъ давленіемъ и найти характеристичный спектръ. Опыты этого рода очень важны, потому что если они докажутъ безъ всякаго сомнѣнія, что радиоактивность въ случаяхъ эманаций связана съ матеріальными газами весьма опредѣленной природы, то въ то же время будетъ доказано, что эти газы не стойки, но испытываютъ самопроизвольное разрушеніе, что еще никогда не наблюдалось для какого-либо изъ обычныхъ газовъ.

Мнѣніе, что эманации представляютъ матеріальные газы, поддерживалось Рутерфордомъ и Содди тотчасъ послѣ открытія радиоактивныхъ эманаций и въ то время, когда свойства послѣднихъ были еще мало извѣстны. Результаты опыта вполне подтвердили это мнѣніе, и недавнія работы, относящіяся къ эманации радія, въ состояніи установить это окончательно. Изъ трехъ эманаций эманация радія есть, впрочемъ, единственная, которую можно пытаться изолировать, потому что ея стойкость достаточно велика; эманации торія и актинія разрушаются столь быстро, что не могутъ накапливаться въ ощутительномъ количествѣ.

Эманация радія получается изъ твердыхъ или растворенныхъ солей радія; она содержится въ газахъ, постоянно выдѣляемыхъ этими солями. Достаточно концентрированный растворъ радіевой соли порождаетъ выдѣленіе видимаго и непрерывнаго газа, какъ это тотчасъ

отмѣтили Гизель (1); образующіеся газы—главнымъ образомъ кислородъ и водородъ, и составъ смѣси близокъ къ составу воды, такъ что можно допустить, что имѣется разложеніе воды дѣйствіемъ радія; однакожь можно, вообще, констатировать избытокъ водорода. Твердая соль радія, которая не была абсолютно лишена воды, также порождаетъ образованіе газовъ, остающихся окклюзированными въ соли и выдѣляющихся во время растворенія или плавленія; равнымъ образомъ и въ этомъ случаѣ получается кислородъ и водородъ, смѣсь, содержащая водородъ въ большей пропорціи, чѣмъ какая соотвѣтствуетъ гремучему газу. Наконецъ, вообще, находимъ, въ выдѣляемыхъ газахъ немного углекислоты и слѣды гелія. Этотъ послѣдній газъ образуется непрерывно въ присутствіи радія, какъ это установили Рамзай и Содди въ работѣ, имѣющей большое значеніе; ея результаты получили многочисленныя подтвержденія (2).

Образованіе газа растворомъ бромистаго или хлористаго радія составляетъ около 0,4 куб. см. въ часъ на граммъ радія.

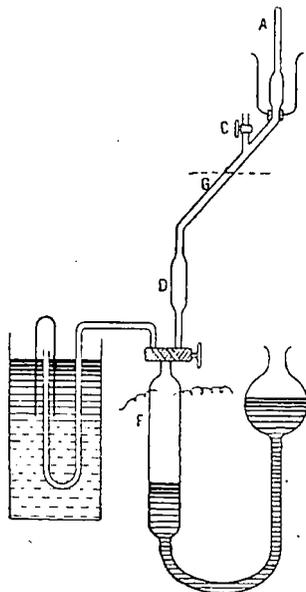
Первыя работы, относящіяся къ изолированію эманациі радія, принадлежатъ Рамзаю и Содди (3). Эманациа, накопившаяся съ другими газами въ присутствіи раствора $60^{мг}$ бромистаго радія, переносилась вмѣстѣ съ этими газами въ эвдиометръ *F*, въ которомъ производилась выпышка (*черт.* 71). Избытокъ водорода, содержащей эманацию, оставляли въ соприкосновеніи съ содою, которая поглощала слѣды углекислоты. Тогда устраивали очень полную пустоту въ остающейся части прибора, затѣмъ предоставляли водороду и эманациі проникать туда черезъ трубку *D*, наполненную фосфорнымъ ангидридомъ. Потомъ капиллярную трубку *A* окружали жидкимъ воздухомъ, чтобы сгустить въ ней эманацию; чтобы слѣдить за успѣхами сгущенія, наблюдали свѣченіе стекла въ соприкосновеніи съ эманацией. Послѣ этого предоставляли ртути подняться до уровня *G* и устраивали очень полную пустоту черезъ кранъ *C*; затѣмъ, закрывъ послѣдній, удаляли жидкій воздухъ и предоставляли ртути подыматься, оттѣсня эманацию назадъ въ капиллярную часть трубки *A*; тогда измѣряли ея объемъ въ функціи отъ времени и старались произвести ея спектръ, пропускаая разрядъ въ трубку посредствомъ находившихся въ ней электродовъ.

Полученный такимъ образомъ въ опытѣ объемъ былъ 0,124 куб. мм.

(1) Giesel, *Berichte d. d. chem. Ges.*, 1903 г.

(2) Ramsay и Soddy, *Phys. Zeit.*, 1903 г.

(3) Ramsay и Soddy, *Proc. Roy. Soc.*, 1904 г.



Черт. 71

подъ атмосфернымъ давленіемъ; объемъ свѣтящагося шарика уменьшался и почти полностью исчезалъ въ теченіи мѣсяца. Въ другомъ опытѣ полученный объемъ былъ 0,025 куб. мм. подъ атмосфернымъ давленіемъ, но въ этотъ разъ объемъ увеличивался и по прошествіи 23 дней сталъ въ десять разъ больше. Тогда констатировалось въ трубкѣ присутствіе газа гелія, очень яркій спектръ котораго можно было наблюдать.

Рамзай и Содди заключили изъ своихъ опытовъ, что эманация есть газъ, подчиняющійся закону Бойля-Мариотта, и что объемъ эманации въ равновѣсіи съ 1^{tr} радія есть около 1 куб. мм. подъ нормальнымъ давленіемъ и при обыкновенной температурѣ.

Определеніе объема эманации представляетъ затрудненія, протекающія съ одной стороны отъ неизвѣстности, относительно чистоты этого газа, а съ другой стороны отъ неправильнаго измѣненія наблюдаемаго объема. Что касается послѣдняго пункта, въ настоящее время извѣстно, что происходитъ образованіе гелія въ присутствіи эманации; вслѣдствіе этого образованія газовый объемъ долженъ увеличиваться, тогда какъ разрушеніе эманации стремится его уменьшить, и по нынѣшней теоріи конечный объемъ могъ бы выйти больше начальнаго. По этой теоріи гелій есть одинъ изъ продуктовъ разрушенія эмана-

цин; онъ происходитъ отъ метанія, эманацией и сопровождающей ее индуктивной радиоактивностью, матеріальныхъ частицъ, составляющихъ лучи α и являющихся атомами гелія, несущими электрической зарядъ. Эти частицы, вытолкнутыя съ большою скоростью, могутъ проникать въ стѣнки сосуда, содержащаго эманацию, и поглощаться этими послѣдними. Способъ измѣненія объема газа зависитъ отъ пропорціи поглощеннаго гелія, которая сама зависитъ отъ очень разнообразныхъ условій, такихъ, какъ форма трубки, природа стѣнокъ, и проч. Рамзай, впрочемъ, показалъ, что гелій не поглощается стекломъ въ замѣтной степени при обыкновенныхъ условіяхъ; итакъ, поглощеніе является результатомъ значительной скорости частицъ.

Позднѣйшіе результаты Рамзая и Сатертона⁽¹⁾ по измѣренію объема эманации были иные. Взятое количество радія было $0^{гг},0877$. Газъ, извлеченный изъ раствора, содержавшаго небольшое количество нерастворимой соли, былъ подвергнутъ вспышкѣ и высушенъ надъ фосфорнымъ ангидридомъ. Потомъ эманацию сгущали при температурѣ жидкаго воздуха и устраивали пустоту въ приборѣ для удаленія водорода, который оставался съ эманацией. Устраивая пустоту, всегда увлекаютъ немного эманации, въ чемъ можно убѣдиться, наблюдая свѣченіе трубокъ. Значитъ, здѣсь имѣется причина непостоянства объема эманации, соответствующаго данному количеству радія; если не устраивать достаточно полной пустоты, остается водородъ; если устраивать пустоту слишкомъ долго, увлекается ощутительное количество эманации.

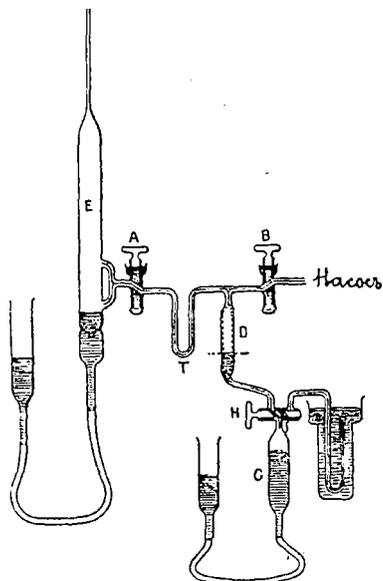
Опыты подтвердили, что эманация подчиняется закону Бойля, когда измѣренія выполняются быстро и давленіе измѣняется между $20^{мм}$ и $200^{мм}$ ртутнаго столба, въ то время какъ объемъ измѣняется между 1 кб. мм. и 10 кб. мм. приблизительно. Начальный объемъ эманации было трудно опредѣлить. Наблюдалось, вообще, въ теченіи перваго часа по отдѣленіи, довольно быстрое сокращеніе, въ силу котораго объемъ уменьшался на половину; затѣмъ объемъ въ нѣкоторыхъ опытахъ оставался постояннымъ, въ другихъ измѣнялся, но такъ, что нельзя было установить закона измѣненія, общаго для всѣхъ опытовъ. Въ нѣкоторыхъ опытахъ объемъ уменьшался по самому закону разрушенія эманации. Наблюдаемый начальный объемъ колебался между 0,182 кб. мм. и 0,337 кб. мм. для эманации, образующейся приблизительно въ четыре дня. Рамзай и Сатертон считали наивысшее число за наиболѣе точное и принимали для объема эманации, находящагося

(1) *Soc. Chim. Londres*, 1907 г.

въ равновѣсіи съ $1^{тп}$ радія, значеніе 7 куб. мм. подъ нормальнымъ давленіемъ. Это число было гораздо выше прежняго.

Объемъ, занимаемый эманацией, находящейся въ радиоактивномъ равновѣсіи съ $1^{тп}$ радія, есть важная постоянная. Кроме того, значеніе этой постоянной находится въ прямой связи со скоростью разрушенія радія. Въ самомъ дѣлѣ, если эманация образуется на счетъ радія, послѣдній исчезаетъ тѣмъ скорѣе, чѣмъ быстрѣе образованіе эманации, а съ другой стороны, количество эманации, соответствующее равновѣсію, пропорціонально скорости образованія. Возможно даже, при нѣкоторыхъ предположеніяхъ, опредѣлить численно среднюю жизнь радія по скорости образованія эманации. Знаніе этой скорости представляетъ, такимъ образомъ, значительный интересъ. Изслѣдованія относительно сколь возможно точнаго измѣренія объема эманации снова были предприняты Рутерфордомъ, Дебьерномъ и Рамзаемъ съ Грэмъ.

Рутерфордъ пользовался $0^{тп},25$ радія (¹). Выдѣляемые газы подвергались вспыскѣ въ резервуарѣ *C* (черт. 72); по установленіи пу-



Черт. 72

сты въ верхней части прибора остальной газъ оттѣснялся въ резервуарѣ *D*, гдѣ онъ пребывалъ въ соприкосновеніи съ ѣдкимъ кали, по-

(¹) Rutherford, *Phil. Mag.*, 1908 г.

глошающимъ воду и углекислоту; U-образная трубка погружалась тогда въ охлаждающую ванну для сгущенія эманации, и устранялась пустота надъ сгущенной эманацией краномъ *B*. Затѣмъ эманация посредствомъ крана *A* принималась въ сосудъ *E*, въ которомъ предварительно была произведена очень полная пустота; по закрытіи этого крана эманация оттѣснялась въ капиллярную трубку и измѣрялся ея объемъ. Чистота эманации контролировалась наружнымъ видомъ спектра, получавшагося посредствомъ вѣшнихъ электродовъ, приложенныхъ къ капиллярной трубкѣ.

Слѣды углекислага газа очень упорно видѣлись въ получавшемся спектрѣ. Для удаленія газовъ, содержащихъ углеродъ, было необходимо оставить эманацию, лишенную водорода, въ продолжительномъ соприкосновеніи съ ѣдкимъ кали, и устроить пустоту надъ сгущенной эманацией при температурѣ, промежуточной между температурою жидкаго воздуха и температурою сгущенія, чтобы возможно было вытянуть газы, сгущающіеся труднѣе эманации.

Опыты показали, что эманация подчиняется закону Бойля, какъ предсказалъ это Рамзай. Измѣненіе объема, начиная съ момента, когда эманация оттѣснена въ капиллярную трубку, не происходитъ точно однимъ и тѣмъ же манеромъ въ разныхъ опытахъ; иногда объемъ начинаетъ тотчасъ увеличиваться, въ другихъ случаяхъ происходитъ начальное сокращеніе и достигается minimum, за которымъ, вообще, слѣдуетъ увеличеніе. Рутерфордъ допустилъ, что minimum объема есть тотъ объемъ, который должно принять; этотъ minimum наступаетъ менѣе, чѣмъ черезъ день, отъ вышеуказаннаго момента.

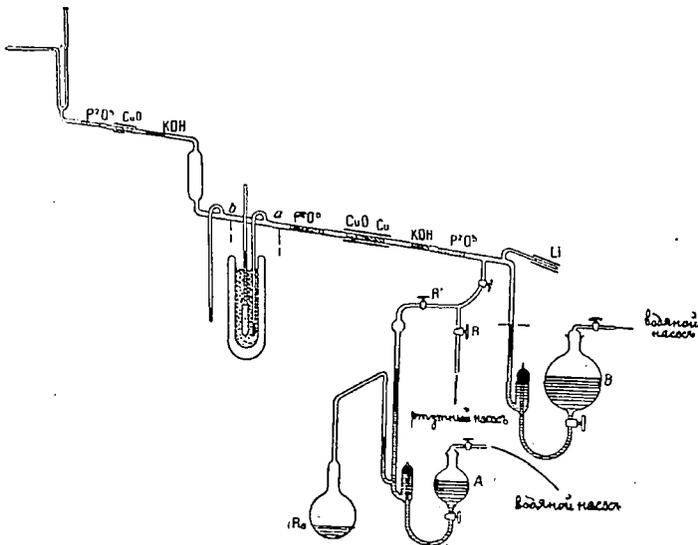
Чтобы отнести измѣренный объемъ къ опредѣленному количеству радія, сравнивали проникающее лученспусканіе трубки, содержащей эманацию въ равновѣсіи съ производившеюся ею индуктивною радиоактивностью, съ проникающимъ лученспусканіемъ пузырька, содержащаго извѣстное количество радія въ равновѣсіи съ эманацией и индуктивной радиоактивностью. Проникающее лученспусканіе, происходящее отъ индуктивной радиоактивности, даетъ мѣру соответственнаго количества радія, и такой способъ дѣйствія исключаетъ непостоянство, происходящее отъ операций, выполняемыхъ надъ газовой смѣсью. Рутерфордъ нашелъ такимъ образомъ для объема эманации, находящейся въ равновѣсіи съ 1^{pp} радія, около 0,6 куб. мм., среднюю изъ трехъ слѣдующихъ чиселъ, полученныхъ въ трехъ послѣдовательныхъ опытахъ и отнесенныхъ къ нормальному давленію:

0,59 куб. мм., 0,66 куб. мм., 0,58 куб. мм.

Рутерфордъ отмѣтилъ тотъ фактъ, что эманация радія поглощается весьма быстро стѣнками трубки, когда пропускаютъ въ газъ разрядъ для образованія спектра. По этой причинѣ объемъ эманации долженъ быть измѣренъ до прохожденія тока въ трубку.

Опытный методъ, которымъ пользовался Дебьернъ ⁽¹⁾, мало отличенъ отъ метода Рамзая и отъ метода Рутерфорда. Онъ состоитъ въ отдѣленіи эманации и гелія, содержащихся въ газовой смѣси, при поглощеніи прочихъ газовъ приспособленными реактивами. Дѣйствіемъ мѣди и окиси мѣди поглощается кислородъ; водородъ даетъ водяной паръ, а газы, содержащіе углеродъ, даютъ углекислоту; вода поглощается фосфорнымъ ангидридомъ, углекислый газъ — расплавленнымъ ѣдкимъ кали; наконецъ, азотъ поглощается слегка нагрѣтымъ литіемъ. Эманация отдѣляется отъ гелія сгущеніемъ посредствомъ жидкаго воздуха. Особое расположеніе употребляется для полученія дробнаго сгущенія и для наблюденія отдѣльно газовъ, сгущенныхъ при различныхъ температурахъ, и не сгущеннаго гелія. Послѣ очистки эманация и гелій не находятся болѣе ни на одинъ моментъ въ соприкосновеніи съ краномъ; дѣйствительно, смазочное масло крановъ подвергается въ присутствіи эманации превращеніямъ и порождаетъ газы, содержащіе углеродъ. Гелій собирается одновременно съ эманацией.

Употреблявшійся приборъ представленъ на *черт. 73*. Эманация



Черт. 73

(1) *Comptes rendus*, май 1909 г.

доставляется растворомъ, содержащимъ около $0^{pp},2$ радія. До опыта воздухъ совершенно удаляется изъ прибора; для этого устраивается въ немъ полная пустота съ нѣсколькихъ разъ. Затѣмъ предоставляютъ газамъ накопляться, при чемъ сообщеніе раствора съ остальною частью прибора преграждается ртутью. Когда количество газа достаточно, производятъ совершенную пустоту посредствомъ крана R . Потомъ закрываютъ краны R и R' и, вытягивая ртуть изъ резервуара A , устанавливаютъ сообщеніе между растворомъ и приборомъ. Тогда допускается порція газа въ трубку, служащую для поглощенія, поворачиваніемъ крана R' ; газъ распространяется въ поглощающихъ трубкахъ, нагрѣваемыхъ снаружи въ мѣстахъ, гдѣ находятся мѣдь, окисъ мѣди и литій. Когда поглощеніе закончено, вводятъ новую порцію газа, и такъ продолжаютъ до тѣхъ поръ, пока не будетъ использованъ весь газъ, которымъ можно располагать. Наконецъ, остаточный газъ оставляется на 24 часа въ соприкосновеніи съ поглощающими веществами. Послѣ этого пользуются ртутью, содержащеюся въ резервуарѣ B , для оттѣсненія газа въ трубку поглощенія и заставляютъ ртуть достигъ уровня a . Затѣмъ вызываютъ сгущеніе эманации въ боковой капиллярной трубкѣ, погружаемой въ сосудъ Dewar'a, окруженный жидкимъ воздухомъ и содержащій мѣдныя опилки. Температура измѣряется посредствомъ пентановаго термометра. Когда сгущеніе стало полнымъ, удаляютъ жидкій воздухъ и предоставляютъ температурѣ постепенно подыматься; по достиженіи ею опредѣленнаго значенія изолируютъ улетучившіеся газы, допуская ртуть подняться до уровня b . Пользуясь нѣсколькими боковыми капиллярными трубками, можно такимъ образомъ осуществить дробленіе газа, основанное на легкости сгущенія. Не сгущенный газъ (гелій) подвергается тогда снова дѣйствию поглощающихъ реактивовъ для удаленія слѣдовъ водорода и углекислаго газа, которые еще могли бы присутствовать. Потомъ этотъ газъ оттѣсняется въ конечную виллообразную трубку, гдѣ раздѣляется на двѣ равныя части, одна изъ которыхъ предназначается для измѣренія объема, а другая для спектральнаго изслѣдованія.

Различныя порціи газа заперты ртутью въ капиллярныхъ трубкахъ. Ихъ изолируютъ отъ прибора, запаивая эти трубки на лампѣ въ мѣстѣ, занятомъ ртутью. Затѣмъ отрѣзаютъ у трубокъ конецъ; устанавливается атмосферное давленіе, и такъ какъ дно трубокъ равнымъ образомъ занято ртутью, то газовые шарики оказываются запертыми между двумя струйками ртути подъ атмосфернымъ давленіемъ. Можно сдѣлать наблюденіе надъ объемомъ шарика, измѣряя его длину при помощи

дѣлительной машины, если извѣстно сѣченіе трубки. Если желательнo сдѣлать также наблюденіе надъ спектромъ, собираютъ эманацию въ виллообразную трубку, подобную той, которой оканчивается приборъ на чертежѣ, при чемъ одна изъ вилокъ образуетъ трубку съ электродами, а другая предназначена для вбирания газоваго шарика по только что указанному способу.

Порція газа, наиболѣе радиоактивная и содержащая наибольшую часть эманации, есть та, которая сгущается между -175° и -150° . Не сгущаемый газъ даетъ спектръ чистаго гелія. Объемъ эманации подвергается, вообще, довольно сильному начальному сокращенію; послѣ этого уменьшенія объемъ является очень опредѣленнымъ; объемъ, измѣренный при этихъ условіяхъ, былъ использованъ для вычисленія объема эманации, насыщаемой 1^{pp} радія. Для этого проникающее лученспусканіе газоваго шарика сравнивалось съ такимъ же лученспусканіемъ пузырька, содержащаго хорошо извѣстное количество совершенно чистаго хлористаго радія. Объемъ былъ очень пропорціоналенъ активности для шариковъ, изготовленныхъ при временахъ накопленія эманации, варьирующихся отъ трехъ дней до одного мѣсяца. Числа, полученные въ четырехъ опытахъ, были: 0,60 кб. мм., 0,52 кб. мм., 0,61 кб. мм., 0,59 кб. мм. Средняя 0,58 кб. мм. находится въ хорошемъ согласіи съ числомъ, указаннымъ Рутерфордомъ.

Спектръ эманации не отличался отъ спектра, полученнаго Рутерфордомъ и Ройдсомъ. Законъ убыванія чистой эманации подъ атмосфернымъ давленіемъ былъ изученъ для всѣхъ шариковъ, и не было констатировано различія съ закономъ, наблюдаемымъ для разжиженной эманации (¹). Такимъ образомъ, даже при такой сильной концентрации законъ разрушенія не измѣняется (*черт.* 48, XI).

Результаты, полученные Рутерфордомъ и Дебьерномъ посредствомъ различныхъ расположеній, находятся въ очень хорошемъ согласіи. Эти результаты были затѣмъ подтверждены Рамзаемъ и Грэмъ (²), которые, пользуясь $0^{pp},2$ радія, получили для объема эманации, насыщаемой 1^{pp} радія, значеніе 0,60 кб. мм., среднее изъ трехъ согласныхъ опытовъ. Опытное расположеніе было то же, что и прежде использованное Рамзаемъ, но въ него были внесены нѣкоторыя усовершен-

(¹) Однако не сгущенная эманация, смѣшанная съ геліемъ въ незначительномъ количествѣ, кажется, убывала немного медленнѣе (уменьшеніе на половину въ 4,1 дня приблизительно). Аналогичное наблюденіе было сдѣлано Рутерфордомъ.

(²) *Chem. Soc.*, 1909 г.

ствования для избѣжанія соприкосновенія эманации со смазочнымъ масломъ крановъ. Кромѣ того, принималась въ расчетъ эманация, увлекаемая вмѣстѣ съ водородомъ во время установленія пустоты надъ сгущенной эманацией; пропорція увлеченной эманации исчислялась по ея проникающему лученспусканію. Дѣлалась также поправка на несгущаемые газы (водородъ и гелій), которые не были удалены сполна, при чемъ эта поправка выводилась изъ наблюденія надъ давленіемъ для различныхъ объемовъ при сжиженіи эманации по частямъ. Наконецъ, измѣрившійся объемъ былъ объемъ, полученный послѣ начального сокращенія, а не начальный объемъ.

Рамзай и Грэй выразили мнѣніе, что начальное сокращеніе обязано прониканію несгущаемыхъ остаточныхъ газовъ (водорода и гелія) въ стекло подѣ дѣйствіемъ эманации.

Результаты разныхъ работъ приводятъ къ допущенію для объема эманации, насыщаемой граммомъ радія подѣ атмосфернымъ давленіемъ, значенія 0,6 куб. мм. Это число находится въ очень хорошемъ согласіи съ разными предсказаніями теоріи радиоактивныхъ превращеній.

§ 72. Сжиженіе эманации радія.—Въ опытахъ по измѣренію объема эманации можно наблюдать упругость послѣдней для различныхъ объемовъ. Можно также варьировать температуру, погружая капиллярную трубку, содержащую эманацию, въ охлаждающую ванну. При надлежащихъ давленіи и температурѣ можно было наблюдать сжиженіе эманации и измѣрить упругость насыщающаго пара. Опыты въ этомъ отношеніи были опубликованы Рутерфордомъ (1) и Рамзаемъ и Грэемъ (2). Сжиженіе эманации обнаруживается появленіемъ на днѣ капиллярной трубки блестящей фосфоресцирующей точки; эта точка исчезаетъ, какъ только уменьшаютъ давленіе. Употреблявшіяся капиллярныя трубки имѣютъ около 0^{мм},05 въ діаметрѣ; наблюденіе произведено въ микроскопѣ.

Вотъ значенія упругости p насыщающаго пара эманации при различныхъ температурахъ t :

<i>Рутерфордъ</i>		
p (въ сантиметрахъ)	t	Абсолютная температура
76	— 65°	203°
25	— 78	195
5	—101	172
0,9	—127	146

(1) Rutherford, *Phil. Mag.*, 1909 г.

(2) Ramsay и Gray, *Soc. chim. de Londres*, 1909 г.

Рамзай и Грэй

р (въ сантиметрахъ)	Абсолютная температура	р (въ сантиметрахъ)	Абсолютная температура
50	202°,6	2000	321°,7
80	212,4	2500	334,5
100	217,2	3000	346,0
200	234,5	3500	356,0
400	255,3	4000	364,4
500	262,8	4500	372,9
1000	290,3	4745	377,5 (крит.)
1500	307,6		

Опыты Рамзая и Грэя были произведены въ приборѣ по сжатію. Пропорція несгуцаемыхъ газовъ исчислялась по наблюденію упругости газовой смѣси при одной и той же температурѣ въ присутствіи различныхъ объемовъ жидкости. Затѣмъ дѣлалась поправка на упругость этихъ газовъ.

Температура кипѣнія эманации подѣ атмосфернымъ давленіемъ есть -65° по Рутерфорду, -62° по Рамзаю и Грэю. Критическая температура есть $104^{\circ},5$.

Жидкая эманация безцвѣтна и прозрачна на проходящемъ свѣтѣ; она является фосфоресцирующей, вѣроятно, вслѣдствіе возбужденія свѣченія стекла; оттѣнокъ фосфоресценціи зависитъ отъ природы стекла. Съ пониженіемъ температуры она твердѣетъ и перестаетъ пропускать свѣтъ; температура плавленія, измѣренная по пентановому термометру, есть около -71° . Твердая эманация свѣтится; испускаемый свѣтъ, очень яркій на холоду, переходитъ съ охлажденіемъ отъ сине-стального къ желтому и становится красно-оранжевымъ при температурѣ жидкаго воздуха. При отогрѣваніи оттѣнки слѣдуютъ въ обратномъ порядкѣ. Для давленій ниже $50^{\text{см}}$ ртутнаго столба эманация, по Рамзаю и Грэю, является въ твердомъ или газообразномъ состояніи.

По приближенному вычисленію плотность жидкой эманации была бы близка къ 5 при температурѣ кипѣнія подѣ атмосфернымъ давленіемъ.

Предыдущіе результаты навели на нѣкоторыя размышленія относительно атомнаго вѣса эманации. Рамзай и Грэй замѣтили, что, по разностямъ между атомными вѣсами, высшіе гомологи ксенона въ группѣ инертныхъ газовъ имѣли бы атомные вѣса 175, 219, 263. Если нанести въ ординатахъ атомные вѣса, а въ абсциссахъ, съ одной стороны, абсолютныя температуры кипѣнія, съ другой же стороны—абсолютныя критическія температуры для аргона, криптона и ксенона, то чрезъ полученныя точки можно провести окружности, и если бы точки,

относящихся къ эманации, находились бы также на этихъ кругахъ, то атомный ея вѣсъ былъ бы 176. Разсмотрѣніе критическихъ давленій приводитъ къ тому же результату. Однако экстраполированіе подобнаго рода необходимо вызываетъ сомнѣнія.

§ 73. Спектръ эманации радія.—Опыты по наблюденію спектра эманации были сдѣланы Рамзаемъ и Содди во время ихъ изслѣдованій надъ изолированіемъ эманации. Во время этихъ опытовъ неоднократно наблюдались яркія линіи, но, вообще, эти линіи не были устойчивыми. Въ опытахъ, произведенныхъ послѣ, Рамзай и Колли получили яркій спектръ, который они приписали эманации (1). Этотъ спектръ былъ неустойчивъ; однако возможно было предпринять измѣреніе длинъ волны главныхъ линій. По исчезаніи новаго спектра появлялся спектръ водорода; по прошествіи нѣсколькихъ дней можно было констатировать появленіе спектра гелія.

Рутерфордъ и Ройдсъ сфотографировали спектръ чистой эманации, полученной по вышеописанному методу (2). Эманация, предназначенная для наблюденія спектра, была сгущена охлажденіемъ въ трубкѣ объемомъ въ 50 куб. мм., снабженной платиновыми электродами. Эманация соответствовала $0^{7p},13$ радія, и ея упругость, исчисленная по занимаемому объему, была $1^{mm},1$ ртутнаго столба. Спектръ былъ очень яркъ, особенно въ зеленой и въ фіолетовой частяхъ; онъ исчезалъ съ погруженіемъ въ жидкій воздухъ трубки, прилаженной сбоку къ главной трубкѣ; слѣдовательно, этотъ спектръ принадлежалъ сгущаемому газу; его вновь вызывали, позволяя эманации улетучиваться. Присутствія водорода можно было избѣгать, если принималась предосторожность по устройству пустоты въ трубкѣ посредствомъ ея нагрѣванія до введенія эманации. Число наблюденныхъ линій около 100; ни одна изъ нихъ не существуетъ въ звѣздныхъ спектрахъ. Спектръ исчезаетъ при пропусканіи тока въ теченіи нѣкотораго времени; въ то же время уменьшается давленіе въ трубкѣ вслѣдствіе окклюзии эманации стеклянными стѣнками.

Ройдсъ также получилъ спектръ эманации радія посредствомъ вогнутой рѣшетки. Этотъ спектръ совершенно сходенъ со спектромъ, полученнымъ посредствомъ призмы, и распространяется дальше въ ультрафіолетовую часть.

(1) Ramsay и Collie, *Proc. Roy. Soc.*, 1904 г.

(2) Rutherford и Roysds, *Phil. Mag.*, 1908 г.—Roysds, *Phil. Mag.*, 1909 г.

Спектръ эманации радія

Интенсивность	Длина волны	
	Рутерфордъ и Ройдсъ	Рамзай и Колли
5	5721	5725
8	5589	
3	5393	
4	5084,5	
4	4979,0	4985
10	4861,3	
4	4817,2	
5	4721,5	
10	4681,1	4690
10	4644,7	4650
8	4625,8	4630
7	4609,9	
4	4604,7	
7	4578,7	
9	4509,0	
10	4460,0	
8	4435,7	
6	4391,8	
4	4372,1	
15	4350,3	
7	4340,9	
4	4225,8	
10	4203,7	
7	4188,2	
20	4166,6	
10	4114,9	
2	4102,2	
4	4045,4	
15	4018,0	
12	3982,0	
7	3957,7	
4	3917,5	
4	3888,9	
6	3867,6	
10	3753,6	
7	3739,9	
10	3664,6	
5	3622,2	

ГЛАВА СЕДЬМАЯ

Индуктивная радиоактивность

§ 74. Образование индуктивной радиоактивности. — Индуктивная радиоактивность есть активность, переданная первоначально неактивнымъ тѣламъ, помѣщеннымъ вблизи тѣлъ, обладающихъ свойствомъ испускать радиоактивную эманацию. Таковы радій, торій и актиній. Уранъ, полоній и другія вещества, не производящія эманаци, не допускаютъ образования индуктивной радиоактивности.

Открытие явленія индуктивной радиоактивности сравнительно старо (§ 53).

Вотъ каковы существенные признаки этого явленія, какъ они были установлены при первыхъ изслѣдованіяхъ (1):

1. Активность пластинки, подвергнутой воздействию (*exposée à l'action*) активизирующаго вещества, увеличивается вмѣстѣ съ временемъ экспозиціи, приближаясь къ нѣкоторому предѣлу по асимптотическому закону.

2. Активность пластинки, которая была активирована и затѣмъ освобождена отъ активизирующаго воздействия, постепенно исчезаетъ и стремится къ нулю по асимптотическому закону.

3. При всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ индуктивная радиоактивность на разныхъ пластинкахъ не зависитъ отъ природы пластинки. Стекло, бумага, металлы активизируются съ одною и тою же интенсивностью.

4. Индуктивная радиоактивность на одной и той же пластинкѣ имѣетъ предѣльное значеніе тѣмъ выше, чѣмъ больше активность активизирующаго вещества.

(1) P. Curie и M^{me} Curie, *Comptes rendus*, 1899 г.—Rutherford, *Phil. Mag.*, 1900 г.

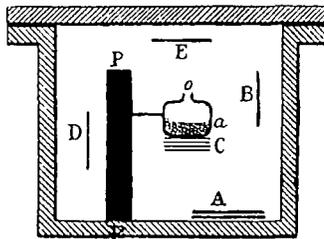
5. При всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ индуктивная радіоактивность, приобретаемая тѣломъ, вообще, увеличивается, когда это тѣло несетъ отрицательный электрическій зарядъ.

Такимъ образомъ индуктивная радіоактивность не зависитъ, при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ, отъ природы вещества, на которомъ она появляется; это вещество служитъ для нея въ нѣкоторомъ родѣ лишь подставкою. Можно также констатировать, что индуктивная радіоактивность, развитая на твердыхъ не пористыхъ поверхностяхъ, есть поверхностное явленіе; она можетъ быть удалена треніемъ вмѣстѣ съ слоемъ вещества очень незначительной толщины. Эти соображенія навели Рутерфорда на мысль предложить названіе *активного осадка* (*dépôt actif*) для активнаго агента, присутствующаго на активированной поверхности. Выраженіе *активный осадокъ* вызываетъ идею о матеріи. Впрочемъ, индуктивная радіоактивность представляется, дѣйствительно, какъ свойство, связанное съ матеріей, осѣвшей въ минимальномъ количествѣ на активированной поверхности.

Индуктивная радіоактивность состоитъ во всѣхъ случаяхъ въ испусканіи разнородныхъ лучей, допускающемъ за-разъ и поглощаемое, и проникающее излученіе.

§ 75. Индуктивная радіоактивность, происходящая отъ радія.— П. Кюри и Дебьернъ произвели рядъ опытовъ, которые точно опредѣлили способъ образованія индуктивной радіоактивности въ случаѣ радія (1).

Когда производятъ активированіе вещества вблизи радія на открытомъ воздухѣ, результаты получаются неправильные; явленіе, напротивъ, очень правильно, когда оперируютъ въ закрытомъ сосудѣ. Активную матерію держали въ небольшомъ стеклянномъ пузырькѣ *a*, открытомъ въ *o* (черт. 74), въ срединѣ закрытаго помѣщенія. Раз-



Черт. 74

(1) Curie и Debierne, *Comptes rendus*, мартъ 1901 г.

личные пластинки *A, B, C, D, E*, расположенные в помещении, становятся радиоактивными по прошествии одного дня экспозиции. Активность одна и та же, какова бы ни была природа пластинки, при равных размерах (свинец, медь, алюминий, стекло, эбонит, воск, картон, парафин). Активность лицевой стороны одной из пластинок тем больше, чем больше свободное пространство перед этой лицевой стороной.

Если повторить предыдущий опыт с совершенно закрытым пузырьком *a*, то никакой индуктивной активности не получится.

Лучеиспускание радия прямо не участвует в образовании индуктивной радиоактивности. Так, в предыдущем опыте пластинка *D*, защищенная от лучеиспускания толстым свинцовым экраном *PP*, активизируется в такой же степени, как *B* и *E*.

Радиоактивность передается через воздух постепенно от излучающей материи до тела, подлежащего активированию. Она даже может передаваться вдаль посредством очень узких капиллярных трубок.

Индуктивная радиоактивность сразу и интенсивнее, и правильнее, если замкнуть твердую активизирующую радиеносную соль ея водным раствором.

Некоторые вещества становятся свѣтящимися, когда их вводят в активизирующее помещение (фосфоресцирующие и флуоресцирующие тела, стекло, бумага, вата, вода, соляные растворы). Фосфоресцирующий сѣристый цинк особенно ярко при этих условиях. Радиоактивность этих свѣтящихся тел, однако, такая же, как и радиоактивность куска металла или иного тела, активизирующегося при тех же условиях, но не становящегося свѣтящимся.

Каково бы ни было вещество, активизируемое в закрытом сосудѣ, это вещество принимает активность, увеличивающуюся с течением времени, и кончает достижением предельнаго значения, всегда одного и того же, когда оперируют с одною и тою же активизирующею матеріею и при одномъ и томъ же расположеніи опыта.

Предельная индуктивная радиоактивность, наблюдаемая при надлежащемъ расположеніи опыта, не зависитъ отъ природы и давления газа, находящагося въ активизирующемъ помещеніи (воздухъ, водородъ, углекислота); она зависитъ только отъ количества находящагося тамъ радія въ растворенномъ состояніи и, кажется, пропорціональна ему.

Во время устройства пустоты въ закрытомъ помѣщеніи, содержащемъ твердую соль радія, помѣщеніе частично дезактивируется, и потомъ, послѣ разъединенія съ насосомъ, активированіе возобновляется очень медленно.

Когда активный газъ, содержащійся въ помѣщеніи, заключающѣмъ радій, переносится въ другое помѣщеніе, онъ сохраняетъ въ теченіи довольно долгаго времени свойство дѣлать радиоактивными твердыя тѣла, приведенныя съ нимъ въ соприкосновеніе. Активирующее свойство газа исчезаетъ въ функціи отъ времени по показательному закону; оно уменьшается на половину своего значенія въ теченіи періода, близкаго къ 4 днямъ.

Существенныя свойства явленія могутъ быть истолкованы при допущеніи, что индуктивная радиоактивность можетъ образовываться только въ присутствіи эманаци и что, при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ, ея интенсивность пропорціональна количеству эманаци, содержащемуся въ активирующѣмъ помѣщеніи.

П. Кюри и Дебернъ замѣтили, что индуктивная активность тѣлъ, расположенныхъ въ активирующѣмъ помѣщеніи, существенно зависитъ отъ свободнаго передъ ними пространства ⁽¹⁾. Если въ помѣщеніи располагаютъ рядъ мѣдныхъ пластинокъ параллельно между собою, но на разстояніяхъ одна отъ другой послѣдовательно все большіхъ и большіхъ, то констатируется, что, когда разстояніе между пластинками мало, напр. 1^{мм}, поверхности, обращенныя другъ къ другу, активируются слабо. Напротивъ, если разстояніе между пластинками велико, напр. 3^{см}, поверхности, обращенныя другъ къ другу, активируются сильно. Значить, способность активированія одна и та же въ разныхъ частяхъ помѣщенія, и этотъ фактъ связанъ съ распредѣленіемъ эманаци, но стѣпки активируются, въ первомъ приближеніи, пропорціонально величинѣ свободнаго передъ ними пространства.

Если активирующее помѣщеніе изъ стекла, оно освѣщается сполна, но не въ равной повсюду степени. Трубки одного и того же помѣщенія тѣмъ болѣе свѣтятся и тѣмъ болѣе радиоактивны, чѣмъ онѣ шире. Въ одномъ и томъ же помѣщеніи по достиженіи стационарнаго состоянія части одинаковой формы имѣютъ одну и ту же активность, находятся ли онѣ или нѣтъ въ непосредственной близости съ активирующимъ растворомъ.

(1) Curie и Debièrne, *Comptes rendus*, декабрь 1901 г.

Индуктивная радиоактивность, получаемая съ сравнительно значительнымъ количествомъ радія, можетъ достигъ весьма высокой интенсивности. Въ вышеописанныхъ опытахъ активность пластинокъ была, при равной поверхности, въ нѣсколько тысячъ разъ больше активности урана. Можно получить индуктивную радиоактивность гораздо еще большую.

§ 76. Законъ исчезанія индуктивной радиоактивности, происходящей отъ радія.—Когда пластинка, активированная въ присутствіи эманации радія, вынимается изъ активизирующаго помѣщенія, активность этой пластинки исчезаетъ почти сполна менѣе, чѣмъ въ одинъ день. Законъ, по которому измѣняется активность въ функціи отъ времени, зависитъ отъ времени, въ теченіи котораго пластинка пребывала въ активизирующемъ помѣщеніи, иначе говоря, отъ *времени экспозиціи*. Этотъ законъ зависитъ также отъ способа использования лучей, и онъ не одинъ и тотъ же, смотря по тому, пользуются ли всѣмъ лучеиспусканіемъ, или только лучеиспусканіемъ проникающимъ. Но во всѣхъ случаяхъ лучеиспусканіе сохраняетъ по прошествіи 3—4 часовъ лишь очень незначительную часть своего первоначальнаго значенія.

Если въ активизирующемъ помѣщеніи концентрація эманации остается неизмѣнною, активность пластинки, пребывающей въ помѣщеніи, растетъ вмѣстѣ съ временемъ экспозиціи. Однакожъ предѣлъ достигается менѣе, чѣмъ въ день, и тогда индуктивная активность пластинки остается неподвижною. Съ этого момента законъ измѣненія этой активности въ функціи отъ времени, по извлеченіи пластинки изъ помѣщенія, не зависитъ отъ времени экспозиціи между однимъ днемъ и множествомъ дней. Активированіе называется тогда *насыщеннымъ*, или же активированіемъ съ *долгой экспозиціей*.

I. Вотъ какъ измѣняется въ функціи отъ времени лучеиспусканіе пластинки, подвергнутой долгой экспозиціи:

1. Пользуются всѣмъ лучеиспусканіемъ J. Измѣненіе J въ функціи отъ времени t представлено кривою I на *черт. 75*. Интенсивность лучеиспусканія убываетъ сначала быстро и падаетъ почти на половину первоначальнаго значенія приблизительно въ 15 минутъ. Затѣмъ устанавливается болѣе медленный законъ убыванія. Этотъ законъ не простъ, но онъ асимптотически стремится къ простому показательному закону, съ которымъ можетъ считаться совпадающимъ для $t =$ отъ 3 до 4 часовъ. Интенсивность лучеиспусканія уменьшается тогда на половину въ періодъ, близкій къ 28 минутамъ.

Первое подробное изслѣдованіе закона дезактивированія было

сдѣлано П. Кюри и Данномъ (1). Эта работа привела къ только-что изложеннымъ эмпирическимъ результатамъ и дала, кромѣ того, возможность установить тотъ важный фактъ, что сложная по вышнему виду кривая можетъ быть представлена простою численною формулою, состоящею изъ разности двухъ показательныхъ функций. Въ теченіи пол-часа отъ начала дезактивированія законъ убыванія выражается формулою

$$J = J_0 \left[Ke^{-\lambda t} - (K-1)e^{-\lambda' t} \right],$$

гдѣ коэффициенты имѣютъ слѣдующія значенія :

$$\lambda' = 0,000538 \frac{1}{\text{сек.}},$$

$$\lambda = 0,000413 \frac{1}{\text{сек.}},$$

$$K = 4,2.$$

Вторая показательная функция по прошествіи нѣсколькихъ часовъ становится такою, что ея можно пренебречь по сравненію съ первой, и тогда законъ убыванія есть простой показательный, характеризуемый уменьшеніемъ на половину въ 28 минутъ.

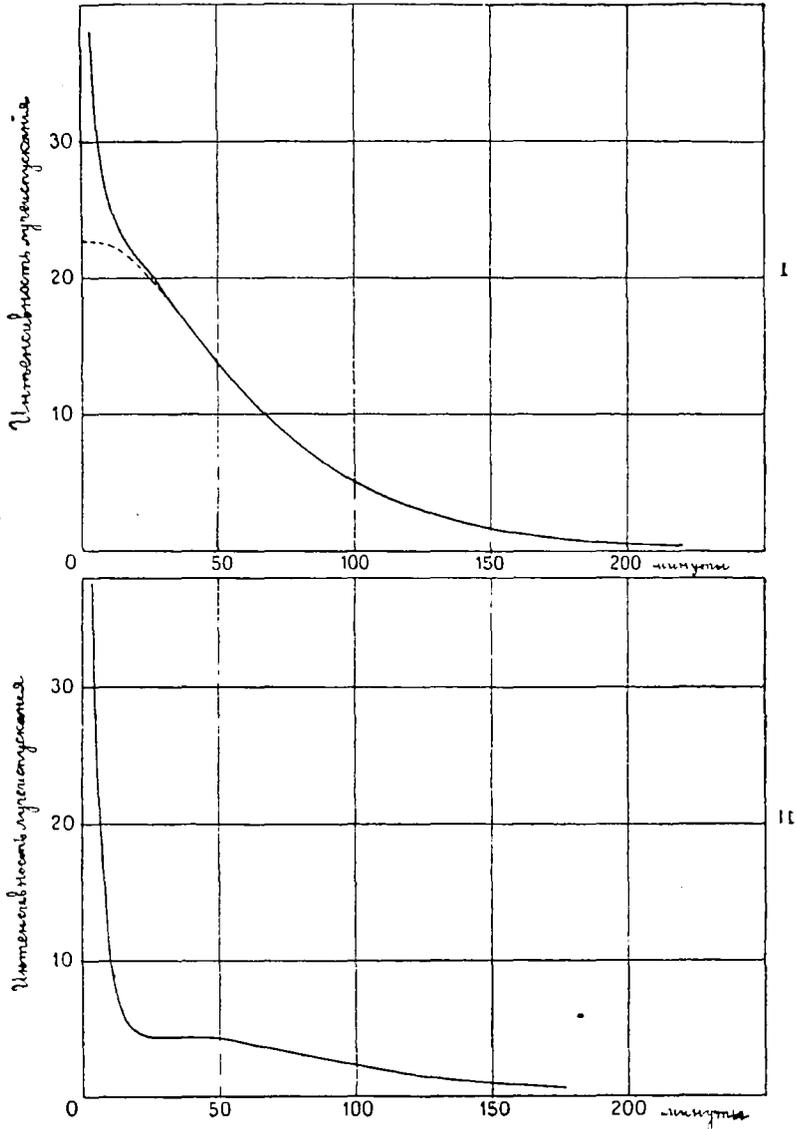
Въ предыдущей формулѣ J_0 не есть дѣйствительно наблюденная начальная интенсивность; это—начальная интенсивность, которая наблюдалась бы, если бы законъ, выраженный формулою, прилагался бы съ самаго вачала; иначе говоря, J_0 есть начальная интенсивность, полученная экстраполированіемъ формулы къ началу временъ. Экстраполированная такимъ образомъ кривая указана на чертежѣ прерывною линіею.

2. Если вмѣсто полного лучеиспусканія пользуются только лучами, которые прошли сквозь толщину алюминія въ $0^{\text{мм}},5$ или болѣе, т.-е. лучами β и γ , то находятъ, что интенсивность лучеиспусканія выражается приближенно съ *самаго начала дезактивированія* формулою Кюри и Данна, безъ начального быстрого пониженія, которое было отмѣчено въ томъ случаѣ, когда использованными лучами являются главнымъ образомъ лучи α .

Мы увидимъ далѣе, что формула Кюри и Данна не представляетъ строго закона дезактивированія. Коэффициенты обѣихъ показа-

(1) Curie и Danne, *Comptes rendus*, 1903 г.

тельныхъ функций были слегка измѣнены, а коэффициентъ K можетъ зависѣть въ нѣкоторой мѣрѣ отъ условий опыта. Однако эта формула



Черт. 75

дастъ хорошее первое приближеніе для представленія кривой. Къ тому же она послужила образцомъ для математическаго анализа другихъ ана-

логичныхъ кривыхъ, встрѣчающихся въ радиоактивности. Способъ анализа будетъ подробно изложенъ въ § 170.

II. Совокупность кривыхъ, полученныхъ для временъ экспозиціи, варьирующихся отъ нѣсколькихъ секундъ до 24 часовъ, была предметомъ изслѣдованій, выполненныхъ съ одной стороны П. Кюри и Данномъ ⁽¹⁾, съ другой стороны миссъ Бруксъ ⁽²⁾; П. Кюри и Даннъ показали, что *во всякъ случаѣ законъ дезактивированія становится въ концѣ концовъ по прошествіи нѣсколькихъ часовъ однимъ и тѣмъ же показательнымъ закономъ, характеризуемымъ пониженіемъ на половину приблизительно въ 28 минутъ*. Кривыя, представляющія интенсивность полного лучеиспусканія въ функціи отъ времени для различныхъ временъ экспозиціи, нанесены на *черт. 76*. Кривыя *чертежа 77* представляютъ логарифмъ интенсивности этого же лучеиспусканія въ функціи отъ времени; согласно съ вышезложенными эмпирическими результатами каждая кривая стремится къ прямой, и всѣ эти предѣльныя прямыя параллельны между собою. Кривыя, полученные при использованіи только лучей β и γ , нанесены на *черт. 78*; онѣ представляютъ интенсивность проникающаго лучеиспусканія въ функціи отъ времени для различныхъ временъ экспозиціи.

1. Разсмотримъ въ частности кривую, относящуюся къ очень краткому времени экспозиціи (около 1 минуты) и къ полному лучеиспусканію (*черт. 75, II*). Въ теченіи первыхъ 10 минутъ по извлеченіи пластинки изъ активизирующаго помѣщенія активность быстро убываетъ и дѣлается почти въ 8 разъ слабѣе. Дезактивированіе, однако, слабѣе, и по прошествіи 15 минутъ активность принимаетъ неподвижное значеніе, которое держится приблизительно 20 минутъ. Послѣ этого убываніе возобновляется снова и стремится къ заключительному характерному показательному закону.

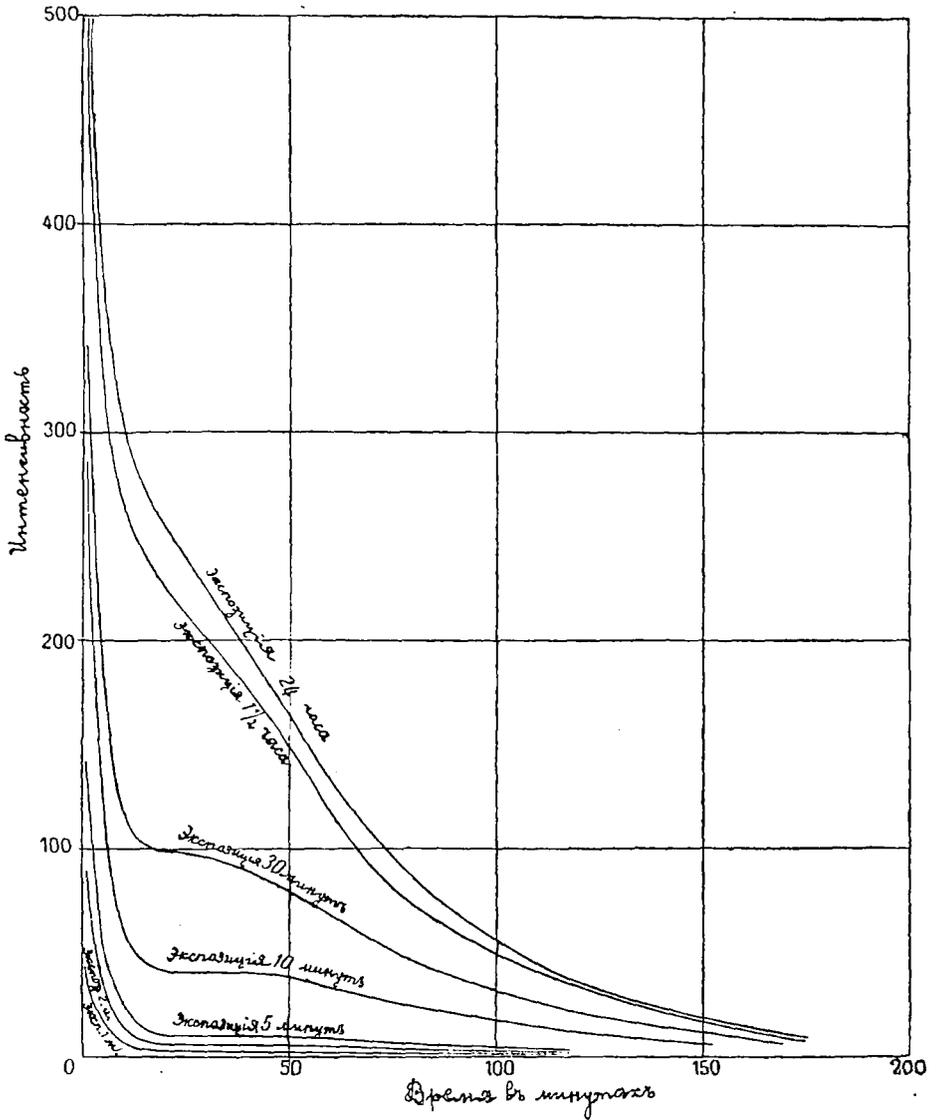
Кривыя, соотвѣтствующія временамъ активированія, содержащимся между 1 минутою и 24 часами, имѣютъ промежуточные формы между этими двумя крайними типами. По мѣрѣ возрастанія времени экспозиціи начальное пониженіе сильно уменьшается; одновременно горизонтальная часть постоянной интенсивности становится короче и исчезаетъ.

2. Кривая, относящаяся къ очень краткому времени экспозиціи и къ проникающему лучеиспусканію β и γ (*черт. 78*), существенно отлична въ своемъ началѣ отъ кривой, полученной для такого же

⁽¹⁾ Curie и Danne, *Comptes rendus*, 1903 г.

⁽²⁾ Miss Brooks Rutherford, *Radioactivity*.

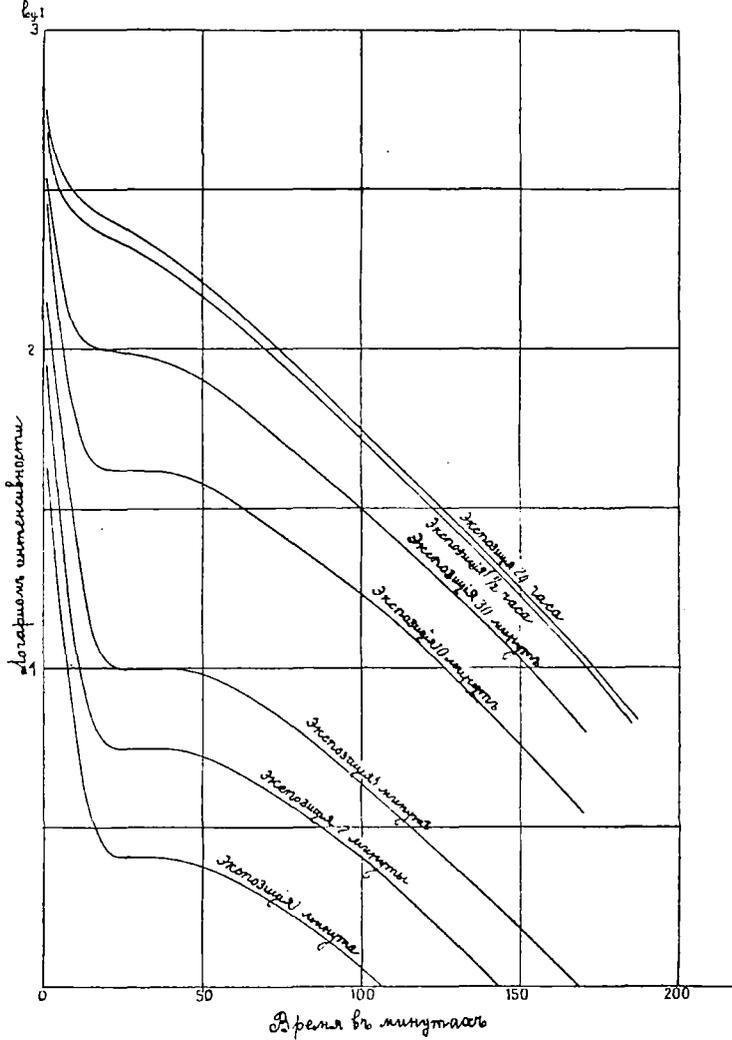
времени экспозиции при использовании всего лученускашя. Въ ней не только не наблюдается столь значительнаго начальнаго пониженя,



Черт. 76

но, напротивъ, лученускашя, очень слабое въ началѣ, начинаетъ расти и увеличивается до $t = 35$ минутамъ приблизительно; тогда на-

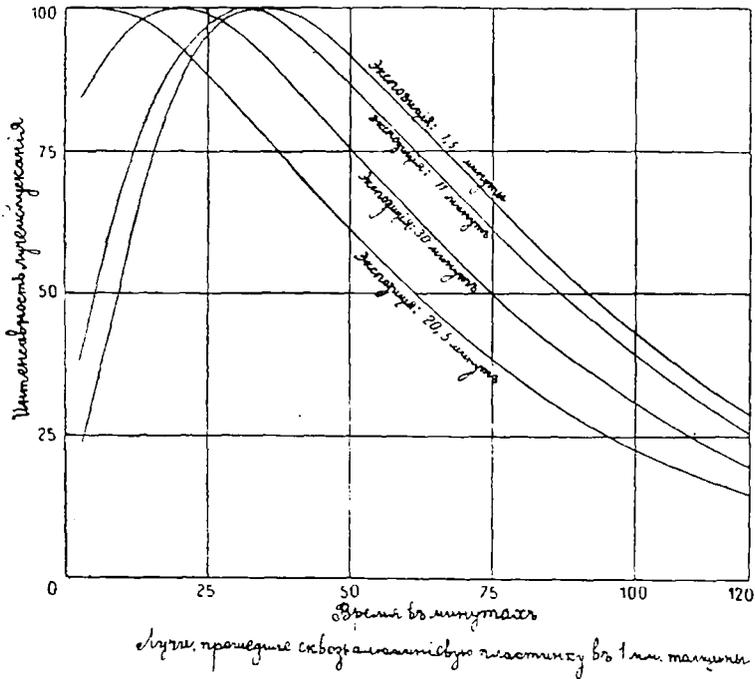
ступаетъ максимумъ, послѣ котораго устанавливается постепенное убываніе по закону, стремящемуся къ заключительному показательному закону.



Черт. 77

При увеличеніи времени эксплозиціи кривая постепенно деформируется. Начальная интенсивность уже болѣе не нулевая, и ея отношеніе къ максимуму интенсивности идетъ, увеличиваясь; кромѣ того, время, соответствующее максимуму, отодвигается къ началу. Для

времени экспозиции въ 24 часа максимум оказывается въ самомъ началѣ.



Черт. 78

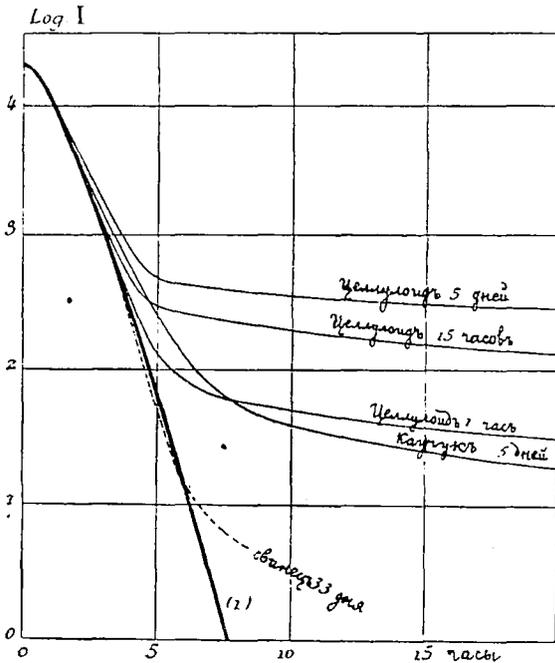
Мы видимъ, что эволюція индуктивной активности по наружнымъ признакамъ очень сложное явленіе. Однако экспериментальное изученіе явленія показало, что всѣ результаты могутъ быть представлены численно линейными комбинаціями трехъ различныхъ показательныхъ функций (Глава XIII). Теорія радиоактивныхъ превращеній даетъ отчетъ въ этомъ фактѣ, допуская, что активный осадокъ радія состоитъ изъ трехъ различныхъ радиоактивныхъ веществъ, каждое изъ которыхъ разрушается по характерному показательному закону. Первое изъ этихъ веществъ называется *радіемъ А*; оно образуется непосредственно эманацией и разрушается весьма быстро, образуя второе вещество, *радій В*; это послѣднее разрушается въ свою очередь, порождая *радій С*. Скорости разрушенія радія В и радія С мало различаются. Каждое изъ веществъ имѣетъ свое собственное лучеспусканіе; относительная интенсивность этихъ лучеспусканій измѣняется съ про-

порцію веществъ и съ природою употребляемыхъ экрановъ, и ихъ наслоенія достаточно для уясненія всѣхъ описанныхъ явленій.

Въ частности, быстрое начальное пониженіе полного лученспусканія обязано разрушенію радія А; это пониженіе упраздняется употребленіемъ экрана толщины свыше $0^{\text{мм}},1$, потому что радій А не испускаетъ проникающихъ лучей.

Притомъ полезно замѣтить, что видъ полученныхъ кривыхъ зависитъ въ нѣкоторой мѣрѣ отъ употребленнаго расположенія опыта, потому что отъ этого расположенія зависитъ способъ использованія разныхъ частей лученспусканія для іонизированія газа.

Предыдущія соображенія прилагаются къ веществамъ, не поглощающимъ эманации въ замѣтной степени (мѣдь, стекло, и проч.). *Чертежъ 79* представляетъ кривыя, полученные П. Кюри и Данномъ съ



Черт. 79

различными временами экспозиции, для дезактивированія такихъ веществъ, какъ целлулоидъ или каучукъ, которые пропитываются эманацией и выдѣляютъ ее только постепенно; скорость дезактивированія въ этомъ случаѣ ослабляется; мы видимъ, что это явленіе уже очень замѣтно со

свинцомъ. Нормальная кривая дезактивирования по насыщеніи активированія изображена на чертежѣ жирной линіей.

Можно констатировать, что всѣ вещества, кривая дезактивирования которыхъ удаляется отъ нормальной кривой, какъ указано это на чертежѣ, способны выдѣлять эманацию и активируютъ вблизи себя тѣла. Тотъ же эффектъ въ очень слабой степени можно наблюдать съ металлами или стекломъ, выдѣляющими мало эманации въ теченіи часа или двухъ по извлеченіи ихъ изъ активирующаго помѣщенія. Пористыя тѣла поглощаютъ эманацию съ особенною легкостью. Мы видѣли, что уголь, морская пѣнка, платиновая чернь очень активны съ этой точки зрѣнія.

Всячески констатируется, что въ случаѣ радія законъ исчезанія индуктивной радиоактивности гораздо быстрѣе закона исчезанія эманации. Когда внезапно изгоняется эманация радія изъ сосуда, въ которомъ она пребывала не менѣе дня, законъ убыванія лучеиспусканія оказывается измѣненнымъ и происходитъ, начиная съ этого момента, по одной изъ кривыхъ, свойственныхъ исчезанію насыщеннаго активированія, смотря по тому, пользуются ли всѣмъ лучеиспусканіемъ, или только проникающимъ.

Когда эманация внезапно допускается въ пріемникъ, индуктивная радиоактивность начинаетъ тотчасъ водворяться на стѣнкахъ сосуда и на всякой твердой пластинкѣ, которая будетъ помѣщена въ сосудѣ. П. Кюри и Данвъ нашли, что если обозначить черезъ J_1 предѣльное значеніе активности J , приобретаемое пластинкою, разность $J_1 - J$ измѣняется въ функціи отъ времени по тому же закону, который характеризуетъ дезактивированіе пластинки по насыщеніи активированія. Такимъ образомъ, активируется или дезактивируется пластинка, лучеиспусканіе стремится къ своему предѣльному значенію по одному и тому же закону. Кривая активированія и кривая дезактивированія послѣ долгой экспозиціи являются дополнительными, если измѣренія произведены при одинаковыхъ условіяхъ.

На *черт.* 45 кривая II изображаетъ приращеніе полного лучеиспусканія въ пріемникѣ по введеніи эманации (внутренніе электроды); эта кривая дополнительна къ кривой убыванія полного лучеиспусканія для этого же пріемника, когда эманация была удалена послѣ своего пребывания въ теченіи около 24 часовъ (*черт.* 75, I). Точно такъ же кривая приращенія проникающаго лучеиспусканія (*черт.* 45, I) дополнительна къ кривой исчезанія этого же лучеиспусканія (*черт.* 75, I, кривая, продолженная прерывною линіей, и *черт.* 78, экспозиція 20,5 часовъ).

Если считать, что нѣкоторое количество эманации исчезаетъ

за то время, какъ образовывается нѣкоторое количество индуктивной радиоактивности, то фактъ увеличенія лучеспусканія въ сосудѣ, въ который только-что была введена эманация, доказываетъ, что количество индуктивной радиоактивности, образование которой сопровождается разрушеніемъ нѣкотораго количества эманации, порождаетъ гораздо болѣе значительное лучеспусканіе, чѣмъ лучеспусканіе соответственной эманации.

§ 77. Индуктивная радиоактивность съ медленной эволюціей.—Индуктивная радиоактивность, происходящая отъ радія, представляетъ явленіе по величинѣ такого порядка, что его легко наблюдать. Когда эта индуктивная радиоактивность исчезаетъ на активированномъ тѣлѣ, послѣднее не сохраняетъ, вообще, никакой оцутительной активности. Однакожъ здѣсь идетъ рѣчь только о порядкѣ величины, и всякое активированное тѣло сохраняетъ въ дѣйствительности, по исчезаніи индуктивной радиоактивности съ быстрой эволюціей, остатокъ активности, чаще всего слишкомъ слабый, чтобы его можно было наблюдать.

Дѣйствительно, мы, П. Кюри и я, наблюдали, что всякое тѣло, остающееся долгое время (напр., мѣсяць) въ соприкосновеніи съ очень концентрированной эманацией радія, приобретаетъ индуктивную радиоактивность, оставляющую значительный остатокъ, послѣ того какъ тѣло подвергалось дезактивированію въ теченіи дня (¹). Въ этихъ опытахъ законъ убыванія съ начала дезактивированія былъ, какъ въ большинствѣ случаевъ, но послѣ паденія активности до нѣкоторой дроби ея первоначальнаго значенія, напр., до $\frac{1}{20000}$, эта активность болѣе не уменьшалась, но эволюционировала съ чрезвычайною медленностью, и иногда даже шла, увеличиваясь. Пластинки изъ мѣди, алюминія, стекла сохраняли такимъ образомъ остаточную активность въ теченіи шести мѣсяцевъ. Въ важной работѣ по этой индуктивной радиоактивности съ медленной эволюціей Рутерфордъ показалъ, что она увеличивается на протяженіи годовъ (§ 185).

Пользуясь очень концентрированной эманацией, легко получить значительную остаточную активность, при условіи оставить эманацию въ продолжительномъ соприкосновеніи съ тѣломъ, подлежащимъ активированію. Можно, напр., получить активность въ 20—100 разъ болѣешую активности урана, при равной поверхности.

§ 78. Индуктивная активность, происходящая отъ торія.—Когда соединеніе торія помѣщаютъ въ закрытый сосудъ, содержащій воздухъ

(¹) M^m C u r i e, *Thèse de doctorat*, Paris, 1908 г.

подъ атмосфернымъ давленіемъ, распредѣленіе эманациі въ этомъ сосудѣ не можетъ стать равномернымъ, какъ въ случаѣ радіеносной соли. Индуктивная активность, при равномъ времени экспозиціи, всегда тѣмъ сильнѣе, чѣмъ ближе находимся къ активному соединенію. Интенсивное активированіе можно получить, употребляя отрицательно заряженный и пропущенный въ сосудъ электродъ, на которомъ по преимуществу концентрируется активный осадокъ. Можно такимъ образомъ получить активированную проволоку, активность которой при равной поверхности въ 10000 разъ больше активности окиси торія.

Образованіе индуктивной активности связано съ присутствіемъ эманациі. Индуктивная активность получается на пластинкѣ, помѣщенной надъ слоемъ окиси торія, покрытымъ достаточно толстою бумагой для задержанія лучей α , т.-е. главной части іонизирующаго лучеспусканія, но достаточно пропущаемою для эманациі. Напротивъ, активированія не обнаруживается снаружи непроницаемаго ящика, въ которомъ находится окись торія и одна изъ стѣнокъ котораго образована небольшою пластинкою тонкой слюды, пропускающей лучи α и, слѣдовательно, также лучи β и γ . Интенсивность индуктивной радиоактивности можно считать пропорціональною количеству наличной эманациі. Такъ, прокаленная окись торія производитъ очень мало индуктивной активности по сравненію съ непрокаленною окисью. Можно пропустить медленный токъ воздуха, заряженный эманацией торія, по длинной металлической трубкѣ, содержащей изолированныя электроды, сходные между собою и расположенные на равныхъ разстояніяхъ другъ отъ друга, какъ въ опытѣ, послужившемъ для измѣренія убыванія эманациі (*черт.* 43). По наступленіи стаціонарнаго состоянія, что происходитъ довольно быстро, измѣряютъ іонизаціонный токъ, который можно получить между каждымъ изъ электродовъ и трубкою. Этотъ токъ измѣряетъ концентрацію эманациі вблизи каждаго электрода, такъ какъ индуктивная радиоактивность требуетъ довольно долгаго времени для своего развитія. По прошествіи нѣсколькихъ часовъ удаляютъ электроды и измѣряютъ ихъ активность; для каждаго электрода она приблизительно пропорціональна концентраціи эманациі, сохранявшейся передъ этимъ электродомъ (¹).

Индуктивная активность, происходящая отъ торія, растетъ вмѣстѣ съ временемъ экспозиціи и стремится къ предѣльному значенію, котораго достигаетъ только по истеченіи четырехъ дней приблизительно; активированіе называется тогда *насыщеннымъ*. Если активированное тѣло

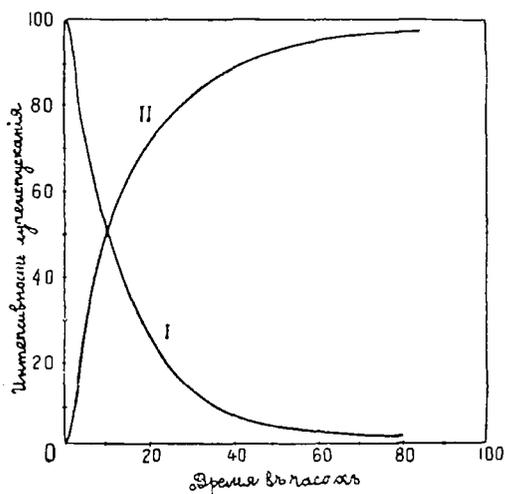
(¹) Rutherford, *Radioactivity*.

освободить затѣмъ отъ дѣйствія эманаци, его активность убываетъ въ функціи отъ времени. Законъ убыванія былъ изученъ Рутерфордомъ⁽¹⁾. Онъ представленъ кривою I на *черт. 80*, при чемъ время t , отсчитываемое отъ начала дезактивирования, нанесено въ абсциссахъ, а интенсивность лученспусканія J въ ординатахъ. Кривая въ своемъ цѣломъ соотвѣтствуетъ простому показательному закону по формулѣ

$$J = J_0 e^{-\lambda t},$$

гдѣ J_0 есть начальная интенсивность лученспусканія. Значеніе коэффиціента показательной функціи есть $\lambda = 1,8 \cdot 10^{-5} \frac{1}{\text{сек.}}$. Это значеніе таково, что интенсивность лученспусканія убываетъ на половину приблизительно въ 11 часовъ.

Въ теченіи нѣсколькихъ первыхъ часовъ законъ дезактивирования медленнѣе закона, указываемаго вышенаписанною формулою.



Черт. 80

Когда тѣло, подлежащее активированію, помѣщено въ присутствіи эманаци торія, концентрація которой поддерживается постоянною, активированіе I , приобретаемое тѣломъ, можетъ быть представлено въ функціи отъ времени t простымъ закономъ

$$I = I_{\infty} (1 - e^{-\lambda t}),$$

(1) Rutherford, *Radioactivity*.

гдѣ λ — тотъ же коэффициентъ, что и въ предыдущей формулѣ, а I_{∞} — предѣльное значеніе индуктивной активности. Въ частности, дѣлая

$$I_{\infty} = J_0,$$

видимъ, что кривыя активированія и дезактивированія по насыщеніи активированія (*черт.* 80, II и I) дополнительны, и, слѣдовательно, имѣемъ:

$$J + I = J_0.$$

Въ теченіи первыхъ часовъ активированіе происходитъ, притомъ, медленно, чѣмъ указываетъ это формула, такъ что кривыя I и II остаются дополнительными также и въ этой начальной области.

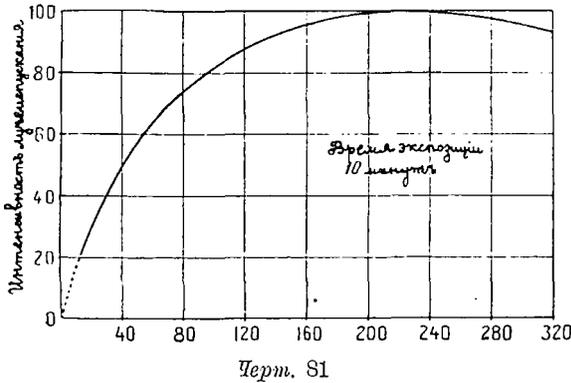
Если вмѣсто полного лученспусканія пользуются только проникающими лучами, получаемыя кривыя не измѣняются замѣтнымъ образомъ. Слѣдующія таблицы даютъ значенія интенсивности лученспусканія въ функции отъ времени для активированія и для дезактивированія по насыщеніи активированія:

Активированіе		Дезактивированіе	
Время въ часахъ	Активность	Время въ часахъ	Активность
1,58	6,3	0	100
3,25	10,5	7,9	64
5,83	29	11,8	47,4
9,83	40	23,4	19,6
14,00	59	29,2	13,8
23,41	77	32,6	10,3
29,83	83	49,2	3,7
47,00	90	62,1	1,86
72,50	95	71,4	0,86
96,00	100		

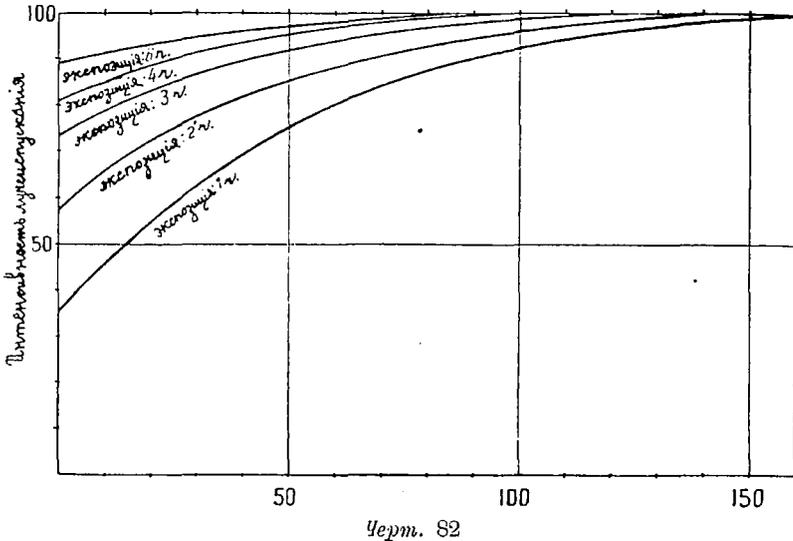
Когда пластинка активирована въ теченіи короткаго времени въ присутствіи эманацин торія, законъ измѣненія индуктивной радиоактивности вмѣстѣ съ временемъ для этой пластинки не тотъ же, что послѣ долгой экспозиціи. Активность въ этомъ случаѣ начинается съ возрастанія, проходитъ черезъ maximum и затѣмъ убываетъ по закону, стремящемуся къ простому характерному показательному закону убыванія послѣ долгой экспозиціи. Это вліяніе времени экспозиціи было съ очевидностью доказано Рутерфордомъ (¹). Послѣ экспозиціи, напр., въ 41 мя-

(¹) Rutherford, *Phil. Mag.*, 1903 г.

пугу активность достигает за 3 часа максимум'a значения, который въ три раза больше начального, и затѣмъ убываетъ по обычному закону уменьшенія на половину приблизительно въ 11 часовъ. Эволюціонныя кривыя индуктивной радиоактивности торія въ функціи



отъ времени для различныхъ временъ экспозиціи были построены миссъ Бруксъ (1). Эти кривыя представлены на *чертежахъ* 81 и 82.



Послѣ экспозиціи въ 10 минутъ въ воздухѣ, содержащемъ эманацию, но лишенномъ пылинокъ, индуктивная активность достигаетъ

(1) Miss Brooks, *Phil. Mag.*, 1904 г.

за 3 часа 7 минутъ значенія, которое въ пять разъ больше начальнаго, и затѣмъ убываетъ по нормальному закону.

Съ увеличеніемъ времени экспозиціи maximumъ перемѣщается къ началу; одновременно отношеніе начальной активности къ maximum'у активности идетъ, возрастая, и стремится къ единицѣ. Можно предположить, что для очень короткаго времени экспозиціи начальная активность была бы замѣтно нулевой. Во всѣхъ случаяхъ получаются кривыя одного и того же вида, измѣряется ли полная активность, или же активность, зависящая отъ проникающихъ лучей.

Во время своей работы надъ индуктивной радиоактивностью торія миссъ Бруксъ замѣтила, что присутствіе пылинокъ въ воздухѣ активизирующаго помѣщенія можетъ вліять на получаемые результаты. Интенсивность активизированія, полученнаго для времени экспозиціи въ 5 минутъ, зависитъ въ этомъ случаѣ отъ времени, въ теченіи котораго воздухъ помѣщенія оставался въ соприкосновеніи съ эманацией, и растетъ вмѣстѣ съ этимъ временемъ до maximum'a, достигаемаго за 18 часовъ. Активизированіе, полученное при этихъ условіяхъ, въ 20 разъ больше активизированія, которое получили бы со свѣже введеннымъ воздухомъ; кромѣ того, оно не подвергается сильному увеличенію во время первыхъ часовъ, слѣдующихъ за концомъ экспозиціи, какъ это нормально происходитъ для экспозиціи въ 5 минутъ съ воздухомъ, лишенномъ пылинокъ. Можно думать, что частицы пыли, содержащіяся въ воздухѣ, могутъ пріобрѣтать, какъ всякое твердое вещество, индуктивную радиоактивность и что эта послѣдняя эволюционируетъ на этихъ частицахъ по обычнымъ законамъ. Если затѣмъ ввести въ активизирующее помѣщеніе отрицательно заряженный электродъ, какъ это обыкновенно дѣлаютъ, когда хотятъ получить индуктивную радиоактивность торія, то этотъ электродъ соберетъ также всѣ пылинки, активизированіе которыхъ можетъ соответствовать гораздо болѣе долгому времени экспозиціи, чѣмъ время, использованное для самого электрода. Впрочемъ, радиоактивныя пылинки могутъ также быть увлечены къ положительному электроду, который такимъ образомъ можетъ пріобрѣсти значительное активизированіе.

Законъ окончательнаго убыванія индуктивной активности торія былъ изученъ во многихъ работахъ; убываніе на половину происходитъ въ періодъ, близкій къ 10 часамъ 36 минутамъ.

§ 79. Индуктивная радиоактивность, происходящая отъ актинія.— Индуктивная активность, образуемая въ присутствіи соединеній актинія, ограничивается въ воздухѣ подъ обыкновеннымъ давленіемъ

разстояніемъ въ нѣсколько сантиметровъ отъ активнаго вещества; на большемъ разстояніи она можетъ получаться при оперированіи лишь подъ уменьшеннымъ давленіемъ. Этотъ фактъ объясняется весьма быстрымъ исчезаніемъ эманациі активія, которая, диффундируя въ воздухъ, не можетъ распространиться на большое разстояніе отъ активнаго вещества. Чаще всего активированіе получается пропусканіемъ надъ активіемъ тока воздуха, увлекающаго эманацию и приводящаго ее въ соприкосновеніе съ тѣломъ, подлежащимъ активированію. Опыты Дебьерна по измѣренію постоянной для эманациі активія показали, что, за исключеніемъ очень малаго разстоянія отъ активія, индуктивная радиоактивность на твердомъ тѣлѣ пропорціональна, при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ, концентраціи эманациі въ соприкосновеніи съ этимъ твердымъ тѣломъ. Такимъ образомъ эманацию можно считать, какъ въ случаяхъ радія и торія, прямою причиною индуктивной радиоактивности.

Твердое тѣло, находящееся въ соприкосновеніи съ эманацией активія при неизмѣнной концентраціи, принимаетъ индуктивную активность, увеличивающуюся вмѣстѣ съ временемъ до предѣльнаго значенія, достигаемаго въ нѣсколько часовъ. Если затѣмъ активированное тѣло освобождается отъ дѣйствія эманациі, его активность исчезаетъ сполна также въ нѣсколько часовъ. Законъ эволюціи индуктивной активности, съ момента прекращенія соприкосновенія съ эманацией, зависитъ отъ времени экспозиціи; но, каково бы ни было это время, результаты, получаемые съ полнымъ лучеспусканіемъ, замѣтно тѣ же самые, что и результаты, получаемые только съ проникающими лучами.

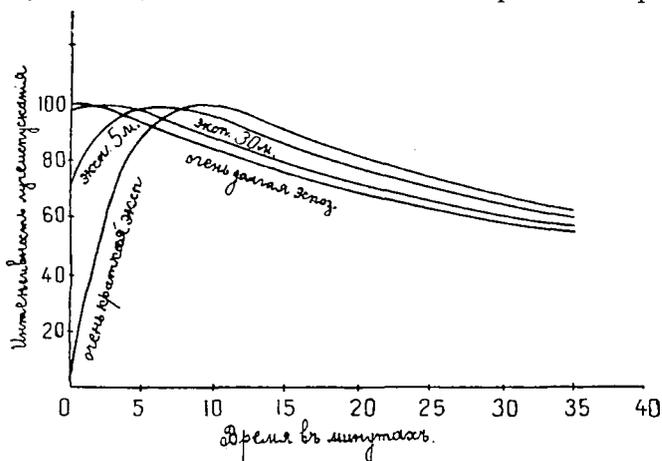
Можно также замѣтить, что, каково бы ни было время экспозиціи, законъ измѣненія индуктивной радиоактивности становится одинъ и тотъ же, спустя 15 минутъ по окончаніи экспозиціи. Этотъ предѣльный законъ былъ изученъ Дебьерномъ и затѣмъ многочисленными наблюдателями. Это—простой показательный законъ вида

$$J = J_0 e^{-\lambda t},$$

гдѣ J_0 есть интенсивность тотчасъ же при началѣ измѣреній, принятомъ за начало времени, а J —интенсивность во время t . Показательный законъ можно характеризовать либо коэффициентомъ λ , либо періодомъ времени T , необходимымъ для уменьшенія интенсивности на половину ея значенія; это время близко къ 36 минутамъ.

Эволюціонный законъ индуктивной радіоактивности активія измѣняется съ измѣненіемъ времени экспозиціи отъ 1 минуты до нѣсколькихъ часовъ ⁽¹⁾. Вліяніе времени экспозиціи особенно чувствительно въ первыя 10 минутъ по окончаніи экспозиціи. Для очень долгаго времени экспозиціи интенсивность убываетъ сначала медленно, чѣмъ слѣдуетъ по предѣльному закону. Для очень короткаго времени экспозиціи (менѣе одной минуты) интенсивность, сначала очень слабая, быстро увеличивается, проходитъ черезъ максимумъ, достигаемый приблизительно въ 9 минутъ, и затѣмъ убываетъ по характерному предѣльному закону. Кривыя, соотвѣтствующія промежуточнымъ временамъ экспозиціи, представляютъ промежуточныя формы; когда время экспозиціи растетъ, отношеніе начальной интенсивности къ максимуму интенсивности идетъ, увеличиваясь, и максимумъ приближается къ началу времени (*черт.* 83).

Точное изученіе кривой, относящейся къ очень краткому времени экспозиціи, было сдѣлано Bronson'омъ. Эта кривая изображена на



Черт. 83

черт. 83. Предѣльный законъ убыванія соотвѣтствуетъ

$$T = 35,7 \text{ минутамъ.}$$

§ 80. Зависимость между индуктивными радіоактивностями и эманациями. — Мы видѣли, что во всѣхъ случаяхъ существуетъ тѣсная зависимость между эманацией и соотвѣтственной индуктивной радіоактивностью. Радіоактивныя тѣла, не выдѣляющія эманации (полоній,

⁽¹⁾ Miss Brooks, *Phil. Mag.*, 1904 г.

уранъ), не производятъ индуктивной радиоактивности. Индуктивная радиоактивность образуется въ присутствіи эманациі, даже когда послѣдняя отдѣлена отъ порождающаго ее тѣла, и можно допустить, что интенсивность индуктивной радиоактивности пропорціональна, при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ, количеству наличной эманациі. Такимъ образомъ приходимъ къ допущенію, что индуктивная радиоактивность производится непосредственно эманацией, какъ сама эманация производится радиоактивнымъ тѣломъ.

Итакъ мы видѣли, что результатамъ, полученнымъ при изученіи радиоактивныхъ эманаций, простое объясненіе даетъ гипотеза, по которой радиоактивное тѣло (радій, торій, актиній) служитъ источникомъ непрерывнаго и постояннаго образованія эманациі, обладающей свойствомъ разрушаться по характерному и неизмѣнному закону. Такимъ образомъ устанавливается равновѣсіе стаціонарнаго состоянія между образованіемъ и разрушеніемъ, и количество эманациі достигаетъ постояннаго предѣла, когда образованіе точно компенсируется разрушеніемъ.

Этимъ же манеромъ можно уяснить себѣ и эволюцію индуктивной радиоактивности въ присутствіи эманациі. Когда концентрація и распредѣленіе эманациі въ приборѣ для опытовъ поддерживаются постоянными, индуктивная радиоактивность принимаетъ предѣльное значеніе, остающееся затѣмъ также постояннымъ; этотъ предѣлъ достигается тогда, когда самопроизвольное разрушеніе индуктивной радиоактивности компенсируетъ непрерывное и постоянное ея образованіе изъ эманациі.

Эволюціонные законы индуктивныхъ радиоактивностей сложны; ихъ подробный анализъ найдетъ свое мѣсто въ дальнѣйшемъ изложеніи этого Труда.

§ 81. Природа индуктивныхъ радиоактивностей. — Эволюціонные законы индуктивныхъ радиоактивностей совершенно не зависятъ отъ природы активированнаго тѣла. Каждая эманация производитъ характеристичную индуктивную радиоактивность, свойства которой не зависятъ ни отъ природы активизируемой матеріи, ни отъ интенсивности активированія. Значитъ, все происходитъ такъ, какъ если бы активированіе состояло въ подлинномъ *осадкѣ активного вещества на активизируемой поверхности*.

Съ другой стороны, явленіе активированія не порождаетъ ни какого-либо видимаго измѣненія въ активизируемой поверхности, ни малѣйшаго увеличенія въ вѣсѣ активизируемаго тѣла. Такимъ образомъ активный осадокъ проявляетъ себя, какъ твердая матерія, при-

существующая въ безконечно-маломъ количествѣ на активированной поверхности.

Можно выполнить разные опыты, подтверждающіе эту точку зрѣнія. Если, напр., удалить треніемъ очень тонкій поверхностный слой на активированной металлической пластинкѣ, то одновременно будетъ удалена и активность, сполна или, по крайней мѣрѣ, въ значительной части. Последняя оказывается тогда сконцентрированной въ порціи удаленной матеріи, и этимъ путемъ возможно получить сильную индуктивную активность, несомую небольшимъ количествомъ неактивной самой по себѣ матеріи.

Активные осадки можно еще концентрировать другимъ способомъ. Когда вымываютъ водою активированную металлическую поверхность, индуктивная активность, вообще, не измѣняется сильно; но если, напротивъ, сдѣлать промывку кислотами, разбавленными или концентрированными, активные осадки растворяются. Если такой растворъ выпаривается досуха, остатокъ отъ выпариванія очень активенъ; онъ содержитъ въ концентрированномъ состояніи всю активность, перешедшую въ растворъ. Рутерфордъ нашелъ, что активный осадокъ торія растворимъ въ кислотахъ сѣрной, соляной или плавиковой, разбавленныхъ или концентрированныхъ, но гораздо менѣе въ азотной кислотѣ, и что убываніе активного осадка въ растворѣ происходитъ по тому же закону, какъ и въ твердомъ состояніи (1). Дѣйствительно, при выпариваніи въ равные промежутки времени равныхъ объемовъ раствора активность остатка та же, какъ если бы активный осадокъ оставался на активированномъ тѣлѣ.

Подробное изученіе свойствъ активныхъ осадковъ было сдѣлано Лерхомъ (2), показавшимъ, что активные осадки радія и активія растворимы въ кислотахъ. Активные осадки не растворимы въ алкогольѣ и въ эфирѣ. Когда активный осадокъ, полученный на металлѣ, растворенъ, растворъ содержитъ нѣкоторое количество металла, который былъ активированъ; если осаждать этотъ металлъ надлежащимъ химическимъ реактивомъ, активность, вообще, увлекается при осажденіи. Можно также увлечь активный осадокъ вмѣстѣ съ осадками разныхъ веществъ; если, напр., прибавить къ раствору раствора хлористаго барія и осадить барій сѣрною кислотою, то образовавшійся сѣрнокислый барій очень активенъ.

(1) Rutherford, *Phys. Zeit.*, 1902 г.

(2) Lerch, *Ann. de Phys.*, 1903 г.

Можно также извлечь активный осадокъ изъ его раствора электролизомъ. Когда активный растворъ электролизуется, активный осадокъ, вообще, отлагается на катодъ. Можно также погружать металлы въ растворъ активного осадка, и тогда этотъ послѣдній отлагается на нихъ; нѣкоторые металлы при этихъ условіяхъ активизируются, другіе остаются неактивными. Эти опыты показываютъ, что активные осадки, повидному, имѣютъ свойства металловъ. Однако возможно также активизировать анодъ электролизомъ, особенно въ томъ случаѣ, когда аніонъ поглощается; когда серебряный анодъ погружается въ хлористоводородный растворъ активного осадка торія, этотъ анодъ становится сильно активнымъ, и его активность убываетъ по нормальному закону.

Такимъ образомъ активные осадки, повидному, представляютъ вещества, которымъ возможно будетъ присвоить опредѣленные химическія свойства. Однакожъ, когда извлекаютъ активный осадокъ изъ его раствора электролизомъ или осажденіемъ на металлъ, эволюціонный законъ извлеченной такимъ образомъ индуктивной активности можетъ иногда сильно отличаться отъ нормального закона. Всѣ наблюденныя отступленія можно объяснить, приписывая каждому активному осадку сложную природу и считая его соединеніемъ изъ нѣсколькихъ веществъ, каждое изъ которыхъ имѣетъ свой собственный эволюціонный законъ и которыя могутъ быть отдѣлены химическими операціями.

§ 82. Дѣйствіе температуры на индуктивную радіоактивность.—

Когда активированная пластинка подвергается незначительному повышенію температуры, ея активность не измѣняется ощутительнымъ образомъ. Но нагрѣваніе до высокой температуры дѣйствуетъ очень энергично на индуктивную радіоактивность. Такъ, напр., платиновая проволока, активированная торіемъ, можетъ потерять свою активность почти сполна нагрѣваніемъ до очень высокой температуры.

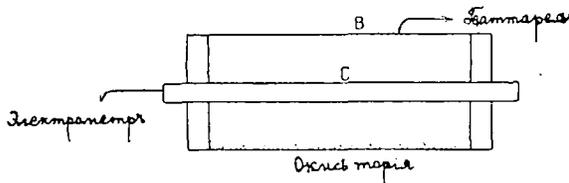
Изученіе этого явленія показало, что въ этомъ случаѣ дѣло идетъ не о разрушеніи индуктивной радіоактивности, но о *переносѣ или перемѣнѣ* (1). Активность покидаетъ горячее тѣло и появляется на холодныхъ тѣлахъ, оказывающихся по близости. Если, напр., активированная проволока, помѣщенная по оси цилиндрической трубки, сильно нагрѣвается электрическимъ токомъ, активность, утерянная проволокою, перегоняется на внутреннюю поверхность цилиндра. Если во время нагрѣванія посылается токъ воздуха въ цилиндрическую трубку, количество активности, переданное трубкѣ, оказывается уменьшеннымъ.

(1) Miss Gates, *Phys. Rev.*, 1903 г.

Нагрѣванія въ теченіи полминуты до 1460° достаточно, чтобы заставить проволоку, активированную торіемъ, потерять 99% ея активности (1).

Перегонка индуктивной радиоактивности была предметомъ многочисленныхъ изслѣдованій. П. Кюри и Даннь (2) нашли, что дѣйствіе нагрѣванія состоитъ не въ одномъ частичномъ переносѣ активности съ горячаго активированнаго тѣла на холодное, но и, кромѣ того, въ томъ, что эволюціонные законы активности какъ перегнанной, такъ и той, которая осталась на активированныхъ тѣлахъ, не являются одинаковыми; они показали, что этотъ фактъ можно истолковать, допуская, что составляющія активнаго осадка частично отдѣляются перегонкою. Этотъ способъ анализа активныхъ осадковъ часто употреблялся.

§ 83. Дѣйствіе электрическаго поля на осадокъ индуктивной радиоактивности.—Рутерфордъ замѣтилъ, что осадокъ индуктивной радиоактивности, происходящей отъ торія, совершается преимущественно на отрицательно заряженныхъ тѣлахъ. Разсмотримъ металлическій ящикъ *B* (черт. 84), въ которомъ содержится окись торія и въ кото-



Черт. 84

рый пропущенъ изолированный электродъ *C*. Если гѣтъ никакого различія въ потенциалахъ между ящикомъ и электродомъ, внутренняя поверхность ящика и электрода становятся активными; но если вызвать электрическое поле въ ящикѣ, соединя послѣдній съ положительнымъ полюсомъ баттарей въ 300 вольтъ, а электродъ съ отрицательнымъ полюсомъ той же баттарей, то констатируется, что индуктивная активность сполна концентрируется на отрицательномъ электродѣ (3). Можно получить такимъ образомъ активированную проволоку, активность которой при равной поверхности въ 10000. разъ больше активности взя-

(1) V. Lerch, *Ann. de Phys.*, 1903 г.

(2) Curie и Danne, *Comptes rendus*, 1904 г.

(3) Rutherford, *Radioactivity*.

той окиси торія. Если центральный электродъ заряженъ положительно, онъ не активизируется замѣтнымъ образомъ.

Тотъ же опытъ можетъ быть выполненъ для индуктивной радиоактивности радія; для этого достаточно ввести въ ящикъ *B* эманацию радія. Однакожъ концентрація индуктивной радиоактивности на катодѣ въ этомъ случаѣ менѣе полна, и положительный электродъ можетъ также приобрести индуктивную радиоактивность, въ гораздо болѣе слабой пропорціи, чѣмъ это случилось бы для того же электрода, если бы онъ былъ отрицательнымъ.

Дебьернъ показалъ, что индуктивная радиоактивность актинія равнымъ образомъ концентрируется на катодѣ.

Когда электрическое поле не интенсивно, пропорція радиоактивности, увлекаемой къ катоду, меньше. Въ опытахъ съ окисью торія (черт. 84) ящикъ *B* представлялъ цилиндръ діаметромъ въ $5^{\text{см}}$, 5. Когда разность потенциаловъ V между ящикомъ и электродомъ достигала 50 вольтъ, активность оказывалась сконцентрированной главнымъ образомъ на электродѣ. При $V = 3$ вольтамъ одна половина активного осадка оказывалась на электродѣ, а другая — на стѣнкахъ ящика. При $V = 0$ электродъ несъ 13% всей индуктивной радиоактивности. Во всѣхъ случаяхъ оказывалось, что когда устанавливалось стационарное состояніе, сумма индуктивныхъ активностей на электродѣ и на стѣнкахъ оставалась постоянною; такимъ образомъ поле въ главномъ своемъ дѣйствіи вліяетъ только на распредѣленіе индуктивной радиоактивности, но не измѣняетъ ея образованія. Дѣйствіе поля во время активизированія не измѣняетъ также, по крайней мѣрѣ въ первомъ приближеніи, эволюціоннаго закона индуктивной радиоактивности по окончаніи экспозиціи.

Подъ уменьшеннымъ давленіемъ явленіе измѣняется (¹). Такъ, въ случаѣ опытовъ съ окисью торія, пропорція индуктивной активности, осажженной на центральномъ электродѣ, употребленномъ въ качествѣ катода, оставалась замѣтно постоянною для давленій между атмосфернымъ и давленіемъ въ одинъ сантиметръ ртутнаго столба. Но когда давленіе воздуха въ ящикѣ было ниже $1^{\text{см}}$ ртутнаго столба, пропорція индуктивной активности на катодѣ уменьшалась и, когда опытъ производился при давленіи въ $0^{\text{мм}}$, 1 ртутнаго столба, она являлась лишь незначительною дробью своего первоначальнаго значенія. Въ этомъ случаѣ индуктивная активность появлялась на стѣнкахъ сосуда, даже въ сильномъ полѣ.

(¹) Rutherford, *Phil. Mag.*, 1900 г.

Эти опыты привели къ допущенію, что частицы активнаго осадка, образующіяся въ газѣ, содержащемъ эманацию, обладаютъ положительнымъ зарядомъ или же перепосыются положительно заряженными носителями (*véhicules*). Эти носители двигаются, притомъ, по линіямъ электрическаго поля и концентрируются на углахъ и по краямъ катода, когда этотъ послѣдній имѣетъ форму пластинки (1).

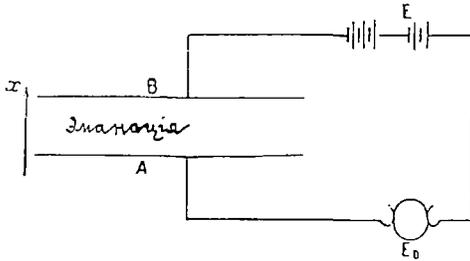
По нынѣшнимъ теоріямъ радиоактивности частицы активныхъ осадковъ происходятъ изъ частицъ эманаций. Притомъ эманации испускаютъ лучи α , т.-е. частицы, заряженныя положительно и наджѣленные большою скоростью; масса частицы α равна, по повѣншимъ работамъ, массѣ атома гелія, тогда какъ масса молекулы эманации гораздо больше. Остатокъ отъ молекулы эманации, по испусканіи частицы α , принимается за частицу активнаго осадка. Эта частица должна испытать отдачу назадъ, соотвѣтствующую метанію частицы α , и такимъ образомъ мы приходимъ къ мысли, что она сама претерпѣваетъ метаніе; однако скорость ея метанія должна быть значительно ниже скорости метанія частицы α , и вслѣдствіе этого она очень быстро задерживается молекулами окружающаго газа, если этотъ послѣдній находится подъ атмосфернымъ давленіемъ. Если частица не заряжена, она, начиная съ этого момента, подвергается только диффузионному движенію; если она заряжена, то, кромѣ того, она чувствительна къ дѣйствію электрическаго поля. Въ газѣ подъ слабымъ давленіемъ явленіе можетъ оказаться измѣненнымъ. Частицы активнаго осадка, подвергшіяся метанію, могутъ тогда достигъ стѣнокъ, не будучи остановлены газовыми частицами, и ихъ скорость можетъ въ этомъ случаѣ оставаться достаточною, чтобы сдѣлать ихъ нечувствительными къ дѣйствію электрическаго поля.

Оставалось бы объяснить, какимъ образомъ частица активнаго осадка можетъ приобрѣсти положительный зарядъ. *A priori* кажется даже нелогичнымъ допустить, что остатокъ отъ не заряженной молекулы эманации, только-что испустившей положительный зарядъ съ частицею α , могъ бы нести равнымъ образомъ положительный зарядъ. Однакожъ въ этомъ не заключается никакого важнаго возраженія. Въ самомъ дѣлѣ, мы увидимъ, что испусканіе частицы α , вообще, сопровождается испусканіемъ отрицательныхъ зарядовъ, несомыхъ электронами очень слабой скорости. Въ настоящее время у насъ еще очень неполныя свѣдѣнія объ испусканіи электрическихъ зарядовъ радиоак-

(1) Fehrle, *Phys. Zeit.*, 1902 г.

тивными тѣлами съ количественной точки зрѣнія, и мы не можемъ извлечь изъ нихъ прочныхъ заключеній. Сверхъ того, нельзя упускать изъ виду, что газъ, въ которомъ происходитъ испусканіе частицъ активнаго осадка, сильно іонизированъ и содержитъ свободные электрическіе заряды, положительные и отрицательные. Каждый газовый іонъ можетъ привлечь къ себѣ какъ частицы съ зарядомъ, по знаку противоположнымъ его собственному, такъ и частицы нейтральныя, при условіи, чтобы скорость частицъ не была слишкомъ большою. Такимъ образомъ зарядъ частицы активнаго осадка могъ бы въ нѣкоторыхъ случаяхъ быть пріобрѣтеннымъ ею въ окружающемъ газѣ.

Рутерфордъ произвелъ опытъ по опредѣленію подвижности носителей активнаго осадка торія и радія (¹). Вотъ какой былъ употребленъ имъ методъ. Эманация распредѣлена равномерно между параллельными дисками *A* и *B* (черт. 85), разстояніе между которыми



Черт. 85

равно d . Если къ дискамъ прилагается переменная электродвижущая сила E_0 , то на каждомъ изъ нихъ отлагается одно и то же количество индуктивной радиоактивности. Если послѣдовательно съ переменною электродвижущею силою примѣнять неподвижную электродвижущую силу E , низшую E_0 по абсолютной величинѣ, поле между дисками направляется попеременно отъ *A* къ *B* или отъ *B* къ *A*.

Въ теченіи одного полуперіода (demi-alternance) поле имѣетъ значеніе $\frac{E_0 + E}{d}$ и направленіе *AB*, въ теченіи слѣдующаго полу-

періода оно имѣетъ значеніе $\frac{E_0 - E}{d}$ и направленіе *BA*. Если предположить, что скорость u носителя активнаго осадка пропорціональна полю h , такъ что $u = kh$, гдѣ k —подвижность, то въ такомъ случаѣ этотъ носитель будетъ неодинаково перемѣщаться въ теченіи двухъ по-

(¹) Rutherford, *Phil. Mag.*, 1903 г.

слѣдовательныхъ полуперіодовъ, и индуктивная активность неодинаково распредѣлится между дисками. Если періоды (alternances) достаточно коротки, то только мало удаленные отъ электрода A носители смогутъ его достигнуть, всѣ же остальные въ теченіи послѣдовательныхъ періодовъ будутъ приведены къ электроду B .

Пусть T будетъ продолжительность одного полуперіода, x_1 —путь, пробѣгаемый въ теченіи времени T , когда поле есть h_1 , и x_2 —путь, пробѣгаемый въ теченіи времени T , когда поле есть h_2 :

$$x_1 = kh_1 T, \quad x_2 = kh_2 T.$$

Носители, собранные электродомъ A въ теченіи времени $2T$, можно раздѣлить на двѣ группы.

1. Первая группа содержитъ половину носителей, образовавшихся въ теченіи времени T , при направленіи поля BA , въ газовомъ слоеъ толщиною x_2 , прилежащемъ къ диску A . Число этихъ носителей равно $\frac{1}{2} nx_2 T$ на единицу поверхности электрода, если n есть образование на кубическій сантиметръ.

2. Вторая группа содержитъ носителей, оставленныхъ въ томъ же слоеъ въ концѣ предыдущаго полуперіода; ихъ число можно вычислить слѣдующимъ образомъ. Въ слоеъ толщиною dx , находящемся на разстояніи x отъ диска A , образуется $n dx$ носителей въ единицу времени на единицу поверхности. Путь, который они пройдутъ въ теченіи времени T , меньше $x_2 - x$, если моментъ образованія t , отсчитанный отъ начала періода, таковъ, что

$$T - t \leq \frac{x_2 - x}{kh_1}.$$

Итакъ, не перейдутъ разстоянія x_2 носители, образовавшіеся въ рассматриваемомъ слоеъ за время $\frac{x_2 - x}{kh_1}$; эти носители будутъ въ числѣ $\frac{n(x_2 - x)}{kh_1} dx$, а во всемъ слоеъ толщиною x_2 ихъ число опредѣлится по формулѣ

$$\int_0^{x_2} \frac{n(x_2 - x) dx}{kh_1} = \frac{n}{kh_1} \frac{x_2^2}{2} = \frac{n}{2} \frac{x_2^2}{x_1} T.$$

Слѣдовательно, дискъ A собираетъ за время $2T$ число носителей, равное

$$\frac{n}{2} T x_2 \left(1 + \frac{x_2}{x_1} \right) = \frac{n}{2} T x_2 \frac{x_1 + x_2}{x_1}.$$

Отношеніе ρ этого числа къ образованію $2ndT$ есть

$$\rho = \frac{1}{4} \frac{x_2 (x_1 + x_2)}{x_1 d},$$

или

$$\rho = \frac{1}{2} \frac{E_0 (E_0 - E) k T}{d^2 (E_0 + E)},$$

откуда

$$k = \frac{2\rho d^2 (E_0 + E)}{T E_0 (E_0 - E)}.$$

Опредѣливъ ρ изъ опыта, можно вычислить k . Теорія предполагаетъ, что только одни заряженные носители участвуютъ въ активированіи и что для нихъ не происходитъ ощутительнаго возстановленія.

Вотъ результаты, полученные для активнаго осадка торія:

$E_0 + E$	$E_0 - E$	Число періодовъ въ сек.	ρ	k	
152	101	57	0,27	1,25	$d = 1^{\text{см}}, 3$
225	150	57	0,38	1,17	
300	200	57	0,44	1,24	
273	207	44	0,37	1,47	$d = 2^{\text{см}}$
300	200	53	0,286	1,45	

Средняя подвижность, выведенная изъ нѣсколькихъ опытовъ, была $k = 1,3 \frac{\text{см.}}{\text{сек.}}$ для поля въ одинъ $\frac{\text{вольтъ}}{\text{см.}}$ и въ обычныхъ условіяхъ температуры и давленія. Эта подвижность близка къ той, которой обладаютъ положительныя іоны, создаваемые въ воздухѣ Рѣнтгеновыми лучами.

Опыты, произведенныя съ активнымъ осадкомъ радія, были менѣе удовлетворительны вслѣдствіе активированія положительнаго электрода. Однако подвижность носителей казалась замѣтно одною и тою же съ активными осадками какъ радія, такъ и торія.

Въ опытахъ, произведенныхъ надъ активнымъ осадкомъ торія, Геннингъ нашель, что зависимость между пропорціей индуктивной

активности, осажденной на катодѣ, и разностью потенциаловъ, приложенной во время активированія, можно было изобразить кривою, весьма аналогичною той, которая представляетъ законъ измѣненія тока въ ионизированномъ газѣ съ измѣненіемъ разности потенциаловъ, производящей этотъ токъ (1).

Шмидтъ выполнилъ аналогичные опыты надъ активнымъ осадкомъ радія (2). Сходные между собою электроды были послѣдовательно активированы въ одномъ и томъ же конденсаторѣ, содержащемъ всегда одно и то же количество эманации; время экспозиціи всегда было равно 5 минутамъ; разность потенциаловъ V между электродомъ и внѣшнею обкладкою варьировалась отъ 0 до 440 вольтъ, при чемъ электродъ употреблялся въ качествѣ катода. По окончаніи экспозиціи вынимали электродъ и измѣряли его активность J въ надлежащемъ измѣрительномъ приборѣ; измѣреніе дѣлалось 25 минутъ спустя по окончаніи экспозиціи, потому что токъ оставался тогда сравнительно постояннымъ въ теченіи времени, достаточнаго для измѣреній. Полученныя значенія не были строго постоянны; однако можно было построить кривую $J = f(V)$ и констатировать, что ея форма очень мало отличается отъ кривой, дающей въ функціи отъ вольтажа интенсивность тока въ ионизированномъ газѣ.

Эти результаты дѣлаютъ вѣроятнымъ, что носители активного осадка, заряженные положительно, имѣютъ подвижность, близкую къ подвижности положительныхъ іоновъ, и что, кромѣ того, они могутъ, подобно послѣднимъ, подвергаться возстановленію, такъ что частица остается заряженною положительно только въ теченіи короткаго времени.

Газъ, повидимому, не содержитъ въ значительной пропорціи носителей активного осадка, заряженныхъ отрицательно. Проволока, доведенная до потенциала въ $+440$ вольтъ, принимаетъ лишь 2% активности, которую она приобрѣла бы, если бы была доведена до потенциала въ -440 вольтъ.

Зависимость между индуктивною активностью радія, осажденною въ сильномъ электрическомъ полѣ, и давленіемъ газа p была изучена Руссомъ (3). Эта работа показала, что активность анода мало измѣ-

(1) Henning, *Ann. d. Phys.*, 1902 г.

(2) H. - W. Schmidt, *Phys. Zeit.*, 1908 г.

(3) Russ, *Phil. Mag.*, 1908 г.

няется съ давленіемъ газа; она нѣсколько убываетъ съ увеличеніемъ послѣдняго. Активность катода растетъ съ давленіемъ, сначала быстро для давленій между $0^{\text{мм}},01$ и $1^{\text{мм}}$ ртутнаго столба, затѣмъ медленнѣе; предѣльное значеніе достигается для давленія приблизительно въ $5^{\text{см}}$ ртутнаго столба. До очень слабыхъ использованныхъ давленій катодъ оказывается активнѣе анода, но отношеніе активностей, равное 2 для $p=0^{\text{мм}},01$ ртутнаго столба, становится равнымъ 20 для $p=1^{\text{мм}}$ ртутнаго столба и продолжаетъ расти для болѣе высокихъ давленій.

При оперированіи въ водородѣ активности анода и катода остаются равными между собою и постоянными для давленій между $0^{\text{мм}},1$ и $1^{\text{мм}}$ ртутнаго столба.

Аналогичные опыты были произведены для активныхъ осадковъ торія и активія. Активированіе получалось въ цилиндрическомъ сосудѣ, положенномъ горизонтально; активная матерія помѣщалась въ углубленіи, сдѣланномъ въ серединѣ стѣнки. Два изолированныхъ электрода проникали въ цилиндръ съ двухъ его концовъ; они были связаны съ двумя полюсами батареей, середина которой была соединена съ сосудомъ. При оперированіи съ торіемъ катодъ былъ въ 200 разъ активнѣе анода для $p=1^{\text{атм}}$; для $p=2^{\text{мм}}$ ртутнаго столба катодъ былъ въ 25 разъ активнѣе анода, активность котораго не измѣнялась замѣтно.

Съ активнымъ осадкомъ активія отношеніе активностей катода и анода переходило отъ 2 къ 22 при переходѣ давленія отъ одной атмосферы къ $2^{\text{мм}}$ ртутнаго столба, при чемъ активность анода оставалась замѣтно неизмѣнною. Такой аномальный результатъ подалъ поводъ къ болѣе глубокому изслѣдованію, доказавшему, что отношеніе активностей электродовъ въ случаѣ активія существенно зависитъ отъ разстоянія до активного вещества; это отношеніе, равное, напр., 5 для электродовъ, помѣщенныхъ на $4^{\text{см}}$ отъ активія, становится равнымъ 100 для электродовъ, помѣщенныхъ на $2^{\text{см}}$ отъ активія.

§ 84. Механизмъ осадка индуктивной радіоактивности. Метаніе активного осадка.—Если активный осадокъ обязанъ частицамъ твердой матеріи, выброшеннымъ эманацией, то эти послѣднія могутъ достигъ твердыхъ стѣнокъ либо прямо, въ силу метанія, либо потому, что, будучи сначала остановлены газомъ, онѣ затѣмъ диффундируютъ къ стѣнкамъ, имѣющимъ способность ихъ удерживать. Въ обоихъ случаяхъ разстояніе, на которомъ стѣнка можетъ захватить частицы активного осадка, не можетъ быть безпредѣльнымъ. Выброшенные частицы могутъ

имѣть въ газѣ лишь ограниченный пробѣгъ; съ другой стороны, частицы, достигающія стѣнки вслѣдствіе диффузионнаго движенія, могутъ прибывать лишь съ разстоянія, ограниченаго быстротою ихъ разрушенія.

Изученіе дѣйствія электрическаго поля на осадокъ индуктивной активности привело къ мысли, что частицы активнаго осадка подвергаются метанію въ силу отдачи назадъ, связанной съ испусканіемъ частиць α . Масса частицы α равна массѣ атома гелія, а масса молекулы эманацин, по крайней мѣрѣ, порядка 100; въ силу теоремы сохранения количества движенія скорость остаточнаго атома, подвергнутаго метанію, несомнѣнно, ниже дроби 0,04 отъ скорости частицы α , и его энергія ниже такой же дроби отъ энергіи той же частицы. Можно, поэтому, предвидѣть, что проникающая способность остаточнаго атома должна быть очень слаба и что этотъ атомъ долженъ очень быстро задерживаться молекулами газа при атмосферномъ давленіи. Притомъ извѣстно, что положительные лучи Круксовыхъ трубокъ, энергія которыхъ того же порядка, какъ и энергія метаемыхъ атомовъ активнаго осадка, обладаютъ весьма слабою проникающею способностью и быстро поглощаются въ газахъ, даже подъ уменьшеннымъ давленіемъ. Согласно предсказаніямъ опытъ показалъ, что частицы радиоактивной матеріи могутъ быть метаемы на ощутимое разстояніе только въ газахъ подъ очень слабымъ давленіемъ. Въ газахъ подъ атмосфернымъ давленіемъ эти же частицы теряютъ свою скорость, но сохраняютъ способность проходить довольно большія разстоянія либо подъ дѣйствіемъ диффузій, либо при помощи электрическаго поля, если онѣ заряжены.

Метаемая частицы могутъ происходить не только отъ эманацин, но также и отъ активнаго осадка, полученнаго на твердой пластинкѣ; эта пластинка можетъ, дѣйствительно, быть мѣстомъ радиоактивныхъ превращеній. Нѣкоторыя изъ превращеній сопровождаются испусканіемъ частиць α ; таково превращеніе радія А въ радій В. Въ другихъ случаяхъ происходитъ испусканіе только лучей β или отрицательныхъ электроновъ; таково превращеніе радія В въ радій С. Такъ какъ количество движенія частицы α , вообще, гораздо выше количества движенія электрона, то движеніе при отдачѣ назадъ гораздо слабѣе во второмъ случаѣ, чѣмъ въ первомъ, и труднѣе сдѣлать его очевиднымъ. Когда пластинка помещена въ газѣ подъ атмосфернымъ давленіемъ, метаемая частицы поглощаются этимъ газомъ въ непосредственной близости съ пластинкою; эти частицы несутъ, вообще, поло-

жительный зарядъ и возвращаются къ пластинкѣ въ силу электростатическаго притяженія. Если, однако, пластинка также заряжена положительно, заряженные частицы оказываются увлеченными на разстояніи электрическимъ полемъ. Можетъ также случиться, что частица, выпущенная съ положительнымъ зарядомъ, теряетъ свой зарядъ черезъ возстаповленіе; такое возстаповленіе должно происходить легко, такъ какъ газъ вблизи пластинки сильно іонизированъ. Частица, приведенная въ нейтральное состояніе, не подвергается болѣе электростатическому притяженію пластинки, но можетъ еще перемѣщаться въ газѣ и осѣдять на твердой стѣнкѣ, можетъ-быть, подѣйствиемъ сѣпленія. Переносъ этимъ процессомъ активнаго осадка гораздо менѣе важенъ, чѣмъ въ присутствіи электрическаго поля. Однако этотъ переносъ, повидному, существуетъ, и такимъ именно образомъ правдоподобно истолковывается явленіе очевидной летучести радія В при обыкновенной температурѣ (§ 179). Что касается явленія увлеченія электрическимъ полемъ частицъ, потерявшихъ свою скорость, не будучи разряженными, то его можно было наблюдать для различныхъ составляющихъ веществъ активныхъ осадковъ радія, торія и актинія (Главы XIII, XIV и XV).

Вотъ опытъ, доказывающій, что металіе активнаго осадка активированною пластинкою не можетъ преодолѣть въ воздухѣ подѣ атмосфернымъ давленіемъ разстоянія порядка въ одинъ миллиметръ (1). Пластинка, сильно активируемая въ теченіи 10 минутъ, непосредственно послѣ активированія помѣщалась противъ неактивной пластинки. Между пластинками проходилъ быстрый токъ воздуха. При этихъ условіяхъ не наблюдалось никакого переноса индуктивной активности; противоположной пластинки могли бы достигнуть только частицы, выброшенные активной пластинкою и не поглощенные газомъ послѣ миллиметра пробѣга.

Явленіе металія въ газахъ подѣ давленіемъ ниже 0^{mm} , 01 ртутнаго столба было съ очевидностью доказано Russ'омъ и Makower'омъ (2), оперировавшими съ эманацией, сгущенной при температурѣ жидкаго воздуха, и съ активированными пластинками. Эманацию сгущали на днѣ вертикальной стеклянной трубки; по достиженіи возможнаго полнаго сгущенія устраивалась надъ эманацией почти абсолютная пустота; затѣмъ, впустивъ воздухъ, помѣщали въ трубкѣ на перемѣнномъ раз-

(1) Debierne, *Le Radium*, 1909 г.

(2) Russ и Makower, *Proc. Roy. Soc.*, 1909 г.

стоянии отъ эманации дискъ D , предназначенный для принятія метаемаго вещества; наконецъ, вновь производили въ трубкѣ весьма сильную пустоту. По прошествіи нѣкотораго времени изслѣдовали активность, приобретенную обѣими сторонами диска; констатировалось, что активность стороны, обращенной къ эманации, была больше активности обратной стороны, при чемъ отношеніе активностей могло достигать 50; избытокъ активности приписывался активному осадку, полученному чрезъ излученіе. Выгодно употреблять въ этихъ опытахъ сколь возможно слабыя количества эманации, потому что, если оперировать съ большимъ количествомъ эманации, эта послѣдняя не остается всецѣло сгущенною и распространяется въ трубкѣ въ пропорціи тѣмъ сильнѣйшей, чѣмъ большее ея количество взять. Активность, сообщаемая диску, уменьшалась приближенно въ отношеніи, обратномъ квадрату разстоянія до области трубки, занятой сгущенною эманациею, и уменьшалась постепенно съ увеличеніемъ давленія газа въ трубкѣ. Законъ этого уменьшенія далъ возможность вычислить приближенный коэффициентъ поглощенія излученія газомъ; этотъ коэффициентъ былъ бы порядка 0,5 въ воздухѣ подъ давленіемъ въ $1^{\text{мм}}$ ртутнаго столба, что соотвѣтствовало бы при атмосферномъ давленіи замѣтно полному поглощенію излученія на длинѣ порядка въ $0^{\text{мм}}$, 1.

Составъ активного осадка, полученнаго дискомъ, можетъ быть выведенъ изъ закона измѣненія активности въ функціи отъ времени по окончаніи экспозиціи. Констатируется, что законъ убыванія послѣ долгой экспозиціи значительно отличается отъ закона, полученнаго послѣ активированія при обыкновенныхъ условіяхъ въ присутствіи эманации, при чемъ это различіе можно объяснить тѣмъ фактомъ, что дискъ получаетъ радій А и радій В, тогда какъ пластинка, активированная обыкновеннымъ способомъ, получаетъ непосредственно, вообще, только радій А. Метаніе радія В и радія С активированною пластинкою одинаково наблюдалось въ одномъ и томъ же расположеніи опыта. Пока пластинка содержитъ радій А, происходитъ метаніе радія В и радія С. Съ исчезаніемъ радія А происходитъ метаніе только радія С; значить, дискъ получаетъ тогда только одно радиоактивное вещество; активность въ этомъ случаѣ убываетъ по окончаніи экспозиціи по простому показательному закону, характеризующему разрушеніе радія С (уменьшеніе на половину въ 19,5 минутъ). Методъ анализа, могущій служить для изученія этого рода, будетъ показанъ въ главѣ XIII.

§ 85. Распространеніе активного осадка диффузіей.—По опытамъ П. Кюри и Дебьерна активность, приобретенная въ теченіи даннаго

времени пластинкою въ помѣщеніи, содержащемъ эманацию радія, зависеть отъ свободнаго пространства, оставленнаго передъ пластинкою, и растеть, въ первомъ приближеніи, пропорціонально этому пространству. Эти опыты выполнялись въ воздухѣ подъ атмосфернымъ давленіемъ, и наблюденія относились къ разстояніямъ отъ $1^{\text{мм}}$ до $3^{\text{см}}$. Переносъ активнаго осадка газа на пластинку на этомъ разстояніи не могъ, по предыдущему, быть обязанымъ явленію метавія. Метаемыя частицы остаются при этихъ условіяхъ въ газѣ, и если пластинка проявляетъ себя въ направленіи противъ нихъ, какъ поглощающее тѣло, то концентрація частицъ будетъ нулевою въ соприкосновеніи съ пластинкою; слѣдовательно, по направленію къ ней устанавливается диффузионное движеніе, такъ что частицы, образующіяся на нѣкоторомъ разстояніи внутри газа, могутъ достигнуть пластинки и поглотиться ею. Наиболѣе вѣроятною причиною этого диффузионнаго явленія является электростатическое притяженіе, оказываемое пластинкою на частицы, несущія электрической зарядъ. Можно, однако, предвидѣть, что частицы, образующіяся на слишкомъ большомъ разстояніи отъ пластинки, не смогутъ ея достигнуть, потому что онѣ еще до этого испытаютъ самопроизвольное разрушеніе. Разстояніе, съ котораго пластинка можетъ черпать активный осадокъ въ газѣ, зависеть такимъ образомъ отъ диффузионной скорости частицъ и отъ ихъ средней жизни.

Законоу, по которому активированіе пластинки измѣняется въ функціи отъ свободнаго пространства передъ нею, былъ изученъ Дебьерномъ⁽¹⁾. Онъ сравнилъ полученные результаты съ тѣми, которые можно предвидѣть при допущеніи, что диффундирующія частицы всѣ одного рода и что онѣ подчинены только диффузионному движенію и самопроизвольному разрушенію. Первое изъ этихъ предположеній, впрочемъ, законно, по крайней мѣрѣ, въ первомъ приближеніи: хотя газъ содержитъ безъ всякаго сомнѣнія радій А, радій В и радій С, повидимому почти только одиѣ частицы радія А поглощаются пластинкою.

Разсмотримъ явленіе диффузии между двумя параллельными пластинками, разстояніе между которыми a мало въ сравненіи съ ихъ размѣрами, и пусть будутъ: x —разстояніе, отсчитанное отъ одной изъ пластинокъ, n —концентрація частицъ на этомъ разстояніи, D —коэффициентъ диффузии, λ —характеристичный коэффициентъ показательнаго закона разрушенія частицъ, q —число частицъ, образующихся въ единицу времени въ единицѣ объема. Въ элементѣ объема, основаніе ко-

(1) Debierne, *Le Radium*, 1909 г.

торого ds параллельно пластинкѣ и высота котораго равна dx , число частицъ, образующихся въ единицу времени, есть $q dx ds$, число частицъ, разрушающихся въ теченіи того же времени, есть $\lambda n ds dx$ и избытокъ числа частицъ, вошедшихъ въ элементъ объема, надъ числомъ частицъ, вышедшихъ изъ него, есть $D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2} ds dx$ (§ 62). Если концентрація эманации остается постоянною, устанавливается стаціонарное состояніе, и концентрація частицъ активнаго осадка остается равнымъ образомъ стаціонарною. Такимъ образомъ уравненіе, характеризующее стаціонарное состояніе, есть

$$D \frac{d^2 n}{dx^2} + q - \lambda n = 0.$$

Интегрируя это уравненіе и принимая во вниманіе условія на предѣлахъ: $n = 0$ для $x = 0$ и для $x = a$, получаемъ формулу

$$n = \frac{q}{\lambda} \left(1 - \frac{e^{mx} + e^{m(a-x)}}{1 + e^{ma}} \right),$$

гдѣ

$$m = \sqrt{\frac{\lambda}{D}}.$$

Эта формула представляетъ законъ распредѣленія частицъ между двумя неопредѣленно большими параллельными пластинками, помѣщенными на разстояніи a одна отъ другой.

Число частицъ, отлагающихся на единицѣ поверхности пластинки въ единицу времени, равно значенію произведенія $D \frac{dn}{dx}$ для $x = 0$. Активность \mathcal{J} стаціонарнаго состоянія, устанавливающаяся на пластинкѣ, пропорціональна этому же числу. Находимъ:

$$\mathcal{J} = \frac{q}{m\lambda} \frac{e^{ma} - 1}{e^{ma} + 1}.$$

По этой формулѣ активность пропорціональна образованію q , которое само пропорціонально концентраціи эманации, по законъ измѣненія активности \mathcal{J} съ разстояніемъ a между пластинками не долженъ былъ бы зависѣть отъ этой концентраціи. Когда разстояніе a увеличивается, \mathcal{J} увеличивается сначала пропорціонально a , затѣмъ все медленнѣе и медленнѣе, и стремится асимптотически къ предѣльному

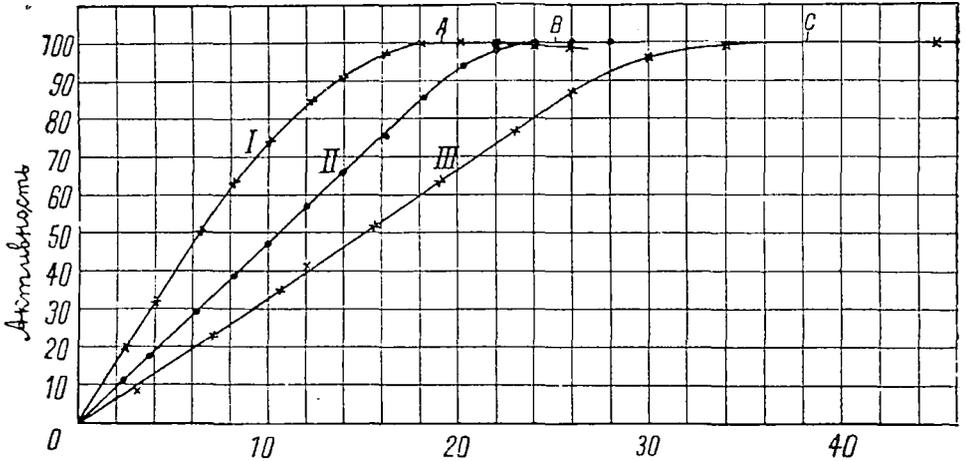
значенію $\frac{q}{m\lambda}$, которое было бы достигнуто только для бесконечно-большого разстоянія. Можно, однако, попытаться, для какого разстоянія предѣльная активность достигается съ даннымъ приближеніемъ. Если идетъ дѣло о диффузій радиа А, коэффициентъ λ для этого вещества извѣстенъ и равенъ $3,8 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{сек.}}$; если, кромѣ того, радій А диффундировалъ въ атомномъ состояннн, масса частицы въ моментъ испусканія очень мало отличалась бы, по нынѣшнимъ теоріямъ, отъ массы молекулы эманаци, и коэффициентъ диффузій могъ бы оказаться близкимъ къ коэффициенту диффузій эманаци. Полагая $D = 0,1$, находимъ, что предѣльная активность достигается съ точностью до 1% для разстоянія отъ $25^{\text{см}}$ до $30^{\text{см}}$; полагая $D = 0,03$, какъ для газовыхъ іоновъ, находимъ для предѣльнаго разстоянія около $15^{\text{см}}$; это значеніе коэффициента диффузій соотвѣтствуетъ лучше вѣроятному значенію подвижности заряженныхъ частицъ.

Опыты были произведены съ рядомъ параллельныхъ пластинокъ, помѣщенныхъ подъ большимъ колоколомъ на разныхъ разстояніяхъ, заключающихся между $1^{\text{см}}$ и нѣсколькими сантиметрами. Пластины помѣщались вертикально для исключенія дѣйствія тяжести, которая будетъ изучена въ слѣдующемъ параграфѣ. Эманация вводилась подъ колоколъ вмѣстѣ съ воздухомъ подъ атмосфернымъ давленіемъ и содержалась тамъ въ теченіи одного или двухъ дней. Газъ тщательно высушивался и колоколъ поддерживался при очень постоянной температурѣ, чтобы избѣжать образованія вихрей въ газѣ. Затѣмъ пластины удалялись и наблюдалась ихъ активность въ функціи отъ времени, откуда можно было вывести значеніе активности всѣхъ пластинокъ для одного и того же момента. Тогда строилась кривая, представляющая активность пластинокъ въ функціи отъ раздвига. Опыты были произведены съ концентраціями эманаци, измѣняющимися въ широкихъ предѣлахъ.

Результаты опытовъ съ качественной точки зрѣнія не вполне согласны съ предыдущею теоріей, и совершенно отъ нея отклоняются въ томъ, что касается численнаго приложенія. Констатируется, что видъ полученныхъ кривыхъ зависитъ отъ концентраціи эманаци. Во всѣхъ случаяхъ активность съ увеличеніемъ раздвига стремится къ предѣлу, но этотъ предѣлъ практически всегда достигался для разстоянія всего въ нѣсколько сантиметровъ. Нѣкоторыя изъ полученныхъ кривыхъ съ различными концентраціями эманаци представлены на *черт. 86*. Мѣрою количества использованной эманаци служить коли-

чество радія, находящееся съ нею въ равновѣсїи; это количество эманации распредѣлялось въ объемъ 13 литровъ приблизительно. Предѣльное разстояние указано для каждого опыта. Мы видимъ, что предѣльная активность достигается для меньшаго разстоянїя, когда эманация очень концентрирована, чѣмъ когда она мало концентрирована.

Черт. 86



Раздвигъ пластинокъ въ миллиметрахъ

Продолжительность активирования: 24 часа.

Кривая I, Эманация отъ 50 мгм. RaBr_2 . Предѣль 19 мм.
 " II, " 10 " " " 25 "
 " III, " 0,4 " " " 38 "

Кромѣ того, для сильныхъ концентрацій общій видъ кривой одинаковъ съ видомъ теоретической кривой, но для слабыхъ концентрацій прямолинейная часть продолжается долѣе, и предѣль достигается болѣе внезапно. Испытаніе кривыхъ убыванія лученспусканія различныхъ пластинокъ позволяетъ дать себѣ отчетъ, обязапъ ли былъ осадокъ исключительно радію А. Дѣйствительно, если пластинки очень сближены (1^{мм} раздвига), очевидно, что радій А, образующійся въ раздвѣляющемъ ихъ газѣ, достигаетъ очень быстро стѣнки и не задерживается въ газѣ; значитъ, послѣдній не можетъ содержать веществъ В и С, образующихся влѣдъ за А. Напротивъ, на пластинкахъ, раздвинутыхъ на нѣсколько сантиметровъ, вещества В и С могли бы отложиться одновременно съ веществомъ А, и видъ кривой дезак-

тивирования был бы этим самым изменен. В условиях опытов различие между кривыми дезактивирования едва заметно, и мы видим таким образом, что даже для больших расстояний осадок в виде радия В и радия С незначителен.

Поэтому можно допустить, что только одно вещество диффундирует к пластинкам, но механизм осадка не так прост, как был предусмотрен вначале. Влияние концентрации эманации на явление показывает, что частицы изменяют природу с увеличением концентрации. Это изменение можно было бы истолковать двумя различными способами. Можно допустить, что атомы радия А подвергаются между собою роду агломерации в более крупные частицы и что коэффициент диффузии оказывается таким образом уменьшенным; легкость, с которою могли бы образовываться подобные агломерации, зависела бы от начальной концентрации в атомах радия А, а эта последняя пропорциональна концентрации эманации. Чтобы с этою гипотезою получить предельное расстояние одного порядка с наблюдаемым, нужно приписать частицам, которые все предполагаются одной и той же величины, коэффициент диффузии в 140 раз меньший коэффициента диффузии эманации и, следовательно, массу значительно большую, чем масса молекулы эманации. Образование подобных частиц, исходя из атомов, присутствующих в газе в состоянии крайней разреженности, является мало вероятным. Опыты, выполненные с временами активирования, изменяющимися от 1 минуты до 24 часов, и с сильною концентрацией эманации, одной и той же во всех случаях, дали, притом, весьма сходные результаты в том, что касается вида полученных кривых и значения предельного расстояния. Значит, достаточно одной минуты, чтобы могло сказаться влияние концентрации на природу частиц.

Съ другой стороны, можно предположить, что некоторые частицы видоизменяются в том смысле, что перестают быть поглощаемыми стѣнкою. Таковъ, напр., случай заряженныхъ частицъ, которыя, подъ дѣйствіемъ возстановленія, оказываются приведенными къ нейтральному состоянію. Возстановленіе атомовъ радія А, выпущенныхъ сначала съ положительнымъ зарядомъ, можетъ происходить съ отрицательными іонами, содержащимися въ газѣ. Чтобы это возстановленіе принять въ расчетъ, должно допустить, что число частицъ, являющихся нейтральными въ единицѣ объема въ единицу времени, равно $\alpha n'$, гдѣ n' обозначаетъ концентрацію отрицательныхъ іоновъ въ рассматриваемой точкѣ и α —характеристичный коэффициентъ

скорости восстановления. Уравнение, определяющее концентрацию n стационарного состояния частиц активного осадка, является тогда

$$D \frac{d^2 n}{dx^2} + q - (\lambda + \alpha n') n = 0.$$

Было бы очень легко рассмотреть дополненную таким образом задачу, если бы количество n' было постоянным. Мы видим, что все происходило бы в этом случае так, как если бы скорость самопроизвольного разрушения активного осадка возрастала, так как постоянная λ оказывается увеличенной на постоянное количество, пропорциональное концентрации n' отрицательных ионов; эта концентрация n' стационарного состояния была бы, притом, пропорциональна квадратному корню из числа N ионов одного знака, образующихся в секунду в единицу объема, потому что ионы в газе гораздо многочисленнее частиц активного осадка, и вследствие этого их концентрация в стационарном состоянии определяется их взаимным восстановлением. Так как предельная активность пластинок заметно достигается при $\sqrt{\frac{\lambda'}{D}} a = 5$, где $\lambda' = \lambda + \alpha n'$, то, очевидно, этот предел мы получим для расстояния a около 2 см , если, придавая D значение $0,03$, возьмем для λ' значение $0,2 \frac{1}{\text{сек}}$. Принимая во внимание значение $\lambda = 3,8 \cdot 10^{-3} \frac{1}{\text{сек}}$, видим, что самопроизвольным разрушением, при этих условиях, можно пренебречь по сравнению с восстановлением, так что заметно имеем $\lambda' = \alpha n'$. Принимая для коэффициента α то же значение, которое характеризует взаимное восстановление ионов, т.е. $\alpha = 10^{-6}$ э.-ст. едн. приблизительно, и полагая $\alpha n' = \sqrt{N \alpha}$, находим для N значение около $2,5 \cdot 10^4$ ионов на кубический сантиметр в секунду, при чем это образование предполагается равномерным по объему. В опытах Дебьерна образование ионов было, вообще, гораздо выше указанного значения и могло достигать значения $N = 10^{10}$; значит, с принятыми значениями для коэффициентов и с равномерным распределением ионов предельные расстояния, которые можно предвидеть, принимая во внимание восстановление, были бы значительно меньше действительно наблюдаемых и могли бы принять значение ниже 1 см .

Заметим, однако, что значения коэффициентов еще мало известны и что, кроме того, роль восстановления плохо поддается оценке с известною точностью. В самом деле, распределение ионов пред-

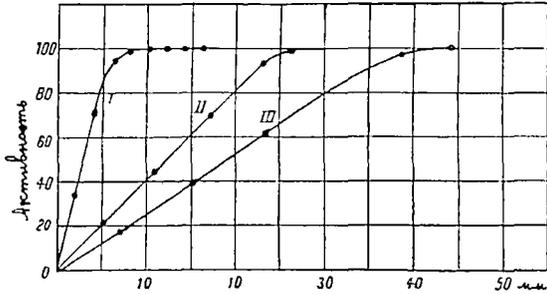
ставляется, какъ очень сложное явленіе. Іоны образуются въ опредѣленной точкѣ лучами, происходящими изъ другихъ областей; значить, мѣстная плотность іоновъ зависитъ отъ распредѣленія активнаго осадка и отъ способа, какимъ утилизируются лучи эманации или активнаго осадка между активными пластинками. Кроме того, іонизация лучами α представляетъ специальное отступленіе отъ равномерности; іоны распредѣляются въ колонны большой линейной плотности по направлению лучей (§ 145). Наконецъ, диффузія іоновъ къ поверхности пластинокъ также вліяетъ на распредѣленіе. Трудно, повидимому, создать при этихъ условіяхъ теорію, поддающуюся удовлетворительной численной повѣркѣ. Можно, однако, заключить, что роль возстановленія должна являться весьма важною при достаточной концентраціи іоновъ. Возстановленіе ведетъ къ пониженію разстоянія, на которомъ черпается активный осадокъ въ газѣ, и такъ какъ его значеніе растетъ вмѣстѣ съ концентраціей іоновъ, то отсюда должно вытекать, что, согласно опыту, кривая активированія пластинокъ въ функціи отъ свободнаго пространства (*черт.* 86) принимаетъ видъ, зависящій отъ концентраціи эманации.

Возможно, что незаряженныя частицы также поглощаются твердыми поверхностями въ значительной пропорціи. Наконецъ, можно думать, что явленія аггломерации и возстановленія происходятъ независимо. Мы видѣли, что изученіе перемѣщенія частицъ въ электрическомъ полѣ приводитъ къ приписыванію имъ подвижности, близкой къ подвижности газовыхъ іоновъ, которые, можетъ-быть, состояются аггломерациями массъ, въ нѣсколько разъ большихъ массы молекулы воздуха. Кроме того, достоверно, что въ присутствіи слѣдовъ водянаго пара находятся въ газѣ аггломерации, несущія активный осадокъ и достаточно значительныя, чтобы подвергнуться дѣйствию тяжести (§ 86). Однакожъ Дебьернъ не могъ отмѣтить никакого вліянія присутствія водянаго пара на явленіе диффузіи; значить, вѣроятно, что частицы, подвергающіяся дѣйствию тяжести, еще до аггломерации потеряли способность осѣдывать на твердыхъ стѣнкахъ.

Кривыя на *черт.* 87 позволяютъ сравнить активированіе въ функціи отъ разстоянія въ воздухѣ и въ водородѣ. Мы видимъ, что въ этомъ послѣднемъ газѣ кривая, полученная съ сильною концентраціей эманации, представляетъ съ кривою, полученною для той же концентраціи въ воздухѣ, большее расхожденіе, чѣмъ кривая, полученная въ воздухѣ же для слабой концентраціи. Этотъ результатъ объясняется большою диффузіонною скоростью частицъ въ водородѣ.

Можно было замѣтить, на нѣкоторыхъ кривыхъ, полученныхъ съ сильною концентраціей эманации, что активность пластинокъ, достигнувъ извѣстнаго предѣла для опредѣленнаго разстоянія, идетъ, слегка уменьшаясь, когда разстояніе между пластинками продолжаетъ увеличиваться. Повидимому, въ этомъ случаѣ имѣются въ газѣ подвергшіяся аггломерации частицы, которыя служатъ центрами осадка для индуктивной

Черт. 87



Продолжительность активирования: 5 минутъ.

- I, воздухъ, сильная концентрація,
 II, воздухъ, слабая концентрація,
 III, водородъ, сильная концентрація.

активности. Эта же причина можетъ способствовать уменьшенію разстоянія, на которомъ получается предѣльная активность.

Когда принимается въ расчетъ за-разъ образование, возстановленіе, самопроизвольное разрушеніе, диффузія и дѣйствіе поля, для концентраціи n заряженныхъ частицъ получается слѣдующее уравненіе:

$$D \frac{d^2 n}{dx^2} + q - (\lambda + \alpha n') n - \frac{d}{dx} (khn) = 0,$$

гдѣ k — подвижность этихъ частицъ.

Можно разсуждать теоретически о задачѣ касательно незаряженныхъ частицъ, допуская, что онѣ происходятъ отъ возстановленія заряженныхъ частицъ, что онѣ могутъ подвергаться диффузіи, самопроизвольному разрушенію и поглощаться твердыми поверхностями (1).

(1) Теоретическое изученіе условий осадка радія А было опубликовано Salpeter'омъ (Краковская Академія Наукъ, 1910 г.).

§ 86. Дѣйствіе тяжести на осадокъ индуктивной радіоактивности.—Когда активированіе происходитъ на пластинкахъ, введенныхъ въ активирующее помѣщеніе, поддерживаемое при очень постоянной температурѣ, можно констатировать значительное дѣйствіе тяжести на осадокъ индуктивной радіоактивности.

П. Кюри наблюдалъ, что, когда эманация радія содержится въ закрытомъ сосудѣ, внутренняя стѣнка котораго покрыта фосфоресцирующимъ сѣрнистымъ цинкомъ, свѣченіе этого вещества, подѣ дѣйствіемъ эманации, сосредоточивается мало-помалу въ нижнихъ частяхъ сосуда. Если сосудъ перевернуть, такъ чтобы свѣтящееся мѣсто очутилось наверху, это послѣднее мало-помалу исчезаетъ, въ то время какъ внизу возникаетъ новое свѣтящееся мѣсто. Положеніе этого мѣста, повидимому, не зависитъ отъ иныхъ внѣшнихъ причинъ, кромѣ ориентированія; въ частности, не зависитъ отъ близости магнитовъ или отъ температуры.

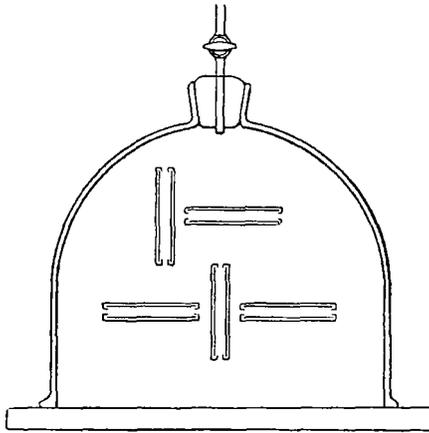
Можно было думать, что пылинки, наполняющія сосудъ и являющіяся радіоактивными отъ соприкосновенія съ эманацией, медленно падаютъ по направленію ко дну и образуютъ на нижней части стѣнки избытокъ радіоактивности по сравненію съ остальною поверхностью стѣнки. Я предприняла изученіе этого явленія по электрическому методу (1).

Подъ колоколомъ, содержащимъ эманацию, находились пары параллельныхъ пластинокъ съ однимъ и тѣмъ же раздвигомъ; у нѣкоторыхъ паръ пластинки были въ горизонтальномъ положеніи, у другихъ— въ вертикальномъ (*черт.* 88). Для каждой пары могли активироваться только поверхности, обращенныя другъ къ другу, въ то время какъ внѣшнія поверхности были защищены металлическими пластинками, покрывавшими ихъ до соприкосновенія. Эманация доставлялась въ извѣстномъ количествѣ растворомъ $0^{pp},05$ хлористаго радія; ее оставляли подѣ колоколомъ въ теченіи 2 или 3 дней, затѣмъ ее удаляли и изучали въ функціи отъ времени интенсивность лучеспусканія активныхъ поверхностей различныхъ пластинокъ. Кривыя убыванія этой активности, полученныя перекрестными измѣреніями, позволяютъ опредѣлить посредствомъ интерполированія активность различныхъ пластинокъ въ одинъ и тотъ же моментъ t , при чемъ время отсчитывается съ момента, когда всѣ пластинки одновременно были изъяты изъ-подѣ дѣйствія эманации. Чтобы избѣжать вліянія колебаній температуры,

(1) M^{me} Curie, *Comptes rendus*, 1907 г.

колоколь вставляли на все время активированія въ металлическій ящикъ, наполненный ватою и помѣщенный въ подвалъ.

Констатируется, что всѣ вертикальныя пластинки и всѣ горизонтальныя пластинки, обращенныя книзу, имѣютъ, при равной поверхности, одну и ту же активность; но горизонтальныя пластинки, обращенныя кверху, имѣютъ гораздо большую активность (въ 2—5 разъ большую въ моихъ опытахъ). Значить, все происходитъ такъ, какъ



Черт. 88

если бы индуктивная радиоактивность, повисшая въ газѣ, омывающемъ пластинки, вела бы себя на подобіе тяжелого тѣла и осѣдала бы книзу.

† Мы видѣли, что индуктивная радиоактивность ведетъ себя, какъ твердое тѣло, образующееся въ состояніи крайняго дробленія внутри газа, содержащаго эманацию, и осѣдающее на сосѣднія твердыя стѣнки либо подѣ дѣйствіемъ диффузіи, либо подѣ дѣйствіемъ метанія. Можно себя спросить, какъ эта матерія можетъ образовывать въ газѣ довольно значительныя аггломерации для пріобрѣтенія скорости паденія, проявленной только-что описаннымъ явленіемъ.

Можно было, въ особенности, предположить, что центрами аггломерации являются пылинки, висящія въ газѣ. Присутствіе газа, дѣйствительно, неизбѣжно; явленія паденія нѣтъ, когда активированіе происходитъ подѣ очень уменьшеннымъ давленіемъ (въ 2^{см} или 3^{см} ртутнаго столба). Можно изгнать пылинки, производя подѣ колоколомъ пустоту и впуская туда профильтрованный воздухъ; эта операція была повторена нѣсколько разъ; однимъ изъ тампоновъ, употреблявшихся

для фильтраціи воздуха, служилъ плотный слой стекляннѣй ваты на протяженіи 130^{см}. Однако, явленіе ни исчезало, ни измѣнялось значительно, когда разные опыты выполнялись съ одной и той же концентраціей эманациі подь колоколомъ.

Напротивъ, констатируется, что присутствіе водяного пара необходимо для возникновенія явленія. Когда воздухъ подь колоколомъ совершенно высушенъ, явленія болѣе нѣтъ, или оно не происходитъ замѣтнымъ образомъ. Получаются аналогичные результаты, если активированіе производится въ чистомъ углекисломъ газѣ или въ чистомъ водородѣ. Явленіе не происходитъ въ этихъ газахъ, когда они сухи, но оно происходитъ во влажномъ углекисломъ газѣ. Для образованія явленія не необходимо, чтобы водяные пары подь колоколомъ были насыщенными. Значительность явленія растетъ съ концентраціей эманациі и съ разстояніемъ между пластинками; для очень малыхъ разстояній (2^{мм}) явленіе не происходитъ; вообще, оно наблюдалось съ разстояніемъ между пластинками отъ 1^{см} до 3^{см}, но не ощущалось при слишкомъ слабой концентраціи эманациі.

Когда оперируютъ съ одной и той же концентраціей эманациі, съ однимъ и тѣмъ разстояніемъ между пластинками и съ однимъ и тѣмъ же газомъ, активность, приобретаемая всѣми пластинками, одна и та же, если нѣтъ явленія паденія. Но, когда это явленіе происходитъ, активность пластинокъ, обращенныхъ кверху, увеличивается, а активность пластинокъ, обращенныхъ книзу, уменьшается по отношенію къ значенію, которое получилось бы при отсутствіи отмѣченнаго явленія; это показываетъ, что источникъ активности, приобретаемой пластинками, находится въ раздѣляющемъ ихъ газѣ и что одна изъ нихъ можетъ увеличить свою активность только насчетъ другой.

Когда установлено интенсивное электрическое поле между горизонтальными пластинками, помѣщенными одна противъ другой, явленіе паденія маскируется. Въ этомъ случаѣ пластинка, заряженная отрицательно, всегда гораздо активнѣе пластинки, заряженной положительно, и это столь же вѣрно для поверхностей, обращенныхъ кверху, какъ и для поверхностей, обращенныхъ книзу.

Итакъ, аггломерациа активнаго осадка, содержащагося въ газѣ, связана съ присутствіемъ водяного пара. Однакожъ это такъ только относительно образованія аггломераций, достаточно значительныхъ, чтобы подвергнуться дѣйствию тяжести. Зависимость, существующая между активированіемъ и свободнымъ разстояніемъ, не подвержена ощутительному вліянію отъ присутствія небольшихъ количествъ водяного пара въ воздухѣ, содержащемъ эманацию.

Природу частицъ, подвергающихся дѣйствию тяжести, можно вывести изъ сравненія кривыхъ убыванія активности для пластинокъ, получающихъ тяжелый осадокъ, и для пластинокъ, не получающихъ его⁽¹⁾. Такимъ образомъ находимъ, что этотъ осадокъ составляется изъ радія В и радія С въ переменнѣйшей пропорціи; радій А не присутствуетъ, что указываетъ на то, что время, необходимое для образованія осадка, выше средней жизни радія А.

Равнымъ образомъ интересно дать себѣ отчетъ въ томъ, изсякаетъ ли дѣйствіе тяжести съ разстояніемъ между пластинками, какъ это имѣетъ мѣсто для явленія диффузіи. Для этого опредѣляютъ активность J тяжелого осадка въ функціи отъ свободнаго пространства d надъ пластинкою⁽²⁾. Законъ измѣненія зависить отъ пропорціи водяного пара въ газѣ; ее варьируютъ, вводя въ активирующее помещеніе смѣсь воды и сѣрной кислоты въ переменнѣйшей пропорціи. Во всѣхъ случаяхъ количество тяжелого осадка замѣтно пулевое для малыхъ разстояній; повидимому, оно становится ощутительнымъ, когда разстояніе оказывается близкимъ къ предѣльному значенію въ явленіи диффузіи, и затѣмъ продолжаетъ расти. При очень небольшой влажности газа активность J стремится также къ предѣльному значенію, которое достигается на разстояніи тѣмъ большимъ, чѣмъ сильнѣе пропорція водяного пара. Для достаточно высокой степени влажности активность растетъ до самыхъ большихъ наблюдавшихся разстояній безъ всякаго признака предѣла.

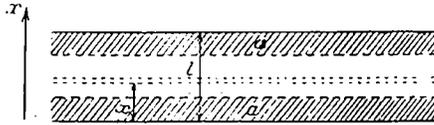
Эти факты можно истолковать, допуская, что толщина частицъ, подвергшихся аггломерацин, и ихъ скорость паденія увеличиваются со степенью влажности газа. Активные частицы, образующіяся на нѣкоторомъ разстояніи отъ пластинки, будутъ въ состояніи увеличить ея активность только въ томъ случаѣ, если могутъ достигнуть ея раньше, чѣмъ испытаютъ самопроизвольное разрушеніе.

Изъ наблюдаемаго предѣла можно вывести приближенное значеніе скорости паденія и толщины частицъ. Можно построить приближенную теорію явленія, допуская, что, согласно указаніямъ опыта, образованія аггломераций не происходитъ въ газовомъ слое, гдѣ совершается диффузія, но что внѣ этого слоя образованіе равномернѣе по осѣму. Также можно допустить, что скорость паденія v постоянна и одна и та же для всѣхъ частицъ.

(1) Wertenstein, *Comptes rendus*, 1909 г.

(2) См. предыдущую выводу.

Пусть тогда x будетъ разстояніе, отсчитываемое отъ нижней пластинки (черт. 89), n —концентрація частицъ на этомъ разстояніи, l —раздвигъ пластинокъ и $2a$ —предѣльное разстояніе, относящееся къ диффузіи въ условіяхъ опыта. Пусть q будетъ число частицъ, образующихся въ единицу времени въ единицѣ объема въ полезномъ пространствѣ, содержащемся между $x = a$ и $x = l - a$. Въ элементѣ объема, взятомъ между плоскостями x и $x + dx$ и имѣющемъ въ основаніи единицу поверхности, въ единицу времени образуется $q dx$ частицъ и исчезаетъ отъ самопроизвольнаго разрушенія $\lambda n dx$ частицъ.



Черт. 89

Съ другой стороны, число частицъ, пересѣкающихъ въ единицу времени въ своемъ паденіи нижнюю поверхность, есть nv , а число частицъ, пересѣкающихъ верхнюю поверхность, есть

$$v \left(n + \frac{dn}{dx} dx \right),$$

гдѣ $v \frac{dn}{dx} dx$ есть приращеніе числа частицъ въ элементѣ объема. По наступленіи длительного состоянія равновѣсія концентрація становится стационарною, и можно писать:

$$v \frac{dn}{dx} = \lambda n - q.$$

Интегрируя это уравненіе и замѣчая, что для $x = l - a$ должно имѣть $n = 0$, находимъ:

$$n = \frac{q}{\lambda} \left[1 - e^{-\frac{\lambda}{v}(l-a-x)} \right].$$

Это соотношеніе даетъ распредѣленіе частицъ въ полезномъ слоѣ. Для $x = a$ находимъ:

$$n = \frac{q}{\lambda} \left(1 - e^{-\frac{\lambda}{v}(l-2a)} \right).$$

Число частицъ, пересекающихъ плоскость $x = a$ въ единицу времени на единицѣ поверхности, равно nv . Число частицъ, получаемыхъ въ единицу времени на единицѣ поверхности пластинки, послѣ промежутка времени $\frac{a}{v}$ оказывается уменьшеннымъ въ силу самопроизвольнаго разрушенія и имѣетъ значеніе

$$N = \frac{qv}{\lambda} e^{-\frac{a\lambda}{v}} \left(1 - e^{-\frac{\lambda}{v}(l-2a)} \right).$$

Мы видимъ, что для $l = \infty$

$$N = N_{\infty} = \frac{qv}{\lambda} e^{-\frac{a\lambda}{v}},$$

откуда

$$N = N_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{\lambda}{v}(l-2a)} \right).$$

Предполагаемъ, что опытъ далъ разстояніе l , для котораго предѣльное значеніе N_{∞} достигается съ даннымъ приближеніемъ. Если, напр., положить

$$e^{-\frac{\lambda}{v}(l-2a)} = \frac{1}{100},$$

то можно отсюда вывести значеніе v , когда извѣстны λ , l и $2a$.

Опытъ показываетъ, что можно имѣть $l = 3^{\text{см}}$ въ условіяхъ, при которыхъ $2a = 1^{\text{см}}$, 5; если матерію, подвергающуюся паденію, принять за радій В, то имѣемъ:

$$\lambda = 4,3 \cdot 10^{-4} \frac{1}{\text{сек.}}.$$

При этихъ условіяхъ находимъ приближенно:

$$v = 10^{-4} \frac{\text{см.}}{\text{сек.}};$$

если приравнять плотность частицъ единицѣ, то, прилагая формулу Стокса (Stokes), выводимъ отсюда значеніе около $0^{\text{м}},1$ для луча частицъ. Эти измѣренія того же порядка, какъ и измѣренія частицъ, видимыхъ въ ультра-микроскопъ въ медленно падающемъ облакѣ (1).

(1) De Broglie, *Le Radium*, 1909 г.

§ 87. Вліяніе условій активированія на видъ кривой дезактивированія. Активный осадокъ, висящій въ газѣ.—Независимо отъ явленія окклюзіи эманации твердыми тѣлами, кривая дезактивированія этихъ послѣднихъ можетъ зависѣть въ нѣкоторой мѣрѣ отъ условій активированія. Правда, различія, паблюденыя съ этой точки зрѣнія, слабы, и можно сказать, вообще, что съ однимъ и тѣмъ же измѣрительнымъ приборомъ и съ активированными пластинками, не поглощающими замѣтнымъ образомъ эманации, кривыя, полученныя для одного и того же времени активированія, однѣ и тѣ же съ очень большимъ приближеніемъ. Можно варьировать размѣры активирующаго помѣщенія, концентрацію эманации, свободное разстояніе передъ активированною пластинкою. Можно также производить активированіе въ электрическомъ полѣ, и въ этомъ случаѣ можно изучать активность анода или катода. Во всѣхъ случаяхъ видъ кривой дезактивированія остается замѣтно неизмѣняющимся. Однако это не безусловно такъ.

За *нормальную кривую сравненія* можно принять кривую, которая получается съ пластинкою, активированною безъ помощи электрическаго поля и съ весьма незначительнымъ (1^{mm}) свободнымъ пространствомъ, въ которомъ активный осадокъ не можетъ застаиваться. Изслѣдуя внимательно кривыя, относящіяся къ пластинкамъ, активированнымъ съ бѣльшимъ свободнымъ пространствомъ, можно открыть въ нѣкоторыхъ случаяхъ небольшие различія, доказывающія, что пластинка получила отъ газа немного активного осадка, развитіе котораго уже болѣе продвинулось впередъ, чѣмъ развитіе нормального осадка. Газъ въ активирующемъ помѣщеніи содержитъ нѣкоторое количество висящаго активного осадка и можетъ его лишиться при прохожденіи чрезъ тампонъ изъ ваты или вслѣдствіе приложенія интенсивнаго электрическаго поля. Кривая дезактивированія послѣ краткой экспозиціи для проволоки, активированной при высокомъ отрицательномъ потенциалѣ, не вполне одна и та же, когда въ помѣщеніи до экспозиціи было установлено сильное поле и когда непосредственно до экспозиціи не было установлено никакого поля (¹); въ первомъ случаѣ газъ помѣщенія былъ очищенъ отъ активного осадка приложеніемъ электрическаго поля, увлекающаго этотъ осадокъ къ отрицательному электроду. Полученныя кривыя позволяютъ заключить, что состояніе, въ которомъ активный осадокъ прибываетъ на активируемое тѣло, можетъ зависѣть отъ времени, въ теченіи котораго активный осадокъ держался въ газѣ до своего осѣданія на тѣлѣ.

(¹) Schmidt, *Phys. Zeit.*, 1908 г.

Точно такъ же кривая возрастанія тока въ приемникѣ, въ который только-что впуцена эманация, можетъ оказаться не вполнѣ одною и тою же, смотря по тому, заключаетъ ли въ себѣ газъ, содержащій эманацию, активный осадокъ, или же онъ былъ очищенъ до впуска эманации. Всѣ эффекты этого рода тѣмъ опутительнѣе, чѣмъ сильнѣе концентрація эманации, и они усиливаются, когда газъ не избавленъ отъ пылинокъ; дѣйствительно, эти послѣднія служатъ центрами для осадка индуктивной радиоактивности и, осѣдая на твердыхъ тѣлахъ, причиняютъ беспорядокъ въ нормальномъ способѣ активирования, особенно когда оперируютъ съ помощью электрическаго поля. Поэтому лучше избѣгать употребленія поля во время активирования, когда идетъ дѣло о построеніи нормальныхъ кривыхъ.

Въ дѣйствительности существуетъ большое различіе между кривыми, соотвѣтствующими поверхностямъ двухъ пластинокъ, помѣщенныхъ во время активирования горизонтально одна противъ другой, въ одномъ и томъ же помѣщеніи, гдѣ нѣтъ никакого электрическаго поля. Если разстояніе между пластинками достаточно, поверхность, обращенная кверху, получаетъ тяжелый осадокъ, тогда какъ другая поверхность его не получаетъ. Кривую дезактивирования первой поверхности можно получить изъ сочетанія нормальной кривой съ кривою, относящейся къ нормальной же активности, но развившейся уже во время своего пребыванія въ газѣ до осажденія на пластинкѣ.

Такимъ образомъ нѣтъ сомнѣнія, что газы, содержащіе радиоактивные эманации, содержатъ также во взвѣшенномъ состояніи активные осадки этихъ эманаций. Эти активные осадки съ природою твердыхъ веществъ должны стремиться къ образованію аггломераций въ содержащемъ ихъ газѣ. Мы видѣли, какъ существованіе такихъ аггломераций становится вѣроятнымъ изъ опытовъ надъ вліяніемъ свободнаго разстоянія и тяжести на осадокъ индуктивной радиоактивности, также какъ и изъ опытовъ надъ подвижностью частицъ осадковъ. Въ газѣ, содержащемъ пылинки, эти послѣднія служатъ центрами аггломерации, и подвижность этихъ активныхъ пылинокъ зависитъ отъ ихъ толщины.

Sella ⁽¹⁾ наблюдалъ, что тихій разрядъ между остриемъ и пластинкою, помѣщенными въ активирующемъ помѣщеніи, влечетъ за собою полное лишеніе газа содержащагося въ немъ активнаго осадка; осадокъ собирается тогда пластинкою, каковъ бы ни былъ знакъ острія. Опытъ былъ произведенъ съ воздухомъ, содержащимъ и не

(¹) Sella, *Lincoi Rendic.*, 1902 г.

содержащимъ пылинкохъ (1). Въ обоихъ случаяхъ результатомъ тихаго разряда является увлечаніе активнаго осадка, но явленіе усиливается въ присутствіи пылинокъ.

§ 88. Радиоактивность, приобретаемая веществами, находящимися въ раствореніи вмѣстѣ съ активными веществами.—Когда радиоактивная руда, содержащая радій, подвергается, для извлеченія изъ нея этого тѣла, обработкѣ, совершаются, пока работа не продвинулась впередъ, химическія отдѣленія, послѣ которыхъ радиоактивность оказывается сполна съ однимъ изъ продуктовъ реакціи, въ то время какъ другой совершенно неактивенъ. Такимъ образомъ отдѣляютъ, съ одной стороны, излучающіе продукты, могущіе быть въ нѣсколько сотъ разъ активнѣе урана, съ другой стороны, мѣдь, антимоній, мышьякъ, и проч., абсолютно неактивные. Изъ другихъ тѣлъ нѣкоторыя (железо, свинецъ) никогда не были отдѣлены въ совершенно неактивномъ состояніи. По мѣрѣ того какъ излучающія тѣла концентрируются, картина мѣняется; никакое химическое отдѣленіе болѣе не доставляетъ совершенно неактивныхъ продуктовъ; всѣ порціи, происходящія отъ отдѣленія, всегда активны въ перемѣнныхъ степеняхъ.

Послѣ открытія индуктивной радиоактивности Гизель пробовалъ активировать обыкновенный неактивный висмутъ, выдерживая его въ растворѣ съ очень активнымъ радіемъ. Такимъ образомъ онъ получилъ радиоактивный висмутъ (2) и изъ этого заключилъ, что полоній, извлеченный изъ смоляной урановой руды, вѣроятно, былъ висмутъ, активированный близостью радія, содержащагося въ этой рудѣ.

Я равнымъ образомъ приготовила активированный висмутъ, выдерживая висмутъ въ растворѣ съ очень активной радіеносною солью (3). Трудности этого опыта заключаются въ той чрезвычайной тщательности, съ какою нужно исключать радій изъ раствора. Помня о томъ безконечно-маломъ количествѣ радія, котораго достаточно, чтобы произвести въ граммахъ вещества очень значительную радиоактивность, никогда не считаютъ активированный продуктъ достаточно промытымъ и очищеннымъ. Каждая же очистка влечетъ за собою пониженіе активности активированнаго продукта. Однако полученные результаты, повидимому, устанавливають съ достовѣрностью, что активированіе упорно проявляется послѣ отдѣленія радія. Такъ, производя дробленіе активированнаго азотнокислаго висмута посредствомъ осажденія азотнаго ра-

(1) Martinelli, *Nuovo Cimento*, 1908 г.

(2) Giesel, *Société de Physique de Berlin*, январь 1900 г.

(3) M^{me} Curie, *Thèse de doctorat*.

створа водою, я нашла, что послѣ весьма тщательной очистки онъ дробится подобно полонію, съ осажденіемъ первому наиболѣе активной части. Если очистка недостаточна, происходитъ наоборотъ, указывая, что слѣды радія еще находились съ активированнымъ висмутомъ. Я получила такимъ образомъ активированный висмутъ, для котораго характеръ дробленія указывалъ на большую чистоту и который былъ въ въ 2000 разъ активнѣе урана. Активность этого висмута уменьшается съ теченіемъ времени; однако нѣкоторые образцы сохраняютъ свою активность безъ чувствительнаго уменьшенія въ теченіи многихъ лѣтъ.

Точно такъ же можно активировать свинецъ и серебро, приводя ихъ въ раствореніе вмѣстѣ съ радіемъ. Полученная такимъ образомъ радиоактивность чаще всего почти не уменьшается съ теченіемъ времени, но, вообще, не выдерживаетъ нѣсколькихъ послѣдовательныхъ химическихъ очистокъ активированнаго металла.

Истолкованіе этихъ результатовъ въ матеріальной теоріи радиоактивности заключается въ допущеніи, что металлъ на самомъ дѣлѣ не приобрѣталъ никакой радиоактивности въ условіяхъ опыта, но увлекалъ съ собою радиоактивное вещество, находившееся въ растворѣ соли радія. Въ настоящее время извѣстно, что растворы соли радія могутъ содержать полоній, и въ тѣмъ сильнѣйшей пропорціи, чѣмъ старѣе приготовленіе радіевой соли; въ самомъ дѣлѣ, полоній есть одинъ изъ продуктовъ разрушенія радія и оказывается отдѣленнымъ во время приготовленія этого тѣла. Одновременно съ полоніемъ можно отдѣлить изъ раствора радіевой соли радиосвинецъ, поддерживающій активность полонія, такъ что активность можетъ сохраняться годами. Слѣды радиосвинца и полонія, вообще, столь ничтожны, что ихъ осажденіе сѣрнистымъ водородомъ безъ предварительнаго прибавленія вещества, осаждающагося тѣмъ же реактивомъ, невозможно.

Опыты Дебьерна надъ активированіемъ барія въ растворѣ съ активіемъ и опыты Беккереля надъ активированіемъ барія въ растворѣ съ ураномъ получили аналогичное истолкованіе (§ 55). Множество наблюдаемыхъ случаевъ того же рода теперь уже всѣ объясняются такимъ же образомъ. Вещество, производящее увлеченіе, не есть всякое, и вѣроятно, что оно должно имѣть химическое родство съ увлекаемымъ веществомъ.

§ 89. Опыты активированія однимъ только лучеиспусканіемъ активного вещества. Опыты активированія безъ присутствія радиоактивныхъ веществъ.—Индуктивная радиоактивность, происходящая отъ радія, торія или актинія, образуется только въ соприкосновеніи съ

эманациями, испускаемыми этими тѣлами; то же справедливо для индуктивной радиоактивности съ медленнымъ развитіемъ, происходящей отъ радія. Когда активное вещество заключено въ запаянную трубку даже очень тонкую, оно не производитъ активированія веществъ, помѣщенныхъ внѣ трубки и получающихъ лученоспусканіе. Опыты, произведенные съ цѣлью наблюдать такое явленіе, не дали положительныхъ результатовъ (1). Отсюда слѣдуетъ, что если и существуетъ эффектъ этого рода, то онъ, конечно, слабъ, и необходимы большія предосторожности, чтобы его констатировать съ увѣренностью.

Производились опыты съ цѣлью вызвать индуктивную радиоактивность внѣ дѣйствія радиоактивныхъ веществъ.

Villard (2) подвергалъ дѣйствию катодныхъ лучей кусокъ висмута, помѣщеннаго въ качествѣ антикатада въ Круксову трубку; этотъ висмутъ былъ такимъ образомъ сдѣланъ активнымъ, правду сказать, въ крайне слабой степени: потребовалось восемь дней позировки для полученія фотографическаго снимка.

Mac Lennan подвергалъ различныя соли дѣйствию катодныхъ лучей и затѣмъ пагрѣвалъ ихъ слегка. Эти соли приобрѣтали тогда свойство разряжать положительно заряженные тѣла (3).

Нельзя утверждать, что въ этихъ соляхъ возникала радиоактивность въ истинномъ смыслѣ этого слова; однако изслѣдованія этого рода представляютъ большой интересъ. Если бы, пользуясь извѣстными физическими агентами, было возможно создать въ первоначально неактивныхъ тѣлахъ значительную радиоактивность, то мы могли бы надѣяться имѣть такимъ образомъ указанія на причины самопроизвольной радиоактивности нѣкоторыхъ веществъ.

(1) Rutherford, *Radioactivity*.

(2) Villard, *Soc. de Phys.*, 1900 г.

(3) Mac Lennan, *Phil. Mag.*, 1902 г.

ГЛАВА ВОСЬМАЯ

Теорія превращеній радіоактивныхъ тѣлъ

§ 90. Теорія радиоактивности. — Изъ совокупности описанныхъ въ предыдущихъ главахъ явленій можно вывести слѣдующія общія положенія:

1. Существуетъ рядъ радиоактивныхъ веществъ, обнаруживающихъ съ разныхъ точекъ зрѣнія извѣстныя свойства матеріи въ ея газовомъ или твердомъ состояніи и обладающихъ радиоактивностью не постоянно, но исчезающею болѣе или менѣе быстро съ теченіемъ времени. Таковы пологій, радиоактивныя эманации, осадки индуктивныхъ радиоактивностей.

2. Въ нѣкоторыхъ случаяхъ констатируется, что наблюдаемая радиоактивность увеличивается съ теченіемъ времени. Такъ это бываетъ для свѣже приготовленнаго радія, для только-что введенныхъ въ измѣрительный приборъ эманаций, для осадковъ индуктивныхъ радиоактивностей въ начальной фазѣ ихъ развитія, для индуктивной радиоактивности радія съ медленной эволюціей, для торія, лишеннаго торія X, и проч.

Наиболѣе удовлетворительное объясненіе этихъ явленій заключается въ допущеніи, что всякій разъ, какъ наблюдается уменьшеніе радиоактивности, происходитъ разрушеніе радиоактивной матеріи, и всякій разъ, какъ наблюдается увеличеніе активности, происходитъ образованіе радиоактивной матеріи. Кромѣ того, когда наблюдается увеличеніе, подобное увеличенію, происходящему, напр., для радія, который былъ приведенъ къ своей минимальной активности, или для торія, который былъ подвергнутъ обработкѣ съ цѣлью отдѣлить сполна торій X, то констатируется, что та активность, которая возобновляется постепенно, не одной и той же природы съ той, которую нельзя было

отдѣлить, но одной природы съ той, которую можно было отдѣлить и которая обладаетъ вполне отличительными признаками; съ точнымъ опредѣленіемъ послѣднихъ мы ознакомимся всесторонне. Можно допустить, что всякій опредѣленный родъ лучей пригоденъ для характеристики матеріи, служащей для нихъ источникомъ, появляется и исчезаетъ вмѣстѣ съ нею.

Кромѣ того, важно подчеркнуть тотъ фактъ, что радиоактивность есть свойство существенно атомическое, такъ что *всякое созданіе, или разрушеніе, рода радиоактивности, отличнаго отъ прочихъ, соответствуетъ созданію, или разрушенію, атомовъ нѣкоторой радиоактивной матеріи.*

Мы скажемъ, напр., становясь на эту точку зрѣнія, что радій есть источникъ образованія атомовъ газа, называемаго *эманацией*; что атомы эманации способны испытывать самопроизвольное разрушеніе, сопровождающееся образованіемъ атомовъ активного осадка, которые, въ свою очередь, также разрушаются. Такъ какъ образованіе атомовъ активного осадка связано съ разрушеніемъ атомовъ эманации, то естественно допустить, что атомы активного осадка образуются насчетъ разрушенныхъ атомовъ эманации.

Разрушенія радія нельзя было наблюдать непосредственно; можно, однако, предположить, что это разрушеніе дѣйствительно происходитъ, будучи въ то же время слишкомъ медленнымъ, чтобы его можно было констатировать, и что атомы радія порождаютъ, разрушаясь, образованіе атомовъ эманации.

Можно, вообще, допустить, что всякое радиоактивное тѣло находится на пути къ разрушенію, болѣе или менѣе быстрому, и что не можетъ быть достигнуто никакого устойчиваго состоянія, пока превращеніе порождаетъ образованіе другого равнымъ образомъ радиоактивнаго тѣла. Устойчивость можетъ быть осуществлена только для неактивной матеріи.

Только-что изложенная теорія есть теорія превращенія химическихъ элементовъ. Эта теорія одна изъ тѣхъ, которыя возникли для объясненія явленій радиоактивности, почти тотчасъ послѣ открытія урановаго лучеспусканія. Точный видъ, подъ которымъ эта теорія принята въ настоящее время, является работою Рутерфорда и Содди (1). Вотъ каковъ былъ ходъ развитія идей въ этомъ направленіи.

Съ самаго начала изслѣдованій надъ радиоактивностью самопро-

(1) Rutherford и Soddy, *Phil. Mag.*, 1903 г.

извольность лучеспусканія урана наводила на вопросъ, что могло быть источникомъ энергій, проявляющейся въ эффектахъ, производимыхъ этимъ тѣломъ, энергій съ крайне ничтожною, по всей очевидности, убылью, но происхождение которой оставалось, однако, таинственнымъ. Тогда были предложены различныя гипотезы для объясненія явленія. Я отмѣтила разныя возможныя гипотезы въ очень старой статьѣ по этому вопросу (1). Эти гипотезы были слѣдующія:

1. Лучеспусканіе есть изверженіе матеріи, сопровождающееся потерей въ вѣсѣ радиоактивныхъ веществъ.

2. Лучеспусканіе сопровождается уменьшеніемъ полезной энергій радиоактивныхъ веществъ. Радиоактивность принадлежала бы, напр., элементамъ съ большимъ атомнымъ вѣсомъ, эволюція которыхъ еще не закончена.

3. Лучеспусканіе есть вторичное изверженіе, вызываемое лучами, аналогичными лучамъ Рѣнтгена. Эти лучи-возбудители существуютъ въ пространствѣ и поглощаются только элементами съ большимъ атомнымъ вѣсомъ.

4. Лучеспусканіе происходитъ насчетъ теплоты окружающей среды, въ противность принципу Карно. Здѣсь имѣлся бы примѣръ достаточно малаго механизма для превращенія во внѣшнюю работу живой силы молекулъ. Лучеспусканіе было бы, въ нѣкоторомъ родѣ, отраженіемъ не координированныхъ движеній матеріальныхъ молекулъ.

Гипотезы 1 и 2 допускаются теоріей распада радиоактивныхъ элементовъ. Гипотеза 3 подала поводъ къ нѣсколькимъ контрольнымъ опытамъ, приведеннымъ въ главѣ IV и оказавшимся въ результатѣ неблагоприятными для гипотезы.

Гипотеза, аналогичная 4-ой, была предложена Круксомъ, который предположилъ, что энергія, выдѣляемая радиоактивными веществами, заимствовалась отъ кинетической энергій молекулъ окружающаго газа (2). Однакожь Эльстеръ и Гейтель нашли, что лучеспусканіе въ воздухѣ подъ атмосфернымъ давленіемъ не болѣе интенсивно, чѣмъ въ наилучшей пустотѣ, какую они могли получить (3).

Теоретическій интересъ къ природѣ радиоактивности значительно возросъ послѣ открытія сильно радиоактивныхъ веществъ, порождающихъ выдѣленіе гораздо болѣе значительной энергій, чѣмъ та, которая наблюдалась съ ураномъ. На конференціи въ Парижѣ, въ июнѣ

(1) M^{me} Curie, *Rev. gén. des Sc.*, 1899 г.

(2) Crookes, *Comptes rendus*, 1899 г.

(3) Elster и Geitel, *Wied. Ann.*, 1898 г.

1900 г., я имѣла случай возобновить рѣчь о возможныхъ причинахъ радиоактивныхъ явленій (1) и подчеркнуть тотъ фактъ, что можно было допустить главнымъ образомъ двѣ основныхъ гипотезы. Одна изъ нихъ была та, по которой выдѣленіе эрергии радиоактивныхъ веществъ разсматривалось, какъ несовмѣстное съ принципами ученія объ эрергии, въ особенности съ принципомъ Карно. Другая гипотеза, болѣе спеціально принятая во вниманіе, была та, по которой радиоактивные атомы находятся на пути къ превращенію. Вотъ какъ она была изложена: «Радиоактивная матерія есть матерія, въ которой царитъ состояніе бурнаго внутренняго движенія, матерія въ процессѣ распада. Если это такъ, то радій долженъ постоянно терять въ своемъ вѣсѣ... Принимая эту теорію, приходится допустить, что радиоактивная матерія находится не въ обычномъ химическомъ состояніи; атомы въ ней составлены неустойчиво, потому что излучаются частицы меньше атома, и подъатомы находятся въ движеніи. Такимъ образомъ радиоактивная матерія испытываетъ химическое превращеніе, служащее источникомъ излучаемой эрергии; но это не есть обычное химическое превращеніе, такъ какъ обычные химическія превращенія оставляютъ атомъ нетронутымъ. Въ радиоактивной матеріи если что-либо и измѣняется, такъ это неизбежно атомъ, потому что съ атомомъ-то и связана радиоактивность» (2).

Можно, притомъ, замѣтить, что теорія, по которой всякое образованіе или разрушеніе радиоактивности связано съ образованіемъ или разрушеніемъ радиоактивныхъ атомовъ, принимаетъ за существенное основаніе тотъ экспериментальный фактъ, что радиоактивность есть атомическое явленіе. Съ этой точки зрѣнія теорія превращеній радиоактивныхъ тѣлъ представляетъ естественное расширеніе основныхъ идей, приведшихъ насъ, П. Кюри и меня, къ открытію полонія и радія.

Изученіе лучей β и ихъ тождественности съ катодными лучами повело къ различнымъ представленіямъ о радиоактивномъ атомѣ. Такъ Реггин (3) предлагалъ для атома представленіе, какъ о малень-

(1) M^{me} Curie, *Revue scientifique*, 1900 г.

(2) Эти строки, написанныя мною въ 1900 г., въ согласіи съ П. Кюри, ясно доказываютъ, что уже въ это время теорія атомическаго превращенія радиоактивныхъ элементовъ являлась для насъ вполне вѣрною. Если П. Кюри продолжалъ считать возможными и другія истолкованія, то это потому, что вопросъ далеко еще не былъ рѣшенъ съ экспериментальной точки зрѣнія. П. Кюри сохранялъ въ теченіи нѣсколькихъ лѣтъ, въ своихъ опубликованіяхъ, очень общую форму идеи о радиоактивныхъ явленіяхъ.

(3) Reggin, *Revue scientifique*, 1901 г.

кой планетной системѣ, въ которой корпускулы, наиболѣе удаленныя отъ центра притяженія, могутъ наиболѣе легко отрываться. Беккерель (¹) предлагалъ разсматривать атомъ, какъ сочетаніе заряженныхъ положительно или отрицательно частицъ, согласно теоріямъ J.-J. Thomson'a; частицы, заряженныя отрицательно, составили бы лучи β , частицы, заряженныя положительно, составили бы лучи α , и имѣлись бы также незаряженныя частицы, составляющія эманацию и могущія образовать матеріальный осадокъ индуктивной радіоактивности на твердыхъ тѣлахъ; частицы этого осадка подвергались бы, въ свою очередь, дробленію, порождающему испусканіе матеріальныхъ лучей.

Рутерфордъ допустилъ, съ 1900 г., что эманации и осадки индуктивной радіоактивности—матеріальной природы. Послѣ своихъ опытовъ надъ химическою природою эманаций Рутерфордъ и Содди уподобляли эти послѣднія инертнымъ газамъ группы аргона. Наконецъ, во время изслѣдованій надъ отдѣленіемъ торія X изъ торія эти же ученые допустили, въ 1902 г. (²), что торій X есть матерія, химически отличная отъ торія и непрерывно образуемая этимъ послѣднимъ, но испытывающая въ то же время самопроизвольное разрушеніе по характерному закону. Постоянная радіоактивность торія вытекала такимъ образомъ изъ равновѣсія между образованіемъ торія X и его самопроизвольнымъ разрушеніемъ. Рутерфордъ и Содди считали съ того времени, что радіоактивность обязана, вообще, *атомическому распаденію* (*désintégration atomique*). Кромѣ того, изъ работы, выполненной Рутерфордомъ въ 1905 г., вытекало, что лучи α являются, по всей вѣроятности, положительно заряженными частицами, атомныхъ размѣровъ, выбрасываемыхъ съ большою скоростью радіоактивными тѣлами. Значить, можно было допустить, что отбытіе такой частицы влечетъ за собою разрушеніе атома, отъ котораго она происходитъ. Различные опыты надъ радіоактивными эманациями (диффузія, сгущеніе при низкой температурѣ, раствореніе въ жидкостяхъ, и проч.), производившіеся около того же времени, подкрѣпляли гипотезу о матеріальной природѣ радіоактивныхъ эманаций. Основываясь на совокупности этихъ фактовъ, Рутерфордъ и Содди дали, въ 1903 г., подробную теорію радіоактивныхъ явленій, разсматривая ихъ, какъ результатъ распадѣнія атомовъ; въ то же время они указали различныя слѣдствія изъ предложенной теоріи (³).

(¹) Becquerel, *Comptes rendus*, 1901 г.

(²) Rutherford и Soddy, *Phil. Mag.*, 1902 г.

(³) Rutherford и Soddy, *Phil. Mag.*, май 1903 г.

Открытие, П. Кюри и Лябордомъ, самопроизвольнаго выдѣленія теплоты радіемъ относится къ началу 1903 г. (1). Это очень важное открытие показало, какъ значительно выдѣленіе энергіи радія. Атомъ-граммъ радія (226^{Pp}) выдѣляетъ въ теченіи каждаго часа количество теплоты, подобное количеству, выдѣляющемуся при сжиганіи въ кислородѣ атома-грамма водорода. П. Кюри и Лябордъ выражались по этому поводу такъ: «Непрерывное выдѣленіе такого количества теплоты нельзя объяснить обычнымъ химическимъ превращеніемъ. Если искать начало образованія теплоты во внутреннемъ превращеніи, то это превращеніе должно быть болѣе глубокой природы и должно быть обязано измѣненію самого атома радія. Подобное превращеніе, если оно существуетъ, совершается съ крайнею медленностью, такъ какъ свойства радія не испытываютъ значительнаго измѣненія въ теченіи многихъ лѣтъ. Поэтому, если предыдущая гипотеза вѣрна, энергія, замѣшанная въ преобразованіи атомовъ, была бы чрезвычайно велика». П. Кюри и Лябордъ указывали въ той же замѣткѣ, что выдѣленіе теплоты также можно было бы объяснить допущеніемъ, что радій утилизируетъ внѣшнюю энергію.

Около того же времени J.-J. Thomson также поддерживалъ мнѣніе, по которому выдѣленіе энергіи радія должно было приписывать атомическому превращенію, и отмѣчалъ, что количества энергіи, замѣшанныя въ сжатіи атомовъ, могутъ быть значительны (2).

Наконецъ, въ 1903-мъ же году произошло открытіе Рамзаемъ и Содди того крайне важнаго факта, что радій порождаетъ непрерывное образованіе газа гелія (3). Такимъ образомъ въ первый разъ получалось образованіе совершенно опредѣленнаго химическаго элемента, гелія, изъ другого химическаго элемента, равнымъ образомъ очень опредѣленнаго и надѣленнаго радиоактивностью, радія, и въ этомъ заключалось такъ сказать рѣшающее доказательство въ пользу теоріи превращенія радиоактивныхъ тѣлъ.

Мы видимъ, какъ велико число фактовъ, полученныхъ въ 1903 г., и какъ значительно движеніе идей, явившееся ихъ слѣдствіемъ. Установливалось все болѣе и болѣе твердое основаніе для теоріи атомическаго превращенія радиоактивныхъ тѣлъ. Эта теорія въ точномъ видѣ, который ей придали Рутерфордъ и Содди, является весьма полезною для опытнаго изслѣдованія и оправдывается въ подробностяхъ

(1) Curie и Laborde, *Comptes rendus*, мартъ 1903 г.

(2) Thomson, *Nature*, 1903 г.

(3) Ramsay и Soddy, *Nature*, 1903 г.

во множествѣ вопросовъ, подчасъ весьма важныхъ. Рутерфорду и Содди мы обязаны многими смѣлыми и остроумными идеями, которыя тотчасъ же вдохнули конкретную жизнь въ теорію и послужили такимъ образомъ точкою отправленія для многочисленныхъ изслѣдованій. Приведемъ, напр., мнѣніе, что эманации—радіоактивные газы и что индуктивные радіоактивности обязаны осадкамъ твердыхъ веществъ; что индуктивная радіоактивность радія съ медленной эволюціей обязана веществамъ, которыя могутъ быть отождествлены съ радіоактивными тѣлами, содержащимися въ урановыхъ рудахъ, и что, въ частности, полоній есть продуктъ распада радія; что радій долженъ непрерывно образовываться въ урановыхъ рудахъ, что частицы α —атомы гелія. Различныя приближенныя вычисленія, предложенныя Рутерфордомъ, также сильно содѣйствовали успѣхамъ теоріи.

§ 91. Теорія превращенія только одного вещества. — Основанія теоріи могутъ быть представлены слѣдующимъ образомъ:

1. Всякая простая радіоактивная матерія разрушается самопроизвольно по свойственному ей показательному закону, который можетъ служить для ея характеристики. Если N_0 атомовъ этого вещества существуютъ во время $t=0$ и N атомовъ во время t , то будемъ имѣть:

$$N = N_0 e^{-\lambda t},$$

гдѣ λ —характеристичная постоянная, называемая *радіоактивною постоянною* разсматриваемаго вещества, и e —основаніе натуральныхъ логарифмовъ.

Одновременно имѣемъ:

$$\frac{dN}{dt} = -N_0 \lambda e^{-\lambda t} = -\lambda N.$$

Слѣдовательно, число атомовъ, разрушающихся въ единицу времени, есть всегда одна и та же дробь, равная λ , отъ числа N наличныхъ атомовъ въ разсматриваемое время.

Химическая реакція, происходящая по этому закону, т.-е. такая реакція, скорость которой была бы въ каждый моментъ пропорціональна числу молекулъ вещества, подвергающагося превращенію, называется въ химіи *необратимою мономолекулярною реакціей*.

Время, потребное для того, чтобы число атомовъ уменьшилось на половину, есть равнымъ образомъ характеристичная постоянная превращенія. Для вычисленія этого времени T , которое можно называть *періодомъ*, пишемъ:

$$e^{-\lambda T} = \frac{1}{2}, \quad T = \frac{\log 2}{\lambda \log e},$$

при чемъ логарифмы взяты десятичные.

Можно, накопецъ, опредѣлить третью постоянную, связанную съ λ и съ T и могущую равнымъ образомъ служить для характеристики превращенія. Для этого можно написать:

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\theta}};$$

постоянная θ есть въ такомъ случаѣ время, которое можетъ быть названо *среднею жизнью* вещества.

Пусть, въ самомъ дѣлѣ, N будетъ число атомовъ, существующихъ во время t . Число разрушенныхъ атомовъ въ теченіи времени dt равно $\lambda N dt$; эти атомы существовали въ теченіи времени t . Слѣдовательно, средняя жизнь атома вычислится по формулѣ

$$\frac{1}{N_0} \sum t \lambda N dt = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} \lambda N t dt = \frac{\lambda}{N_0} \int_0^{\infty} N_0 t e^{-\lambda t} dt = \frac{1}{\lambda} = \theta.$$

Интегралъ $\int_0^{\infty} \lambda N t dt$ представляетъ площадь S между кривою

$N = f(t)$ и осями. Время θ есть такая средняя абсцисса, что $N_0 \theta = S$.

Напр., для эманации радія имѣемъ:

$$\lambda = 2,085 \cdot 10^{-6} \frac{1}{\text{сек.}}, \quad T = 3,85 \text{ дн.}, \quad \theta = 5,55 \text{ дн.} = 133,2 \text{ час.}$$

2. Лучеиспускание простого радиоактивнаго вещества пропорціо-
нально числу атомовъ, разрушающихся въ единицу времени, и, слѣ-
довательно, также числу наличныхъ атомовъ въ данный моментъ.

Радиоактивное вещество, находящееся на пути къ разрушенію, сохраняетъ, тѣмъ не менѣе, свои свойства неизмѣнными до предѣ-
ловъ наблюденія, какіе могутъ быть достигнуты. Такъ радиоактивная
постоянная эманации радія не зависитъ отъ концентраціи этой послѣд-
ней и не измѣняется по мѣрѣ уменьшенія количества эманации. Отсюда
должно заключить, что эманация, еще остающаяся по прошествіи нѣ-
котораго времени, точно такой же природы, какъ и первоначальная
эманация. Такимъ образомъ мы видимъ, что превращеніе не можетъ

простирается на все атомы за-разъ, но только на дробь отъ числа атомовъ въ данное время. Можно представить себѣ, что въ каждую единицу времени разрушается нѣкоторое число атомовъ, производя, въ нѣкоторомъ родѣ, взрывъ, въ то время какъ прочіе атомы остаются безъ измѣненія.

Атомъ, производящій взрывъ, есть атомъ, который по какой-то причинѣ болѣе не обладаетъ устойчивой конфигураціей; послѣ вспышки происходитъ длительная или временная перестройка атома въ новую конфигурацію, представляющую атомъ, химически отличный отъ только-что разрушеннаго.

Лучеспусканіе есть признакъ превращенія атома. Это послѣднее сопровождается выталкиваніемъ матеріальныхъ частицъ, несущихъ электрическіе заряды и надѣленныхъ большими скоростями, и излученіемъ электромагнитныхъ возмущеній въ окружающее пространство.

§ 92. Случай двухъ и трехъ веществъ. — Можно построить различныя гипотезы относительно превращенія радиоактивной матеріи A въ радиоактивную матерію B . Можно предположить, что каждый атомъ матеріи A порождаетъ, разрушаясь, образованіе n атомовъ матеріи B . Тогда, обозначая черезъ A и B числа атомовъ обѣихъ матерій во время t и черезъ a и b радиоактивныя постоянныя обѣихъ матерій, будемъ имѣть:

$$A = A_0 e^{-at},$$

гдѣ A_0 есть значеніе числа A во время $t = 0$,

$$\frac{dA}{dt} = -aA. \quad (1)$$

Каждый атомъ матеріи A производитъ, разрушаясь, n_1 атомовъ матеріи B , скорость самопроизвольнаго разрушенія которыхъ равна, притомъ, bB . Такимъ образомъ для матеріи B будемъ имѣть:

$$\frac{dB}{dt} = n_1 a A - bB.$$

Если матерія A разрушается очень медленно, A остается замѣтно постояннымъ, и можно положить

$$n_1 a A = \Delta.$$

Если, кромѣ того, $B = 0$ для $t = 0$, то

$$B = B_{\infty}(1 - e^{-bt}) \quad \text{съ} \quad B_{\infty} = \frac{A}{b}.$$

Этотъ случай мы уже разсмотрѣли при установленіи закона накопленія эмацiи радія въ закрытомъ помѣщеніи (§ 68).

Когда скорости разрушенія матерій A и B сравнимы, числа атомовъ матерій A и B во время t находимъ, рѣшая систему дифференціальныхъ уравненій

$$\left. \begin{aligned} \frac{dA}{dt} &= -aA, \\ \frac{dB}{dt} &= -bB + n_1 aA. \end{aligned} \right\} \quad (\text{II})$$

Зная значеніе числа A изъ формулы (I), получаемъ для B значеніе

$$B = \frac{n_1 a A_0}{b - a} e^{-at} + \left(B_0 + \frac{n_1 a A_0}{a - b} \right) e^{-bt},$$

гдѣ A_0 и B_0 соотвѣтственные значенія чиселъ A и B во время 0. Можно разсмотрѣть B , какъ сумму двухъ членовъ

$$B = B_1 + B_2,$$

$$B_1 = \frac{n_1 a A_0}{b - a} (e^{-at} - e^{-bt}), \quad B_2 = B_0 e^{-bt}.$$

Членъ B_1 соотвѣтствуетъ количеству вещества B , которое въ моментъ t вытекаетъ изъ превращенія начальнаго количества вещества A . Это же рѣшеніе выводится изъ системы, когда принимаются во вниманіе начальныя условія

$$A = A_0, \quad B = 0 \quad \text{для} \quad t = 0.$$

Членъ B_2 представляетъ количество вещества B , еще остающееся по прошествіи времени t отъ начальнаго количества B_0 . Это рѣшеніе—того же вида, какъ и рѣшеніе (I). Оно представляетъ, притомъ, полное рѣшеніе системы (II) для начальныхъ условій

$$A_1 = 0, \quad B = B_0 \quad \text{для} \quad t = 0.$$

Дѣйствительно, при этихъ условіяхъ система (II) упрощается и приводится къ одному только уравненію, аналогичному (I),

$$\frac{dB}{dt} = -bB.$$

Исследуем теперь случай трехъ веществъ A , B , C , начальныя количества которыхъ равны соотвѣтственно A_0 , B_0 , C_0 и каждое изъ которыхъ происходитъ отъ превращенія предшествующаго. Значенія A , B и C во время t удовлетворяютъ системѣ дифференціальныхъ уравненій

$$\left. \begin{aligned} \frac{dA}{dt} &= -aA, \\ \frac{dB}{dt} &= -bB + n_1aA, \\ \frac{dC}{dt} &= -cC + n_2bB, \end{aligned} \right\} \quad (\text{III})$$

гдѣ n_1 —число атомовъ вещества B , происходящихъ изъ атома вещества A , и n_2 —число атомовъ вещества C , происходящихъ изъ атома вещества B .

Такъ какъ значенія чиселъ A и B извѣстны по предыдущему вычисленію, то достаточно найти значеніе числа C . Для этого послѣдняго получаемъ:

$$\begin{aligned} C &= C_1 + C_2 + C_3, \\ C_1 &= n_1 n_2 a b A_0 \left[\frac{e^{-at}}{(b-a)(c-a)} + \frac{e^{-bt}}{(a-b)(c-b)} + \frac{e^{-ct}}{(a-c)(b-c)} \right], \\ C_2 &= \frac{n_2 b B_0}{c-b} (e^{-bt} - e^{-ct}), \\ C_3 &= C_0 e^{-ct}. \end{aligned}$$

Членъ C_1 представляетъ количество матеріи C , которое въ моментъ t вытекаетъ изъ превращенія начальнаго количества вещества A .

Членъ C_2 представляетъ количество матеріи C , которое въ моментъ t вытекаетъ изъ превращенія начальнаго количества матеріи B .

Членъ C_3 представляетъ количество матеріи C , которое въ моментъ t остается отъ начальнаго количества C_0 .

Можно замѣтить, что членъ C_2 есть рѣшеніе системы, аналогичной системѣ (II) и выводимой изъ системы (III) посредствомъ опущенія всѣхъ членовъ съ A . Точно такъ же членъ C_3 есть рѣшеніе уравненія, аналогичнаго уравненію (I), къ которому приводится система (III), если опустить въ ней всѣ члены съ A и съ B .

Рѣшеніе, дающее N_m , есть линейное сочетаніе m показательныхъ функций, характеризуемыхъ m коэффициентами λ .

Это рѣшеніе можно представить подѣ видомъ суммы m членовъ

$$N_m = N_{m,1} + N_{m,2} + \dots + N_{m,m}. \quad (V)$$

Членъ $N_{m,1}$ представляетъ количество вещества N_m , вытекающее въ моментъ t изъ превращенія матеріи 1. Пусть $N_{1,0}$ будетъ количество этого вещества въ моментъ 0. Находимъ:

$$N_{m,1} = n_1 n_2 \dots n_{m-1} \lambda_1 \lambda_2 \dots \lambda_{m-1} N_{1,0} \left[\frac{e^{-\lambda_1 t}}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_m - \lambda_1)} + \frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_1 - \lambda_2)(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_m - \lambda_2)} + \dots + \frac{e^{-\lambda_m t}}{(\lambda_1 - \lambda_m)(\lambda_2 - \lambda_m) \dots (\lambda_{m-1} - \lambda_m)} \right].$$

Слѣдующій членъ $N_{m,2}$ соотвѣтствуетъ только-что написанному члену въ рѣшеніи задачи, куда входятъ $m - 1$ веществъ 2, 3, ..., m . Поэтому, прилагая ту же общую формулу, можно писать:

$$N_{m,2} = n_2 n_3 \dots n_{m-1} \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_{m-1} N_{2,0} \left[\frac{e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_m - \lambda_2)} + \dots + \frac{e^{-\lambda_m t}}{(\lambda_2 - \lambda_m) \dots (\lambda_{m-1} - \lambda_m)} \right].$$

Точно такъ же получаютъ и слѣдующіе члены до послѣдняго, для котораго находимъ:

$$N_{m,m} = N_{m,0} e^{-\lambda_m t}.$$

Предыдущіе теоретическіе результаты позволяютъ находить рѣшеніе всѣхъ задачъ, относящихся къ радиоактивнымъ превращеніямъ. Вотъ нѣсколько приложений:

1. Разсматривается семейство m радиоактивныхъ матерій, изъ которыхъ только первое существуетъ во время $t = 0$. Каковы будутъ въ моментъ t количества всѣхъ матерій?

Рѣшеніе этой задачи дается непосредственно теоріей. Достаточно въ формулахъ положить

$$N_{2,0} = N_{3,0} = \dots = N_{m,0} = 0.$$

радіоактивнихъ постоянныхъ пренебречь λ_1 по отношенію къ прочимъ постояннымъ ряда. Такимъ образомъ получаемъ приближенныя значенія

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= N_{1.0} e^{-\lambda_1 t}, \\ N_2 &= \frac{n_1 \lambda_1 N_{1.0}}{\lambda_2} e^{-\lambda_1 t}, \\ &\dots \dots \dots \\ N_m &= \frac{n_1 n_2 \dots n_{m-1} \lambda_1 N_{1.0}}{\lambda_m} e^{-\lambda_1 t}. \end{aligned} \right\} \quad (\text{IX})$$

Тогда между количествами N_1, N_2, \dots, N_m имѣютъ мѣсто слѣдующія соотношенія:

$$N_1 \lambda_1 = \frac{N_2 \lambda_2}{n_1} = \dots = \frac{N_m \lambda_m}{n_1 n_2 \dots n_{m-1}}.$$

Эти соотношенія осуществляются тѣмъ съ большею степенью приближенія, чѣмъ меньше отношенія $\frac{\lambda_1}{\lambda_2}, \dots, \frac{\lambda_1}{\lambda_m}$.

Въ частномъ случаѣ, когда $n_1 = n_2 = \dots = n_m = 1$, т.-е. въ томъ случаѣ, когда каждый распадающійся атомъ порождаетъ образованіе только одного атома слѣдующаго вещества, эти соотношенія принимаютъ видъ

$$N_1 \lambda_1 = N_2 \lambda_2 = \dots = N_m \lambda_m.$$

Значитъ, тогда числа атомовъ присутствующихъ веществъ обратно пропорціональны радіоактивнымъ постояннымъ, или пропорціональны среднимъ жизнямъ веществъ.

Числа атомовъ, разрушающихся въ единицу времени, въ этомъ случаѣ одни и тѣ же для всѣхъ веществъ.

Возможность стаціонарнаго равновѣсія опредѣляется условіемъ, что среднія жизни производныхъ веществъ кратки по сравненію съ среднею жизнью первичнаго вещества. Стаціонарное состояніе устанавливается тѣмъ быстрее, чѣмъ короче среднія жизни производныхъ веществъ.

Когда средняя жизнь первичнаго вещества настолько долга, что ея убыванія нельзя замѣтить ни для какого доступнаго значенія времени, стаціонарное равновѣсіе является радіоактивнымъ равновѣсіемъ практически длительнымъ, т.-е. что количества производныхъ веществъ сами достигаютъ постоянныхъ предѣльныхъ значеній. Показательную

функцію $e^{-\lambda_1 t}$ можно въ этомъ случаѣ приравнять единицѣ для всѣхъ значеній времени, и формулы (IX) примутъ видъ

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= N_{1.0}, \\ N_2 &= \frac{n_1 \lambda_1 N_{1.0}}{\lambda_2}, \\ &\dots \dots \dots, \\ N_m &= \frac{n_1 n_2 \dots n_{m-1} \lambda_1 N_{1.0}}{\lambda_m}. \end{aligned} \right\} \quad (X)$$

Этотъ случай приложимъ къ радиоактивнымъ веществамъ, которыя оказываются неизмѣняемыми въ предѣлахъ опыта (радій, уранъ).

Соотношенія между количествами веществъ ряда являются тогда строго точными, и эти соотношенія могутъ выводиться непосредственно изъ дифференціальныхъ уравненій (IV), когда вводятъ въ нихъ условіе длительного стаціонарнаго состоянія, приравнивая нулю всѣ производныя.

Для каждаго вещества скорость образованія точно компенсируется скоростью разрушенія. Такъ какъ первичное вещество остается постояннымъ, число $n_1 \lambda_1 N_{1.0}$ атомовъ перваго производнаго вещества, образующееся въ единицу времени, также постоянно. Пусть Δ будетъ это число, которое можно назвать *дебетомъ* рассматриваемаго вещества. Когда первичное вещество присутствуетъ вначалѣ только одно въ количествѣ $N_{1.0}$, количества производныхъ веществъ въ моментъ t получаются при замѣнѣ, въ формулахъ задачи (1), $e^{-\lambda_1 t}$ на 1 и $n_1 \lambda_1 N_{1.0}$ на Δ .

Такимъ образомъ находимъ:

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= N_{1.0}, \\ N_2 &= \frac{\Delta}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 t}), \\ &\dots \dots \dots, \\ N_m &= n_2 \dots n_{m-1} \frac{\Delta}{\lambda_m} \left[1 - \frac{\lambda_3 \dots \lambda_m e^{-\lambda_2 t}}{(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_m - \lambda_2)} - \dots \right. \\ &\quad \left. - \frac{\lambda_2 \dots \lambda_{m-1} e^{-\lambda_m t}}{(\lambda_2 - \lambda_m) \dots (\lambda_{m-1} - \lambda_m)} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (XI)$$

Для больших значений t получаем предельные решения, соответствующие длительному стационарному состоянию

$$\left. \begin{aligned} N_1 &= N_{1,0}, \\ N_2 &= \frac{\Delta}{\lambda_2}, \\ &\dots \dots \dots, \\ N_m &= n_2 \dots n_{m-1} \frac{\Delta}{\lambda_m}. \end{aligned} \right\} \quad (XII)$$

Если по прошествии времени τ отделить постоянное первичное вещество от накопившихся производных веществ, закон развития этих последних выразится формулами задачи (2), в которых полагаем

$$e^{-\lambda_i t} = 1$$

и

$$n_i \lambda_i N_{1,0} = \Delta.$$

Таким образом получаем следующие формулы:

$$\left. \begin{aligned} N_2 &= \frac{\Delta}{\lambda_2} (1 - e^{-\lambda_2 \tau}) e^{-\lambda_2 t}, \\ &\dots \dots \dots, \\ N_m &= n_2 \dots n_{m-1} \frac{\Delta}{\lambda_m} \left[\frac{\lambda_3 \dots \lambda_m}{(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_m - \lambda_2)} (1 - e^{-\lambda_2 \tau}) e^{-\lambda_2 t} + \dots \right. \\ &\quad \left. + \frac{\lambda_2 \dots \lambda_{m-1}}{(\lambda_2 - \lambda_m) \dots (\lambda_{m-1} - \lambda_m)} (1 - e^{-\lambda_m \tau}) e^{-\lambda_m t} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (XIII)$$

Если допустить установиться длительному стационарному состоянию до отделения первичного вещества, то можно положить $\tau = \infty$, и предыдущие формулы примут вид

$$\left. \begin{aligned} N_2 &= \frac{\Delta}{\lambda_2} e^{-\lambda_2 t}, \\ &\dots \dots \dots, \\ N_m &= n_2 \dots n_{m-1} \frac{\Delta}{\lambda_m} \left[\frac{\lambda_3 \dots \lambda_m}{(\lambda_3 - \lambda_2) \dots (\lambda_m - \lambda_2)} e^{-\lambda_2 t} + \dots \right. \\ &\quad \left. + \frac{\lambda_2 \dots \lambda_{m-1}}{(\lambda_2 - \lambda_m) \dots (\lambda_{m-1} - \lambda_m)} e^{-\lambda_m t} \right]. \end{aligned} \right\} \quad (XIV)$$

Сравнивая формулы (XIV) с формулами (XI), находим, что взаимно-соответствующие члены имеют постоянную сумму для всех

значеній времени. Эти суммы представляют значенія предѣльныхъ рѣшеній (XII). Отсюда вытекаетъ слѣдующее, вполне общее, предположеніе:

Когда семейство радиоактивныхъ веществъ происходитъ изъ постоянного первичнаго вещества и когда разсматривается эволюція семейства съ начальнаго состоянія, когда присутствуетъ одно только первичное вещество, количество каждаго производнаго вещества стремится къ предѣлу, который соотвѣтствуетъ радиоактивному равновѣсію, и избытокъ количества, соотвѣтствующаго равновѣсію, надъ дѣйствительно присутствующимъ количествомъ убываетъ для каждаго вещества по нѣкоторому закону. Если, давъ время установиться равновѣсію, отдѣлить первичное вещество, количество каждаго производнаго вещества убываетъ по нѣкоторому закону, и этотъ законъ одинаковъ съ предыдущимъ. *Объ разсматриваемыхъ эволюціи называются дополнительными.* Если представить кривую законъ измѣненія съ теченіемъ времени для одного изъ веществъ въ каждой изъ этихъ двухъ эволюцій, то сумма ординатъ, относящихся, въ обѣихъ кривыхъ, къ одному и тому же значенію времени, остается постоянною и измѣряетъ количество этого вещества въ радиоактивномъ равновѣсіи. *Объ кривыя называются дополнительными.*

То же предложеніе прилагается къ равновѣсіямъ стаціонарнаго состоянія тѣмъ съ большею степенью приближенія, чѣмъ медленнѣе эволюція первичнаго вещества.

* * *

Только-что изложенная теорія радиоактивныхъ превращеній предполагаетъ, что разрушеніе атомовъ простаго радиоактивнаго вещества допускаетъ непосредственное образованіе только одного рода радиоактивныхъ атомовъ. Это предположеніе оказывается, вообще, достаточнымъ; однако оно, повидимому, не можетъ дать отчета въ вѣроятномъ родствѣ между семействомъ актинія, съ одной стороны, и семействами урана и радія, съ другой стороны. Относительная активность, которую можно приписать актинію и его производнымъ въ урановыхъ рудахъ, меньше активности, которую можно было бы предвидѣть по предыдущей гипотезѣ (§ 212). Такимъ образомъ мы должны допустить возможность другихъ способовъ превращенія, при которыхъ могутъ происходить непосредственно изъ одного и того же первичнаго вещества два рода радиоактивныхъ атомовъ; распадъ называется тогда *многократнымъ*. Можно различить два способа многократнаго распада:

1) Радиоактивный атомъ опредѣленнаго рода порождаетъ образованіе нѣсколькихъ радиоактивныхъ атомовъ различнаго рода; 2) изъ радиоактивныхъ атомовъ нѣкотораго рода одна опредѣленная часть идетъ на образованіе нѣкотораго радиоактивнаго элемента, тогда какъ другая часть идетъ одновременно на образованіе радиоактивнаго элемента, отличнаго отъ предыдущаго. Содди (1) показали, что второй способъ многократнаго распада позволяетъ установить между ураномъ, радіемъ и активіемъ связь, согласную съ опытными результатами, выведенными изъ изученія урановыхъ рудъ.

Пусть N будетъ число атомовъ первичнаго вещества въ моментъ t и N_0 —значеніе числа N для $t = 0$. Предположимъ, что число атомовъ $\lambda_1 N$ разрушается въ единицу времени съ образованіемъ равнаго числа атомовъ радиоактивной матеріи A и что одновременно число атомовъ $\lambda_2 N$ порождаетъ образованіе атомовъ матеріи B . Обозначимъ черезъ A и B числа атомовъ матерій A и B и черезъ a и b радиоактивныя постоянныя этихъ матерій. Для первичнаго вещества будемъ имѣть:

$$N = N_0 e^{-(\lambda_1 + \lambda_2)t}.$$

Если средняя жизнь $\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}$ первичнаго вещества долга по сравнениюъ съ средними жизнями $\frac{1}{a}$ и $\frac{1}{b}$ веществъ A и B , то можетъ установиться радиоактивное равновѣсіе, и въ такомъ случаѣ мы будемъ имѣть:

$$aA = \lambda_1 N, \quad bB = \lambda_2 N, \quad \frac{aA}{bB} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}.$$

Числа атомовъ веществъ A и B , подвергающихся въ теченіи того же времени самопроизвольному разрушенію, находятся въ отношеніи радиоактивныхъ постоянныхъ λ_1 и λ_2 , относящихся къ двумъ способамъ распада. Эти числа могутъ сильно различаться между собою, если разсматриваемыя постоянныя сами очень различны.

§ 94. Зависимость между іонизаціей и количествами радиоактивныхъ веществъ.—Теорія предполагаетъ, что лучеспусканіе радиоактивнаго вещества пропорціонально числу атомовъ, разрушающихся въ единицу времени. Обозначимъ черезъ K_1, K_2, \dots, K_m числа іоновъ, образующихся въ опредѣленномъ пространствѣ во время разру-

(1) Содди, *Phil. Mag.*, 1909 г.

шенія атома. Все число J іоновъ, образующихся въ этомъ пространствѣ, дается формулою

$$J = K_1 \lambda_1 N_1 + K_2 \lambda_2 N_2 + \dots + K_m \lambda_m N_m.$$

Число іоновъ, образующееся такимъ образомъ въ іонизаціонной камерѣ и могущее служить для исчисленія интенсивности лучеиспусканія, зависитъ не только отъ числа разрушенныхъ атомовъ, но также и отъ коэффициентовъ K , могущихъ измѣняться въ своей относительной величинѣ, смотря по формѣ и размѣрамъ камеры. Эти коэффициенты называются *коэффициентами активности* веществъ въ опредѣленномъ измѣрительномъ приборѣ. Когда имѣется радиоактивное равновѣсіе, числа іоновъ, образуемыхъ различными веществами, находятся между собою въ отношеніи чиселъ

$$K_1, \frac{K_2}{n_1}, \dots, \frac{K_m}{n_1 n_2 \dots n_{m-1}}.$$

Если представить кривую измѣненіе числа J въ функціи отъ времени, то эта кривая получается отъ сложенія соответственныхъ ординатъ кривыхъ, относящихся къ различнымъ веществамъ и представляющихъ произведенія λN въ функціи отъ времени, при чемъ эти ординаты предварительно умножены на коэффициенты активности. Вытекающая отсюда кривая для J имѣетъ видъ, зависящій отъ употребляемой іонизаціонной камеры.

§ 95. Независимость радиоактивныхъ постоянныхъ отъ всякихъ внѣшнихъ условий. — Такъ какъ лучеиспусканіе радиоактивнаго вещества пропорціонально количеству этого вещества, то всякій агентъ, способный вліять на законъ разрушенія вещества, точно такимъ же манеромъ долженъ вліять и на законъ измѣненія лучеиспусканія. Если, въ частности, вещество имѣетъ постоянную активность, то эта активность могла бы быть измѣненною агентомъ, который вель бы къ измѣненію весьма медленнаго закона разрушенія этого вещества. Если бы, напр., разрушеніе происходило въ два раза быстрѣе, то активность еще могла бы казаться постоянною, но она была бы въ два раза больше, чѣмъ прежде.

Никакого вліянія въ этомъ родѣ не могло еще быть констатировано, и мы должны считать, что до сихъ поръ радиоактивныя постоянныя оказываются нечувствительными ко всякому постороннему вмѣшательству. Замѣчательно, въ частности, что эти постоянныя недоступны, повидимому, вліянію температуры, являющейся такимъ важ-

нымъ факторомъ въ химическихъ реакціяхъ. Этотъ фактъ находится въ хорошемъ согласіи съ гипотезою, по которой превращеніе радіоактивныхъ тѣлъ не можетъ быть молекулярной природы, но можетъ оказаться атомическимъ превращеніемъ, свойства же атома не являются функціей отъ температуры. Независимость лучеспусканія отъ температуры была провѣрена Г. Беккерелемъ для урана и П. Кюри для радія (§ 147).

Прямые опыты, произведенные П. Кюри, надъ закономъ убыванія эманации радія, показали, что этотъ законъ не зависитъ отъ температуры между -180° и 450° (§ 59). Рутерфордъ наблюдалъ, что законъ разрушенія эманации торія не измѣняется при температурѣ жидкаго воздуха.

Дѣйствіе температуры на индуктивную радиоактивность радія было предметомъ многочисленныхъ работъ (§§ 176, 182). Активный осадокъ радія сложенъ, и опыты не всегда имѣютъ простое истолкованіе. Однако до сихъ поръ нѣтъ достаточныхъ основаній думать, что радиоактивные постоянныя матерій, составляющихъ этотъ осадокъ, могли бы быть измѣнены дѣйствіемъ температуры.

Опыты, произведенные для испытанія вліянія очень сильныхъ давленій на радиоактивныя превращенія, не дали положительнаго результата.

Различные опыты, относящіеся къ химической обработкѣ радиоактивныхъ веществъ или осадковъ индуктивной радиоактивности, благоприятны для гипотезы, по которой состояніе химическаго соединенія и вліяніе химическихъ агентовъ не способны измѣнять радиоактивныхъ постоянныхъ. Такъ радиоактивный осадокъ торія убываетъ въ растворѣ по тому же закону, какъ если бы онъ не былъ растворенъ; эманация радія сохраняетъ свой законъ обычнаго убыванія, когда она подвергнута дѣйствію весьма энергичныхъ химическихъ агентовъ. Можно привести много примѣровъ этого рода; однако опыты не обладаютъ, вообще, очень большою опредѣленностью, и незначительные эффекты могли бы пройти незамѣченными.

Наконецъ, можно сказать, что радиоактивныя постоянныя, по видимому, не зависятъ отъ концентраціи активной матеріи въ очень широкихъ предѣлахъ. Опыты надъ эманацией радія особенно доказательны въ этомъ смыслѣ: употреблявшаяся концентрація варьировалась въ отношеніи 1 къ 10^{13} .

П. Кюри отмѣтилъ, что если радиоактивныя постоянныя такъ же полно не зависятъ отъ опытныхъ условий, то эти постоянныя могутъ служить для установленія *этилоновъ абсолютныхъ временъ*.

§ 96. Соображенія въ подрѣпленіе атомическаго превращенія радиоактивныхъ тѣлъ.— Вотъ перечень соображеній, приводящихъ въ настоящее время къ принятію теоріи атомическаго превращенія:

1. Теорія атомическаго превращенія радиоактивныхъ тѣлъ даетъ хорошее истолкованіе значительному выдѣленію элергін, наблюдающемуся для радія, и тому факту, что это выдѣленіе не испытываетъ вліянія температуры и происходитъ еще при температурѣ жидкаго водорода, при которой обыкновенно останавливается всякое химическое дѣйствіе. Эта теорія въ то же время объясняетъ независимость лучеспусканія отъ температуры.

2. Испускаемые лучи—корпускулярной природы. Поглощаемые лучи состояются, въ значительной части, частицами α , имѣющими атомные размѣры. Выталкиваніе такой частицы должно влечь за собою разрушеніе атома.

3. Происходитъ непрерывное образованіе гелія радіемъ и другими радиоактивными тѣлами. Значитъ, здѣсь несомнѣнно имѣется образованіе явственнаго химическаго элемента въ присутствіи другого явственнаго химическаго элемента. Кромѣ того, было установлено, что частицы α —атомы гелія. Итакъ, можно допустить, что атомы радія производятъ атомы гелія.

4. Теорія обвиняетъ всѣ проявленія временной активности: полоній, радиоактивная эманация, индуктивная радиоактивности, торій X, уранъ X, активій X, и проч. и даетъ имъ простое объясненіе. Равнымъ образомъ она даетъ ясный отчетъ въ увеличеніяхъ и уменьшеніяхъ активности, какія могутъ наблюдаться. Всѣ явленія временной активности имѣютъ, притомъ, такой характеръ, какъ будто они связаны съ твердыми или газообразными матеріальными веществами.

5. Теорія находится въ согласіи съ основною гипотезою, по которой радиоактивность есть атомическое явленіе. Она развиваетъ эту гипотезу и распространяетъ ее на явленія временной активности, рассматриваемыя, какъ принадлежащія химически явственнымъ веществамъ. Съ этой точки зрѣнія она получаетъ важное подтвержденіе въ новѣйшихъ работахъ, ставящихъ вѣсь сомнѣнія, что эманация радія есть газъ, поддающійся изолированію и характеризующійся его спектромъ.

6. Постоянная радиоактивность урана, радія, активія, торія не расходится съ теоріей. Достаточно допустить, что разрушеніе этихъ тѣлъ очень медленно. Новѣйшія работы относительно образованія радія въ радиоактивныхъ минералахъ подтверждаютъ предположеніе, что радій подверженъ закону самопроизвольнаго разрушенія.

Замѣчаніе.—Рутерфордъ пришелъ къ допущенію, что нѣкоторыя радиоактивныя превращенія могутъ происходить безъ испусканія лучей (*rayless change*). Опыты все болѣе и болѣе клонятся къ доказательству, что дѣйствительно существуютъ превращенія, не допускающія никакого испусканія лучей α , но что всегда имѣется, по крайней мѣрѣ, испусканіе лучей β . Однакожь не исключается, очевидно, возможность атомическаго превращенія, не сопровождаемаго лучеиспусканіемъ. Если неактивное вещество превращается равнымъ образомъ въ неактивное же вещество, то такой фактъ нельзя будетъ констатировать приемами изученія радиоактивности, но можно констатировать превращеніе неактивной матеріи въ активную, чему примѣры мы увидимъ въ дальнѣйшемъ изложеніи этого Труда.

§ 97. Отклоненія отъ простаго закона радиоактивныхъ превращеній. — Мы видѣли, что по принятой теоріи всякое простое радиоактивное вещество преобразовывается по такому закону, что число атомовъ, разрушающихся въ единицу времени, пропорціонально числу присутствующихъ атомовъ. Подобный законъ попросту выражаетъ, что вѣроятность, чтобы атомъ оказался разрушеннымъ въ теченіи даннаго времени, одна и та же для всѣхъ атомовъ и не зависитъ отъ ихъ числа, при чемъ эта вѣроятность пропорціональна времени наблюденія. Такимъ образомъ это не что иное, какъ *средній законъ*, или *законъ большихъ чиселъ*, и должно ожидать, что онъ окажется справедливымъ только съ нѣкоторымъ приближеніемъ, тѣмъ болѣе, чѣмъ больше само число атомовъ, принимаемыхъ въ соображеніе.

Не будучи въ состояніи точно опредѣлить причины, вызывающія въ данный моментъ разрушеніе нѣ котораго атома, мы допускаемъ, что эти причины управляются закономъ большихъ чиселъ и что разрушеніе отдѣльнаго атома есть дѣло случая.

Е. v. Schweidler приложилъ къ этой задачѣ формулы исчисления вѣроятностей (¹). Пусть λdt будетъ вѣроятность того, что атомъ разрушается въ теченіи времени dt ; если эта вѣроятность предполагается независящею отъ разсматриваемаго момента и отъ числа атомовъ, λ —постоянная, и если обозначить черезъ N число атомовъ и черезъ $-dN$ число атомовъ, разрушившихся въ теченіи времени dt , будемъ имѣть:

$$\begin{aligned} \frac{-dN}{N} &= \lambda dt, \\ N &= N_0 e^{-\lambda t}, \end{aligned} \quad (1)$$

гдѣ N_0 —число атомовъ во время $t=0$.

(¹) E. v. Schweidler, *Congrès de Radiologie*, Liège, 1905 г.

Слѣдовательно, полученный такимъ образомъ законъ разрушенія есть какъ разъ тотъ законъ, который припимается для простого радиоактивного вещества. Однакожъ это только предѣльный законъ для очень большого числа атомовъ. Практически, должны происходить отклоненія отъ этого закона, и значеніе числа N должно испытывать колебанія вокругъ средняго значенія во время t , доставляемого формулою (1). Эти колебанія выразятся пропорціональными колебаніями лучеиспусканія вокругъ средняго значенія во время t , доставляемого простымъ показательнымъ закономъ. Значеніе колебаній можетъ быть исчислено *a priori*.

Разсмотримъ рядъ промежутковъ времени, каждый изъ которыхъ равенъ δ и число которыхъ достаточно велико. Если все время $m\delta$ мало по сравненію съ среднею жизнью разсматриваемаго вещества, теорія допускаетъ, что числа разрушенныхъ атомовъ въ теченіи этихъ промежутковъ времени всѣ равны между собою. Въ дѣйствительности это не такъ, и происходятъ отклоненія тѣмъ болѣе замѣтныя, чѣмъ меньше число участвующихъ атомовъ. Обозначимъ черезъ mZ все число преобразованныхъ атомовъ въ теченіи времени $m\delta$, такъ что Z есть среднее значеніе числа атомовъ, разрушенныхъ въ теченіи времени δ . Въ дѣйствительности, въ отдѣльномъ промежуткѣ времени, окажутся разрушенными $Z + \Delta$ атомовъ, при чемъ Δ есть отклоненіе отъ средняго значенія для разсматриваемаго промежутка времени. Отношеніе

$$\varepsilon = \frac{\Delta}{Z}$$

называютъ *относительнымъ отклоненіемъ*.

Каждому изъ промежутковъ времени соотвѣтствуетъ нѣкоторое относительное отклоненіе, и *среднимъ относительнымъ отклоненіемъ* называютъ количество

$$\bar{\varepsilon} = \sqrt{\frac{\sum \varepsilon^2}{m-1}}.$$

Среднее отклоненіе $\bar{\Delta}$ равно $\bar{\varepsilon}Z$. Можно доказать, что между $\bar{\varepsilon}$, $\bar{\Delta}$ и Z мы имѣемъ очень простыя соотношенія

$$\bar{\varepsilon} = \frac{1}{\sqrt{Z}}, \quad \bar{\Delta} = \sqrt{Z}.$$

Предыдущее соотношеніе можно подчинить контролю опыта. Разсмотримъ радиоактивное вещество, производящее іонизацію воздуха въ

измѣрительномъ приборѣ. Колебанія скорости разрушенія отразятся на получаемой ионизаціи, и, измѣряя послѣднюю обычными методами, мы можемъ обнаружить неправильности въ токъ. Эти неправильности дѣйствительно наблюдались. Чтобы сдѣлать ихъ видимыми, съ большою пользою прибѣгають къ очень чувствительному измѣрительному прибору, компенсируя сполна и сколь возможно точнѣе изучаемый ионизаціонный токъ, такъ какъ амплитуда неправильностей представляетъ, вообще, лишь малую дробь отъ самого тока.

Предположимъ, что измѣряются количества электричества, освобождаемыя въ ионизаціонной камерѣ въ промежутки времени, равные δ . Эти количества пропорціональны числамъ атомовъ, разрушающихся въ тѣ же промежутки. Относительныя отклоненія въ собранныхъ количествахъ электричества тѣ же, что и относительныя отклоненія въ числахъ разрушенныхъ атомовъ. Такимъ образомъ можно опытнымъ путемъ опредѣлить среднее относительное отклоненіе $\bar{\epsilon}$. Съ другой стороны, число Z пропорціонально количеству электричества q , собранному въ среднемъ за промежутокъ времени δ , и мы имѣемъ:

$$q = i\delta,$$

гдѣ i —средній токъ.

Если сохранять постоянное значеніе для δ , $\bar{\epsilon}$ должно измѣняться въ отношеніи, обратномъ \sqrt{i} , и $\bar{\Delta}$, какъ \sqrt{i} .

Если источникъ лучей испускаеть только лучи α (полоній) и если разрушеніе атома сопровождается испусканіемъ только одной частицы α , то имѣемъ:

$$q = ZNe,$$

гдѣ N —число іоновъ, производимыхъ частицею α и e —элементарный зарядъ; предполагается, что лучи сполна поглощаются въ ионизаціонной камерѣ и что N оказывается такимъ образомъ очень опредѣленнымъ. Въ самомъ дѣлѣ, извѣстно, что всѣ частицы α , испускаемыя простымъ радиоактивнымъ веществомъ, размѣщеннымъ въ видѣ крайне тонкаго слоя, могутъ проходить въ воздухѣ одно и то же разстояніе и производить одно и то же число іоновъ вдоль этого пробѣга (§ 124).

Итакъ, получаемъ соотношеніе

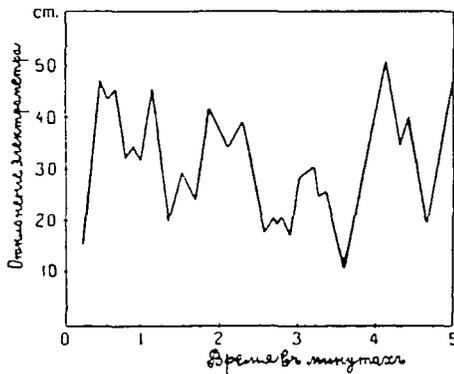
$$\bar{\epsilon} = \sqrt{\frac{Ne}{i\delta}}.$$

Произведеніе Ne представляетъ количество электричества, освобожденное въ газѣ, поглощающемъ частицу α . Значеніе этого произведенія для частицы α полонія есть около $7,5 \cdot 10^{-5}$ э.-ст. едін. (§ 135).

Указанная формула позволяет предвидѣть значеніе средняго отклоненія $\bar{\epsilon}$ и сравнить его съ значеніемъ, получаемымъ изъ опыта.

Только-что описанный методъ былъ использованъ Кольраушемъ ⁽¹⁾, который оперировалъ, посылая въ одинъ и тотъ же измѣрительный приборъ два противоположныхъ іонизаціонныхъ тока, доставляемыхъ двумя образцами полонія очень близкой активности. Констатировалось, что компенсація не могла поддерживаться точно, и наблюдались неправильности, оказавшіяся согласными съ теоріей. Взятый промежутокъ времени δ равнялся одной минутѣ, и употреблявшіеся іонизаціонные токи были порядка 10^{-10} амперъ. Наблюдаемое среднее отклоненіе находилось въ согласіи съ вычисленнымъ отклоненіемъ.

Е. Мейер и Е. Регенер ⁽²⁾ произвели аналогичные опыты, равнымъ образомъ компенсируя дѣйствіе іонизаціоннаго тока. При этихъ условіяхъ электрометръ обнаруживаетъ колебанія вокругъ средняго положенія. Эти колебанія представлены на *черт.* 90. Время въ мину-



Черт. 90

тахъ нанесено въ абсциссахъ, положенія электрометра въ ординатахъ; чертежъ представляетъ только точки поворота въ движеніи электрометра, и эти точки были соединены прямыми линіями; въ дѣйствительности движеніе не было равномернымъ.

Эти колебанія не имѣютъ простого выраженія съ теоретической точки зрѣнія. Однако, можно предвидѣть, что ихъ амплитуда должна измѣняться пропорціонально квадратному корню изъ тока, и, дѣйстви-

⁽¹⁾ Kohlrausch, *Acad. Vienne*, 1906 г.

⁽²⁾ Meyer и Regener, *Deutsch. phys. Gesell.*, 1908 г.

тельно, находимъ, что средняя амплитуда колебаній измѣняется, какъ \sqrt{i} , когда i измѣняется въ отношеніи 1 къ 100.

Колебанія тока наблюдались съ лучами α и съ проникающими лучами.

Geiger (¹) пытался уничтожить колебаніе электрометра, посылая одинъ и тотъ же пучокъ лучей α пологія въ двѣ іонизаціонныя камеры, раздѣленные тонкимъ алюминіевымъ листкомъ, пропускавшимъ лучи. Получавшіеся въ обѣихъ камерахъ токи были равны и обратнаго направленія и могли компенсироваться. Если колебанія происходили дѣйствительно за счетъ интенсивности излученія, т.-е. числа частицъ пучка, то разъ установившаяся компенсація между двумя токами должна была бы сохраняться, потому что неправильности излученія должны были бы отзываться на каждомъ изъ токовъ одинаковымъ образомъ. Въ самомъ дѣлѣ, наблюденныя колебанія могли быть значительно уменьшены этимъ приемомъ; однако они не исчезли вполнѣ, и это, вѣроятно, должно приписать тому факту, что использованные лучи не были параллельными; когда упраздненіе луча уменьшало токи въ обѣихъ камерахъ, отношеніе уменьшеній зависѣло отъ направленія луча.

Относительное колебаніе іонизаціоннаго тока менѣе значительно для проникающихъ лучей, чѣмъ для лучей α . Этотъ фактъ объясняется тѣмъ соображеніемъ, что для полученія одной и той же іонизаціи должно использовать гораздо больше частицъ β , чѣмъ частицъ α .

Два метода прямого исчисленія частицъ α были приложены недавно Рутерфордомъ (²) и Регенеромъ (³). Первый изъ этихъ методовъ состоитъ въ наблюденіи отдѣльнаго эффекта каждой частицы α по электрометрическому методу; второй методъ состоитъ въ отсчитываніи частицъ α посредствомъ сверканій, производимыхъ ими на экранѣ изъ сѣрнистаго цинка. Эти опыты, о которыхъ будетъ рѣчь въ слѣдующей главѣ, позволяютъ также изучить законъ испусканія частицъ α ; этотъ послѣдній имѣетъ на самомъ дѣлѣ ходъ явленія, управляемаго случаемъ, и лишь болѣе полные опыты дадутъ возможность точно опредѣлить аналогію. Такимъ образомъ можно опредѣлить непосредственно число атомовъ, разрушенныхъ за давнее время; одновременно получается, черезъ значеніе средняго относительнаго отклоненія, соотношеніе между числомъ частицъ α , доставляемыхъ разрушеніемъ атома,

(¹) Geiger, *Phil. Mag.*, 1908 г.

(²) Rutherford, *Proc. Manch. Phil. Soc.*, 1908 г.

(³) Regener, *Deutsch. phys. Ges.*, 1908 г.

числомъ іоновъ, производимыхъ каждою частицею α въ газѣ, и зарядомъ іона, или элементарнымъ зарядомъ.

§ 98. Возможныя причины разрушенія радиоактивныхъ атомовъ.— Если теорія превращенія радиоактивныхъ атомовъ даетъ ясный отчетъ въ согласованности наблюденныхъ явленій, то механизмъ этого превращенія остается еще вполне неизвѣстнымъ. Чтобы разъяснить этотъ механизмъ, можно искать, имѣетъ ли связь радиоактивное свойство съ нѣкоторыми другими атомическими признаками, т.-е. отличаются ли сильно радиоактивныя вещества въ какомъ-либо другомъ отношеніи отъ обыкновенной матеріи. Весьма замѣчательно, что опытъ почти не далъ въ этомъ смыслѣ характерныхъ указаній. Изъ сильно радиоактивныхъ веществъ только одинъ радій могъ дѣйствительно быть изученъ съ химической точки зрѣнія; это тѣло проявляетъ себя совершенно, какъ щелочно-земельный металлъ; онъ имѣетъ тѣ же химическія свойства, и его спектръ вполне аналогиченъ спектрамъ другихъ элементовъ этой группы; физическія свойства твердыхъ и растворенныхъ солей также вполне подобны. Въ своей группѣ радій представляетъ послѣдній элементъ съ наиболѣе высокимъ атомнымъ вѣсомъ.

Радиоактивныя вещества являются, вообще, элементами съ высокимъ атомнымъ вѣсомъ. Уранъ и торій—два элемента съ наибольшими атомными вѣсами. Можно было предположить, что радій, гораздо болѣе активный элементъ, имѣетъ еще болѣе большой атомный вѣсъ. Мы видимъ, что это не такъ; однакожъ атомный вѣсъ высокъ, и радій помѣщается непосредственно ниже торія. Каждый изъ этихъ трехъ элементовъ представляетъ конецъ группы, но это замѣчаніе, повидимому, не поддается безусловному обобщенію. Недавніе опыты установили существованіе очень слабой радиоактивности у калия (39) и у рубидія (85,4), тогда какъ высшій гомологъ этихъ металловъ цезій (133) не былъ признанъ активнымъ. Съ другой стороны, элементы, являющіеся, въ нисходящемъ порядкѣ атомныхъ вѣсовъ, очень близкими къ радію, не оказываются радиоактивными (висмутъ, свинецъ, талій, ртуть, и проч.).

Былъ произведенъ слѣдующій опытъ для обнаруженія различія между радиоактивной матеріей и матеріей неактивной. Спрашивалось, ускореніе для радія, обязанное тяжести, то же ли, что и для другихъ веществъ. Опыты по этому поводу были произведены J.-J. Thomson'омъ⁽¹⁾, который пользовался качаніями маятника, составленнаго

(1) J.-J. Thomson, *Int. El. Congress.*, Saint-Louis, 1904 г.

частью изъ соли радія. Sagnac ⁽¹⁾ сравнивалъ массы двухъ пузырьковъ равнаго вѣса, изъ которыхъ одинъ содержалъ барій, другой—радій, пользуясь качаніями крутильныхъ вѣсовъ. Эти опыты не привели ни къ какому положительному результату.

Чтобы отдать себѣ отчетъ въ механизмъ превращенія, можно также стараться повліять на послѣднее внѣшними дѣйствіями. Мы видѣли, что въ этомъ смыслѣ не было получено до сихъ поръ никакого положительнаго результата (§ 95). Радиоактивныя постоянныя перемѣнныя веществъ и интенсивность лученспусканія постоянныхъ веществъ оказываются независящими отъ внѣшнихъ условій въ предѣлахъ наблюденій. Этотъ результатъ могъ казаться неожиданнымъ, особенно въ томъ, что касается возможнаго дѣйствія концентрации. Дѣйствительно, можно было бы думать, что лученспусканіе нѣкоторыхъ атомовъ въ состояніи вліять на превращеніе атомовъ, получающихъ это лученспусканіе, и если бы это было такъ, вліяніе концентрации было бы значительно.

За неимѣніемъ опытныхъ указаній приходится довольствоваться чисто теоретическими построеніями относительно механизма превращенія и возможныхъ причинъ этого послѣдняго. При томъ мы встрѣчаемся съ дѣйствительною трудностью понять, почему нѣкоторые атомы разрушаются почти тотчасъ послѣ образованія, тогда какъ другіе продолжаютъ существовать безъ измѣненія въ теченіи времени, такъ сказать, неопредѣленно долгаго. Невольно приходимъ къ заключенію, что *или образующіеся атомы не абсолютно подобны между собою, или же ихъ разрушеніе обусловливается случайными обстоятельствами, идущими отъ внѣшнихъ причинъ*. По первой точкѣ зрѣнія можно было бы надѣяться подыскать операціи, способныя раздѣлить простую радиоактивную матерію на двѣ части съ различными средними жизнями. По второй точкѣ зрѣнія должно было бы удался измѣнить радиоактивныя постоянныя дѣйствіемъ внѣшнихъ агентовъ, такихъ, какъ температура, давленіе, магнитное или электрическое поле, дѣйствіе излученій, химическія дѣйствія, и проч. Опытъ не высказался еще благоприятно ни за одну изъ этихъ двухъ гипотезъ.

Была сдѣлана теоретическая попытка объяснить разрушеніе атомовъ постепеннымъ уменьшеніемъ ихъ внутренней энергіи, въ силу постоянного электромагнитнаго излученія, связаннаго съ движеніемъ электроновъ, составляющихъ атомное зданіе. J.-J. Thomson ⁽²⁾ изучилъ

⁽¹⁾ Sagnac, *Journ. de Phys.*, 1906 г.

⁽²⁾ J.-J. Thomson, *Phil. Mag.*, 1904 г.

теоретически устойчивыя конфигураціи, которыя могутъ принимать отрицательные электроны въ опредѣленномъ числѣ, содержащіяся внутри сферы съ положительнымъ зарядомъ, равномерно распредѣленнымъ по ея объему, и совершающіе, вокругъ центра сферы, равномерно-вращательныя движенія въ одной и той же плоскости; эти электроны оказываются разбитыми на концентрическія кольца съ правильными промежутками. Излученіе подобнаго кольца, при всѣхъ прочихъ равныхъ условіяхъ, тѣмъ слабѣе, чѣмъ больше число электроновъ; это лученосканіе было бы нулевымъ, если бы отрицательный зарядъ электроновъ распредѣлялся равномерно по окружности кольца. Такимъ образомъ понятно, что потеря энергіи черезъ электромагнитное излученіе можетъ сильно измѣняться отъ одного атома къ другому. Однако эта потеря энергіи неизбежно приводитъ къ болѣе или менѣе быстрому уменьшенію вращательныхъ скоростей, и такъ какъ устойчивость нѣкоторой конфигураціи осуществляется только для скоростей выше нѣкоторой критической скорости, то отсюда вытекаетъ, что въ данный моментъ размѣщеніе является неустойчивымъ и должно внезапно видоизмѣниться. Такое внезапное видоизмѣненіе соотвѣтствовало бы преобразованію атома. Оставалось бы, однако, необходимымъ объяснить различіе жизней отдѣльныхъ атомовъ и показательный законъ разрушенія.



Таблицы показательныхъ функцій,

ОТНОСЯЩИХСЯ КЪ ЭМАНАЦИИ РАДІА (1)

Эти Таблицы содержатъ, для различныхъ значеній времени t , значенія функцій $e^{-\lambda t}$ и $\frac{1}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t})$, гдѣ λ — *радиоактивная постоянная эманации*. Слѣдовательно, по нимъ можно вычислять:

а. Часть количества эманации, остающуюся по прошествіи времени t отъ начальнаго количества, подвергающагося самопроизвольному разрушенію по формулѣ

$$q = q_0 e^{-\lambda t};$$

б. Количество эманации q , накапливающееся за время t въ закрытомъ сосудѣ, содержащемъ радіеносное вещество, при чемъ количество, образующееся въ часъ, предполагается извѣстнымъ и равнымъ Δ , а начальное количество предполагается нулевымъ. Въ этомъ случаѣ имѣемъ:

$$q = \frac{\Delta}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t}).$$

Функція $\frac{1}{\lambda}(1 - e^{-\lambda t})$, равная также $\theta(1 - e^{-\frac{t}{\theta}})$, гдѣ θ — *средняя жизнь*, представляетъ *приведенное время* (§ 69).

Таблицы А и В построены при

$$\lambda = 0,0075(\text{часъ})^{-1},$$

что соотвѣтствуетъ періоду $T = 3,86$ дн.

Въ каждой изъ таблицъ А и В промежутокъ аргумента t увеличивается къ концу; но разности, внесенныя въ особыя колонны, всегда даются въ часъ. Поэтому, если t есть предложенный аргументъ и τ — непосредственно низшій аргументъ, находящійся въ Таблицахъ, мы будемъ имѣть:

(1) Вычисленія, относящіяся къ этимъ Таблицахъ, были выполнены Kolowrat'омъ.

$$f(t) = f(\tau) \mp (t - \tau) \delta,$$

при чемъ знакъ \mp относится къ Таблицѣ А и знакъ \pm къ Таблицѣ В; δ есть значеніе данной въ Таблицахъ разности, взятое безъ знака.

Пусть, напр., требуется найти $f(t) = \frac{1}{\lambda} (1 - e^{-\lambda t})$ для

$$t = 5^{\text{дн}} 22^{\text{ч}} 15^{\text{м}} = 5^{\text{дн}} 22^{\text{ч}} 25.$$

Имѣемъ $\tau = 5^{\text{дн}} 20^{\text{ч}}$, $f(\tau) = 86^{\text{ч}} 675$, $\delta = 0,3447$ и, вычисляя, получаемъ:

$$f(t) = 86,875 \pm 2,25 \times 0,3447 = 87,45.$$

Интерполируя такимъ образомъ, мы вводимъ ошибку, которая никогда не превыситъ 4—5 единицъ послѣдняго десятичнаго знака для Таблицы А и 6—7 единицъ послѣдняго десятичнаго знака для Таблицы В. На практикѣ, вообще, опускаютъ послѣдній десятичный знакъ послѣ интерполированія; но если требуется, чтобы ошибка не превосходила единицы послѣдняго десятичнаго знака, мы обращаемся къ разностямъ второго порядка, даннымъ въ послѣдней колоннѣ, и пользуемся формулою

$$f(t) = f(\tau) \mp (t - \tau) \delta \mp \frac{t - \tau}{2} \left(1 - \frac{t - \tau}{h}\right) \delta',$$

при чемъ δ и δ' взяты безъ знака и h представляетъ значеніе, въ часахъ, промежутка времени t въ соответственномъ мѣстѣ, т. е., смотря по случаю, 2, 3, 4, 6, 8, 12 или 24 часа. Возвращаясь къ предыдущему примѣру, имѣемъ:

$$\delta' = 0,010, \quad h = 4$$

и безъ труда вычисляемъ:

$$f(t) = 86,675 + 2,25 \times 0,3447 + \frac{2,25}{2} \times \left(1 - \frac{2,25}{4}\right) \times 0,010 = 87,456.$$

Слѣдуетъ замѣтить, что въ началѣ каждой Таблицы разности δ и δ' даны со столькими же десятичными знаками, какъ и значенія функций $f(\tau)$; но, начиная съ $t = 5$ дн., для δ имѣется однимъ десятичнымъ знакомъ больше, а, начиная съ $t = 18$ дн., двумя знаками больше; въ колоннѣ значеній для δ' имѣютъ мѣсто аналогичныя расположенія. Во избѣжаніе всякаго шанса для ошибки дополнительные десятичные знаки напечатаны особымъ шрифтомъ.

ТАБЛИЦЫ ПОКАЗАТЕЛЬНЫХЪ ФУНКЦІЙ

Таблица А (продолженіе)

t		$e^{-\lambda t}$	δ ВЪ ЧАСЪ 0.00	δ' ВЪ ЧАСЪ 0.0000	t		$e^{-\lambda t}$	δ ВЪ ЧАСЪ 0.00	δ' ВЪ ЧАСЪ 0.0000
дни	часы				дни	часы			
4	18	0.42528			12	6	0.11025		
4	21	0.41582	315	7	12	12	0.10540	080 ₉	37
5	0	0.40657	308	7	12	18	0.10076	077 ₈	36
5	4	0.39455	300 ₄	9	12	0	0.09633	073 ₉	34
5	8	0.38289	291 ₅	9	13	0	0.09072	070 ₁	43
5	12	0.37158	282 ₉	9	13	8	0.08543	066 ₀	41
5	16	0.36059	274 ₅	8	13	16	0.08046	062 ₂	38
5	20	0.34994	266 ₄	8	14	0	0.07577	058 ₆	36
6	0	0.33960	258 ₅	8	14	8	0.07136	055 ₂	34
6	4	0.32956	250 ₉	8	14	16	0.06721	051 ₉	32
6	8	0.31982	243 ₅	7	15	0	0.06329	048 ₉	30
6	12	0.31037	236 ₃	7	15	8	0.05961	046 ₁	28
6	16	0.30119	229 ₃	7	15	16	0.05613	043 ₄	27
6	20	0.29229	222 ₅	7	16	0	0.05287	040 ₉	25
7	0	0.28365	216 ₀	7	16	8	0.04979	038 ₅	24
7	4	0.27527	209 ₆	6	16	16	0.04689	036 ₂	22
7	8	0.26714	203 ₄	6	17	0	0.04416	034 ₁	21
7	12	0.25924	197 ₄	6	17	8	0.04159	032 ₁	20
7	16	0.25158	191 ₅	6	17	16	0.03916	030 ₃	19
7	20	0.24414	185 ₉	6	18	0	0.03579	028 ₀₉	26
8	0	0.23693	180 ₄	5	18	12	0.03271	025 ₆₇	24
8	4	0.22993	175 ₁	5	19	0	0.02990	023 ₁₆	22
8	8	0.22313	169 ₃	5	19	12	0.02732	021 ₄₄	20
8	12	0.21654	164 ₉	5	20	0	0.02497	019 ₆₀	18
8	16	0.21014	160 ₃	5	20	12	0.02282	017 ₉₁	17
8	20	0.20393	155 ₃	5	21	0	0.02086	016 ₃₇	15
9	0	0.19790	150 ₇	5	21	12	0.01906	014 ₈₆	14
9	4	0.19205	146 ₂	4	22	0	0.01742	013 ₆₇	13
9	8	0.18637	141 ₉	4	22	12	0.01592	012 ₅₀	12
9	12	0.18087	137 ₇	4 ₂	23	0	0.01455	011 ₄₂	11
9	18	0.17291	132 ₆	6 ₁	23	12	0.01330	010 ₄₄	0 ₉₈
10	0	0.16530	126 ₈	5 ₉	24	0	0.01216	009 ₅₄	0 ₉₀
10	6	0.15803	121 ₂	5 ₆	24	12	0.01111	008 ₇₃	0 ₈₂
10	12	0.15107	115 ₉	5 ₃	25	0	0.01015	007 ₉₇	0 ₇₅
10	18	0.14442	110 ₃	5 ₁	25	12	0.00928	007 ₂₆	0 ₆₉
11	0	0.13807	105 ₉	4 ₉	26	0	0.00775	006 ₃₇	1 ₂₆
11	6	0.13199	101 ₃	4 ₇	27	0	0.00647	005 ₃₂	1 ₀₅
11	12	0.12619	096 ₃	4 ₅	28	0	0.00541	004 ₄₄	0 ₈₈
11	18	0.12063	092 ₅	4 ₃	29	0	0.00452	003 ₇₁	0 ₇₃
12	0	0.11533	088 ₅	4 ₁	30	0	0.00000	—	—
			084 ₆	3 ₉	∞				

ТАБЛИЦЫ ПОКАЗАТЕЛЬНЫХЪ ФУНКЦІЙ

Таблица В

t		Приведенное время $\frac{t}{\lambda}(1-e^{-\lambda t})$	δ	t		Приведенное время $\frac{t}{\lambda}(1-e^{-\lambda t})$	δ въ часъ	δ' въ часть 0.0
дни	часы			дни	часы			
	0	0.000	0.996	1	14	33.065	0.749	
	1	0.996	0.989	1	15	33.814	0.744	
	2	1.985	0.982	1	16	34.558	0.738	
	3	2.967	0.974	1	17	35.296	0.732	
	4	3.941	0.966	1	18	36.028	0.727	
	5	4.907	0.960	1	19	36.755	0.722	
	6	5.867	0.952	1	20	37.477	0.716	
	7	6.819	0.946	1	21	38.193	0.711	
	8	7.765	0.938	1	22	38.904	0.706	
	9	8.703	0.931	1	23	39.610	0.700	
	10	9.634	0.925	2	0	40.310	0.695	
	11	10.559	0.917	2	1	41.005	0.690	
	12	11.476	0.910	2	2	41.695	0.684	
	13	12.386	0.904	2	3	42.379	0.680	
	14	13.290	0.897	2	4	43.059	0.672	10
	15	14.187	0.890	2	6	44.403	0.662	10
	16	15.077	0.884	2	8	45.727	0.652	10
	17	15.961	0.877	2	10	47.031	0.642	10
	18	16.838	0.870	2	12	48.316	0.633	09
	19	17.708	0.864	2	14	49.582	0.623	09
	20	18.572	0.858	2	16	50.829	0.614	09
	21	19.430	0.851	2	18	52.057	0.605	09
	22	20.281	0.845	2	20	53.267	0.596	09
	23	21.126	0.838	2	22	54.459	0.587	09
1	0	21.964	0.832	3	0	55.634	0.576	13
1	1	22.796	0.826	3	3	57.362	0.563	13
1	2	23.622	0.820	3	6	59.053	0.551	13
1	3	24.442	0.813	3	9	60.705	0.539	12
1	4	25.255	0.808	3	12	62.321	0.527	12
1	5	26.063	0.802	3	15	63.901	0.515	12
1	6	26.865	0.795	3	18	65.446	0.503	11
1	7	27.660	0.790	3	21	66.956	0.492	11
1	8	28.450	0.783	4	0	68.433	0.481	11
1	9	29.233	0.778	4	3	69.877	0.471	11
1	10	30.011	0.772	4	6	71.289	0.460	10
1	11	30.783	0.766	4	9	72.669	0.450	10
1	12	31.549	0.761	4	12	74.019	0.440	10
1	13	32.310	0.755	4	15	75.339	0.430	10

ТАБЛИЦЫ ПОКАЗАТЕЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Таблица В (продолжение)

t		Приведенное время $\frac{1}{\lambda}(1-e^{-\lambda t})$	δ вЪ часть	δ' вЪ часть 0.0	t		Приведенное время $\frac{1}{\lambda}(1-e^{-\lambda t})$	δ вЪ часть	δ' вЪ часть 0.00
дни	часы				дни	часы			
4	18	76.629	0.421	10	12	6	118.633	0.1078	50
4	21	77.891	0.411	09	12	12	119.280	0.1031	47
5	0	79.124	0.4005	12	12	18	119.898	0.0985	45
5	4	80.726	0.3887	12	13	0	120.490	0.0935	58
5	8	82.281	0.3772	11	13	8	121.238	0.0880	54
5	12	83.790	0.3661	11	13	16	121.942	0.0829	51
5	16	85.254	0.3552	11	14	0	122.605	0.0781	48
5	20	86.675	0.3447	10	14	8	123.230	0.0736	45
6	0	88.054	0.3346	10	14	16	123.818	0.0693	43
6	4	89.392	0.3247	10	15	0	124.373	0.0652	40
6	8	90.691	0.3151	10	15	8	124.894	0.0614	38
6	12	91.951	0.3058	09	15	16	125.386	0.0579	36
6	16	93.174	0.2967	09	16	0	125.849	0.0545	34
6	20	94.361	0.2879	09	16	8	126.285	0.0513	32
7	0	95.513	0.2794	09	16	16	126.695	0.0483	30
7	4	96.631	0.2712	08	17	0	127.082	0.0455	28
7	8	97.715	0.2632	08	17	8	127.446	0.0429	26
7	12	98.768	0.2554	08	17	16	127.789	0.0404	25
7	16	99.790	0.2478	08	18	0	128.111	0.03745	35
7	20	100.781	0.2405	07	18	12	128.561	0.03423	32
8	0	101.743	0.2334	07	19	0	128.972	0.03128	29
8	4	102.677	0.2265	07	19	12	129.347	0.02859	27
8	8	103.583	0.2198	07	20	0	129.690	0.02613	25
8	12	104.462	0.2133	06	20	12	130.004	0.02388	23
8	16	105.315	0.2070	06	21	0	130.290	0.02183	21
8	20	106.143	0.2009	06	21	12	130.552	0.01994	19
9	0	106.947	0.1950	06	22	0	130.792	0.01823	17
9	4	107.727	0.1892	06	22	12	131.010	0.01666	16
9	8	108.483	0.1836	056	23	0	131.210	0.01523	14
9	12	109.218	0.1789	081	23	12	131.393	0.01392	13
9	18	110.279	0.1691	078	24	0	131.560	0.01272	12
10	0	111.293	0.1616	074	24	12	131.713	0.01162	11
10	6	112.263	0.1545	071	25	0	131.852	0.01062	10
10	12	113.190	0.1477	068	25	12	131.980	0.00971	09
10	18	114.077	0.1412	065	26	0	132.096	0.00845	17
11	0	114.924	0.1350	062	27	0	132.300	0.00709	14
11	6	115.734	0.1291	059	28	0	132.470	0.00592	12
11	12	116.509	0.1234	057	29	0	132.612	0.00495	10
11	18	117.249	0.1180	054	30	0	132.731	—	—
12	0	117.957	0.1128	052	∞		133.333	—	—

Оглавление

	Стран.
ВВЕДЕНИЕ	III—X
ГЛАВА ПЕРВАЯ. — Ионы и электроны	1
§ 1. Проводимость газовъ. Газовые ионы. Токъ насыщения	1
§ 2. Основныя уравненія. Равноѣрная іонизація. Образование и восстановление іоновъ	5
§ 3. Дѣйствіе электрическаго поля	8
§ 4. Распреѣленіе потенціала п электрическаго поля	13
§ 5. Поверхностная іонизація	14
§ 6. Измѣреніе коэффиціента восстановления	17
§ 7. Измѣреніе подвижностей	20
§ 8. Сгущеніе іонами водяного пара	26
§ 9. Зарядъ іоновъ	29
§ 10. Диффузія іоновъ	31
§ 11. Элементарный зарядъ	35
§ 12. Источники возникновенія іоновъ и ихъ природа	39
§ 13. Теорія іонизаціи отъ столкновенія іоновъ и теорія колебательнаго разряда	43
§ 14. Катодные лучи	46
§ 15. Дѣйствіе магнитнаго п электрическаго поля на катодные лучи	47
§ 16. Измѣреніе отношенія $\frac{e}{m}$ и скорости для электрона въ движеніи	53
§ 17. Электроны	55
§ 18. Положительные лучи	58
§ 19. Лучи Рѣнтгена	60
§ 20. Электромагнитное поле, вызываемое заряженной частицею	61
§ 21. Инерція и электромагнитная масса	64
§ 22. Излученіе энергіи электрономъ, подвергнутомъ ускоренію	68
ГЛАВА ВТОРАЯ. — Приемы изученія и измѣренія радиоактивности	73
§ 23. Методы наблюденія	73
§ 24. Электроскопы	77
§ 25. Электрометры. Методъ скорости отклоненія	82
§ 26. Методъ постояннаго отклоненія	91
§ 27. Методы компенсаціи. Пьезоэлектрической кварцъ	94

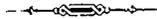
§ 28.	Компенсація заряднимъ токомъ конденсатора	104
§ 29.	Поправки къ пзмѣреніямъ	106
§ 30.	Расположенія приборовъ въ опытахъ	107
§ 31.	Диски-эталонъ	113
§ 32.	Вліяніе разстояній между электродами, давленія и температуры воздуха на результаты пзмѣреній	114
ГЛАВА ТРЕТЬЯ.—Радиоактивность урана и торія. Радиоактивные минералы 119		
§ 33.	Открытие радиоактивности	119
§ 34.	Урановые лучи	120
§ 35.	Ионизація урановымъ лучамъ	123
§ 36.	Изученіе урановыхъ соединений	128
§ 37.	Радиоактивность торія	129
§ 38.	Радиоактивность есть атомическое свойство. Представляетъ ли она общее явленіе?	133
§ 39.	Радиоактивные минералы	140
ГЛАВА ЧЕТВЕРТАЯ.—Новыя радиоактивныя вещества 143		
§ 40.	Новый методъ разысканія химическихъ элементовъ, основанный на радиоактивности	143
§ 41.	Изслѣдованіе смоляной урановой руды. Открытіе полонія и радія. Актиній. Радиоактивный свинецъ. Торіапигъ и радіоторій. Іоній	146
§ 42.	Извлеченіе новыхъ радиоактивныхъ веществъ. Обработка руды	151
§ 43.	Приготовленіе чистыхъ солей радія	153
§ 44.	Спектръ радія	159
§ 45.	Атомный вѣсъ радія	161
§ 46.	Свойства радіевыхъ солей	171
§ 47.	Полоній. Приготовленіе и свойства	175
§ 48.	Актиній	182
§ 49.	Радиоактивный свинецъ	186
§ 50.	Радіоторій. Мезоторій	187
§ 51.	Іоній	190
* * *		190
ГЛАВА ПЯТАЯ.—Радиоактивность съ ограниченою продолжительностью. Индуктивная радиоактивность. Эманации. Химическое отдѣленіе веществъ съ недолговѣчною активностью 194		
§ 52.	Радиоактивности: длительная и эфемерная	194
§ 53.	Индуктивная радиоактивность	196
§ 54.	Радиоактивныя эманации. Зависимость между эманациями и индуктивными радиоактивностями	197
§ 55.	Приготовленіе химическимъ путемъ радиоактивныхъ веществъ съ ограниченою продолжительностью	199
§ 56.	Образованіе и разрушеніе радиоактивныхъ веществъ	201
ГЛАВА ШЕСТАЯ.—Радиоактивные газы или эманации 203		
§ 57.	Радиоактивныя эманации	203
§ 58.	Эманация торія	203

§ 59.	Эманация радія	206
§ 60.	Эманация актинія	222
§ 61.	Сравненіе трехъ эманацийъ	226
§ 62.	Диффузія эманацийъ	228
§ 63.	Поглощеніе эманацийъ радія жидкостями. Растворимость. Диффузія въ жидкостяхъ	247
§ 64.	Поглощеніе эманацийъ радія твердыми тѣлами	251
§ 65.	Сгущеніе эманацийъ	253
§ 66.	Химическія свойства эманацийъ	261
§ 67.	Лученспусканіе и зарядъ эманацийъ	263
§ 68.	Образованіе и выдѣленіе эманацийъ	264
§ 69.	Довпрованіе радія измѣреніемъ выдѣляемой эманацийъ	274
§ 70.	Дѣйствіе температуры на выдѣленіе радиоактивныхъ эманацийъ твердыми веществами	284
§ 71.	Эманации представляютъ матеріальные газы. Отдѣленіе эманацийъ радія въ чистомъ видѣ. Измѣреніе объема	301
§ 72.	Сжиженіе эманацийъ радія	310
§ 73.	Спектръ эманацийъ радія	312

ГЛАВА СЕДЬМАЯ.—Индуктивная радиоактивность 314

§ 74.	Образованіе индуктивной радиоактивности	314
§ 75.	Индуктивная радиоактивность, происходящая отъ радія	315
§ 76.	Законъ исчезанія индуктивной радиоактивности, происходящей отъ радія	318
§ 77.	Индуктивная радиоактивность съ медленной эволюціей	327
§ 78.	Индуктивная активность, происходящая отъ торія	327
§ 79.	Индуктивная радиоактивность, происходящая отъ актинія	332
§ 80.	Зависимость между индуктивными радиоактивностями и эманациями	334
§ 81.	Природа индуктивныхъ радиоактивностей	335
§ 82.	Дѣйствіе температуры на индуктивную радиоактивность	337
§ 83.	Дѣйствіе электрическаго поля на осадокъ индуктивной радиоактивности	338
§ 84.	Механизмъ осадка индуктивной радиоактивности. Метаніе активнаго осадка	345
§ 85.	Распространеніе активнаго осадка диффузіей	348
§ 86.	Дѣйствіе тяжести на осадокъ индуктивной радиоактивности	357
§ 87.	Вліяніе условій активированія на видъ кривой дезактивированія. Активный осадокъ, висящій въ газѣ	363
§ 88.	Радиоактивность, приобретаемая веществами, находящимися въ раствореніи вмѣстѣ съ активными веществами	365
§ 89.	Опыты активированія однимъ только лученспусканіемъ активнаго вещества. Опыты активированія безъ присутствія радиоактивныхъ веществъ	366

	Стран.
ГЛАВА ВОСЬМАЯ. — Теорія превращеній радиоактивныхъ тѣлъ	368
90. Теорія радиоактивности	368
91. Теорія превращенія только одного вещества	374
92. Случай двухъ и трехъ веществъ	376
93. Общій случай	379
94. Зависимость между ионизаціей и количествомъ радиоактивныхъ веществъ	387
§ 95. Независимость радиоактивныхъ постоянныхъ отъ всякихъ внешнихъ условій	388
§ 96. Соображенія въ подкрѣпленіе атомическаго превращенія радиоактивныхъ тѣлъ	390
§ 97. Отклоненія отъ простаго закона радиоактивныхъ превращеній	391
§ 98. Возможныя причины разрушенія радиоактивныхъ атомовъ	396
Таблицы показательныхъ функций, относящихся къ эманации радія	399
Портретъ П. Кюри	<i>Фронтисписъ</i>
Таблица I. Радиографическое изображение руды	74
Таблица II. Спектръ радія	161



О П Е Ч А Т К И

Страл.	Стрoкa	Напечатано:	Должно быть:
2	14 св.	проводнички,	носители, (*)
"	24 "	въ смыслѣ окончательной концентраціи.	въ направленіи паденія концентраціи.
4	12 "	былъ полученъ,	получается,
"	25 и 26 "	разсматривать	разсмотрѣть
5	14 "	безъ задержки	обычно
7	5 сл.	такому,	такого,
8	6 св.	значение пониженія	значение
10	10 п 9 сл.	быстро расходуемыхъ	обычно употребляемыхъ
12	23 св.	опыту,	тому опыту,
16	14 "	характера	направленія
18	15 "	заслонкамъ,	частыми сѣткамъ,
30	5 сл.	пара вокругъ	пара
32	5 св.	выходѣ	выходѣ пзъ
78	12 "	глазнымъ	окулярнымъ
92	10 "	компенсируются	компенсируется
125	12 п 11 сл.	прямолинейна,	прямолинейна;
126	1 св.	соединеніе	соединеніе урана
134	4 "	свойство, могла	свойство,
140	5 "	клеветъ,	клеветъ,
144	1 сл.	въ пзвѣстныхъ единицахъ,	въ пѣкоторой мѣрѣ,
159	14 "	сѣтки	рѣшетки
166	4 "	въ стаканѣ	въ кристаллизационной чашкѣ
174	21 св.	со взрывамъ;	гремучаго;
175	8 п 9 "	обрабатываютъ	обрабатываютъ въ тепломъ состояніи
181	3 сл.	радія,	родія,
188	21 св.	(250 ^{кгр} ,	(250 ^{кгр})
190	3 сл.	1908 г.	1907 г.
394	4 п 5 св.	посылая въ одинъ и тотъ же измѣрительный приборъ	создавая въ одномъ и томъ же измѣрительномъ приборѣ



(*) Въздѣ, гдѣ встрѣтится слово *проводничекъ* (на страницахъ 1—202), его слѣдуетъ замѣнять словомъ *носитель*, какъ болѣе установленнымъ терминомъ.

Страницы 195 — 202 перепечатаны вновь
для замены прежних при переплетении двух
первых выпусков в один том.

тому что спектральный анализ обнаружилъ 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. Лучеспусканіе этого газа въ теченіи мѣсяца дало намъ фотографическіе оттиски и вызвало разрядъ паэлектризованныхъ 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 превосходитъ нѣсколькихъ часовъ. За открытіемъ индуктивной радиоактивности вскорѣ послѣдовало открытіе радиоактивныхъ эманаций, доставляющихъ новый примѣръ формъ радиоактивности съ ограниченою продолжительностью въ предѣлахъ отъ минуты до мѣсяца. Наконецъ, разысканія надъ радиоактивностью урана и торія доказали, что приемы хими-

(1) Rapport au Congrès de Physique.

ческаго анализа приводять въ пѣкоторыхъ случаяхъ къ отдѣленію веществъ, имѣющихъ все признаки радиоактивныхъ тѣлъ, по ея радиоактивностью, длящегося не болѣе пѣсколькихъ 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 пѣкоторое время вблизи радіеносной соли, является само радиоактивнымъ ⁽¹⁾.

Мы тотчасъ постарались доказать, что радиоактивность, пріобрѣтенная 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 все вещества активируются по одному и тому же образцу и что индуктивная радиоактивность, пріобрѣтенная 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 менѣе, чѣмъ въ день.

Немного спустя Рутерфордъ опубликовалъ работу, изъ которой вытекаетъ, что соединенія торія способны производить индуктивную радиоактивность ⁽²⁾; 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^{мо} 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 активирующаго тѣла, торія.

Дебьернъ затѣмъ показалъ, что активній 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 (1).

§ 54. Радиоактивныя эманации. Зависимость между эманациями и индуктивными радиоактивностями. — Открытіе радиоактивныхъ эманаций послѣдовало почти тотчасъ за открытіемъ индуктивной радиоактивности. Его начало коренится въ изученіи активности соединеній 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 приемникъ, 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 (2).

Наконецъ активній порождаетъ значительное выдѣленіе радиоактивной эманации. Токи воздуха сильно вліяютъ на активность активнія; это было отмѣчено Дебьерномъ (3). Мы видѣли, какъ Гизель, приготовивъ образцы активнаго вещества, которое потомъ оказалось тождественнымъ съ активіемъ, 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 (4).

(1) Debiere, *Comptes rendus*, июль 1900 г. и февраль 1903 г.

(2) Dorn, *Abh. Naturforsch. Gesell.*, Halle, 1900 г.

(3) Debiere, *Comptes rendus*, 1903 г.

(4) Giesel, *Chem. Ber.*, 1902 г.

До сихъ поръ неизвѣстно никакой другой радиоактивной эманации сверхъ тѣхъ, которыя испускаются торіемъ, радіемъ и актиніемъ. Притомъ эманации, происходящія отъ этихъ трехъ веществъ, различной природы; онѣ различаются между собою по своей неодинаковой стойкости. Въ то время какъ эманация торія уменьшаетъ свою активность приблизительно на 1% въ теченіи 10 минутъ, тотъ же результатъ для эманации радія получается только въ теченіи мѣсяца, а для эманации актинія черезъ полминуты.

Эманации не могутъ пронизывать никакого твердаго экрана, лишеннаго скважинъ, какъ бы онъ ни былъ топокъ.

Существуетъ зависимость между эманациями и индуктивными радиоактивностями. Вещества, производящія индуктивную радиоактивность, тѣ же, что и вещества, испускающія эманации. Совокупность разысканій надъ способомъ образованія индуктивной радиоактивности доказываетъ, что эта послѣдняя развивается на твердыхъ тѣлахъ только тогда, когда они паходятся въ соприкосновеніи съ эманацией. Значить, на эманацию можно смотрѣть, какъ на причину, порождающую индуктивную радиоактивность.

Слово *эманация*, вызывающее идею о газѣ, было предложено Рутерфордомъ уже въ 1900 г. для обозначенія причины радиоактивнаго 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 эманации, 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 *эманации*. Нынѣ можно считать, что матеріальная природа эманации 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 радиоактивная энергія, обнаруживающаяся въ такомъ помѣщеніи въ видѣ радиоактивности, распространяетъ

(1) Curie и Debierne, *Comptes rendus*, 1901 г. (нѣсколько Замѣтокъ).

ной по объему (эманации), и въ видѣ радиоактивности, покрывающей стѣпки (индуктивной радиоактивности), заимствуется прямо отъ радія, активность котораго настолько же уменьшается. Если радій легко испускаетъ часть своей активности паружу въ формѣ эманации и индуктивной радиоактивности, то его собственная активность становится слабою и является, такъ сказать, *экстеррированной* (выведенною паружу). 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⁽¹⁾; растворъ былъ затѣмъ осажденъ амміакомъ для отдѣленія актинія. Въ другихъ опытахъ растворъ, содержащій актиній и барій, осаждался сѣрною кислотою; сѣрно-кислый барій увлекалъ актиній; сѣрно-кислые 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 радіеосной 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 известно, что прибавленіе барія не необходимо и что при осажденіи раствора актинія амміа-

(1) Debierne, *Comptes rendus*, июль 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, легкій 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 зонромъ концентрированный водный растворъ азотнокислаго урана, Круксъ также нашелъ, что активность, оцѣненная по радіографическому методу, концентрировалась въ водной порціи раствора, тогда какъ порція, богатая зонромъ 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* (1).

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 вполнѣ воспринялъ свою первоначальную активность, тогда какъ уранъ X, который былъ отдѣленъ вмѣстѣ съ баріемъ, сталъ совершенно неактивнымъ* (2).

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

(1) Crookes, *Proc. Roy. Soc.*, 1900 г.

(2) 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, получили 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 (¹). 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, произведенные 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. Значитъ, 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 разрушения растёт, притомъ, съ возрастаниемъ интенсивности. Равновѣсіе получается, когда образование компенсируетъ самопроизвольное разрушение. 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 разрушения просты или могутъ приводиться къ простымъ законамъ. Изученіе явленій образования и разрушения различныхъ формъ радиоактивности и законовъ, характеризующихъ эти явленія, послужило основаніемъ для развитія нынѣшней теоріи радиоактивности, въ которой предполагается, что образование или разрушение нѣкоторой формы радиоактивности всегда сопровождается образованиемъ или разрушеніемъ нѣкотораго рода матеріальныхъ атомовъ. Гипотеза атомическаго превращенія была предвидѣна П. Кюри и мною съ самаго начала нашихъ изслѣдованій надъ радиоактивными веществами. Но эта гипотеза, нынѣ твердо установленная, обязана своимъ развитіемъ и своимъ 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.

отъ многихъ переменныхъ. — ГЛАВА VI. Разложенія въ произведенія 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 тахіта и мініта.

Третья книга (3-й выпускъ). Геометрическія приложенія.

ГЛАВА I. Кривизна плоскихъ линій. — ГЛАВА II. Кривизна линій, нанесенныхъ на сферѣ. — ГЛАВА III. Соприкасающаяся плоскость кривой двойкой кривизны. — ГЛАВА IV. Двѣ кривизны кривой, соприкасающійся 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.

БЕРТРАНЪ, Ж. Историческій очеркъ открытія Дифференціального и Интегрального исчисленій („Предисловіе“ къ „Дифференціальному Исчисленію“ Бертрана, заключающее въ себѣ изложеніе знаменитаго спора между Лейбницемъ и Ньютономъ о первенствѣ открытія). *Переводъ безъ измѣненій М. В. Пирожкова.* Спб. 1912 г. 50 к.

ПИРОЖКОВЪ, М. В. Ариѳметика ирраціональныхъ чиселъ. Спб. 1898 г. 1 р. 50 к.

— Дополнительныя статьи по алгебрѣ. Курсъ 7-го и 8-го классовъ гимназій. Пособіе 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 неизвѣстными, несоизмѣримыя (ирраціональныя) числа, задачи.

Одобрено Учен. Ком. Мин. Нар. Просв. для фундам. библ. всѣхъ средн. учебн. завед. и для учен. библ. старшаго возраста мужскихъ гимн. и реальн. учил.; реком. Главн. Управл. военно-учебн. завед. для фундам. библ. кадетскихъ корпусовъ.

— Прибавленіе къ первой части Алгебры Бертрана. Сборникъ задачъ съ рѣшеніями. 2-ое изд. Спб. 1909 г. 1 р. 25 к.

— Сборникъ задачъ для вступительныхъ экзаменовъ въ высшія техническія учебныя заведенія. Пособіе для гг. экзаменаторовъ. Спб. 1903 г. 1 р. 50 к.

СЕРРЕ (J.-A.) Прямолинейная тригонометрія, въ переводѣ *М. В. Пирожкова.* Спб. 1902 г. 60 к.

Допущено Учен. Ком. Мин. Нар. Просв. въ качествѣ руководства для средн. 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 функций“, въ переводѣ *М. В. Пирожкова.* Спб. 1906 г. 50 к.

**Уступка книгопродавцамъ: въ Спб. 20%, въ провинцію 25%.
Пересылка за счетъ заказчика.**

Н
—
4151
№1/2

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., Ижорская ул., 14) и во всѣхъ большихъ книжныхъ магазинахъ.

Портретъ М-ме Кюри будетъ приложенъ при II-мъ томѣ.



Издательство и книжный складъ „НАУКА И ЖИЗНЬ“ высылаетъ всякаго рода книги по первому требованію, по возможности съ обратною почтою.