

М. Склодовская-Кюри.

# ЭТАЛОНЪ РАДІА

## И ИЗМѢРЕНІЯ ВЪ ОБЛАСТИ РАДІОАКТИВНОСТИ.

*Journal de Physique*. Octobre 1912.

Переводъ съ французскаго

**Н. Тамашевой**

подъ редакціей профессора

**Н. А. Булгакова.**

С.-ПЕТЕРБУРГЪ.

Книгоиздательство „ФИЗИКА“.  
1913.

Типографія В. Безобразовъ и К<sup>о</sup>, В. О., Большой пр., 61.

Радиоактивность—наука новая, поражающая необыкновенной быстротой своего развития. Напомнимъ въ нѣсколькихъ словахъ главные этапы этого развития.

Замѣчается новое свойство вещества. Цѣлый рядъ систематическихъ изслѣдованій приводитъ къ первой основной гипотезѣ, которая приписываетъ этому новому свойству характеръ *преимущественно атомистическій*. Распространяя слѣдствія этой гипотезы на изученіе новыхъ явленій, повидимому совершенно несовмѣстимыхъ съ нею (активность нѣкоторыхъ минераловъ), приходятъ къ открытію новыхъ, чрезвычайно рѣдкихъ химическихъ элементовъ, которые являются могучимъ орудіемъ изслѣдованія въ этой новой области.

Соображенія энергетическаго характера, приложенныя къ атомистическому явленію радиоактивности и опирающіяся на все возрастающее число наблюденныхъ явленій, заставляютъ принять вторую основную гипотезу, согласно которой атомы радиоактивныхъ элементовъ неустойчивы и испытываютъ послѣдовательныя превращенія. На этой гипотезѣ

основывается теорія распада атомовъ, которая даетъ возможность классифицировать должнымъ образомъ всѣ извѣстныя радіоактивныя явленія. Какъ подтвержденіе ея, вскорѣ замѣчается не подлежащее сомнѣнію явленіе атомистическаго превращенія (образованіе элемента гелія изъ элемента радія). Такимъ образомъ, растетъ увѣренность въ томъ, что радіоактивныя явленія дадутъ возможность изучить строеніе атомовъ; въ настоящее время это единственныя явленія, основываясь на которыхъ можно надѣяться это сдѣлать, такъ какъ только они носятъ чисто атомистическій характеръ и не испытываютъ на себѣ вліянія связей между молекулами.

Въ то же время пополняются наши знанія въ этой области, и роль радіоактивныхъ явленій во вселенной представляется намъ все болѣе и болѣе значительной. Къ этимъ явленіямъ приходится постоянно обращаться при объясненіяхъ, которыя даются сейчасъ или могутъ быть даны въ будущемъ образованію атомовъ, послѣдовательнымъ превращеніямъ разныхъ видовъ рудъ, термическимъ и электрическимъ явленіямъ, происходящимъ на землѣ и вообще во всей солнечной системѣ, электрическому состоянію атмосферы. Ихъ значеніе велико также въ области различныхъ фізіологическихъ явленій (развитіе и ростъ животныхъ и растеній). Они оказываются однимъ изъ главныхъ факторовъ міровой эволюціи.

Помимо того громаднаго значенія, которое они приобрѣли въ области чистой науки, они завоевываютъ себѣ съ каждымъ днемъ все большее и большее мѣсто въ примѣненіяхъ къ медицинѣ. Велики уже заслуги радіоактивныхъ явленій передъ человѣческими страданіями, и не въ этомъ, конечно, ихъ наименьшее значеніе.

\* \* \*

Сдѣлавъ бѣглый обзоръ этой поразительной эволюціи, совершившейся за пятнадцать лѣтъ, я считаю нужнымъ обратить вниманіе на значеніе *точныхъ измѣреній* въ ходѣ этой эволюціи, значеніе, особенно важное въ рассматриваемомъ случаѣ.

Одно изъ главныхъ свойствъ радіоактивныхъ тѣлъ состоитъ въ томъ, что они дѣлаютъ окружающій воздухъ проводникомъ электричества. Причиной этой проводимости является іонизація воздуха лучами, испускаемыми этими тѣлами. Возьмемъ закрытый сосудъ или іонизаціонную камеру съ іонизированнымъ воздухомъ. Помѣстивъ въ такую камеру изолированный электродъ, устанавливаемъ въ ней электрическое поле; когда напряженіе поля достигнетъ опредѣленной величины, на обоихъ электродахъ (внутренняя стѣнка камеры и изолированный проводникъ) соберутся всѣ количества

электричества, равныя по величинѣ и обратныя по знаку, несомыя положительными и отрицательными іонами, образовавшимися въ камерѣ; при этомъ на каждомъ электродѣ собираются іоны, знакъ которыхъ противоположенъ знаку электрода; числомъ же положительныхъ и отрицательныхъ іоновъ, которые воссоединились до достиженія электродовъ, можно пренебречь. Если причина, производящая іоны, дѣйствуетъ постоянно (излученіе радіоактивнаго вещества), то каждый электродъ непрерывно собираетъ на себѣ электричество, такъ что черезъ іонизаціонную камеру проходитъ постоянный электрическій токъ. Полученный при вышеуказанныхъ условіяхъ токъ называется *токомъ насыщенія* и можетъ служить вполне опредѣленной мѣрой интенсивности излученія въ камерѣ. Радіоактивное вещество, производящее излученіе, можетъ быть помѣщено внутри камеры или внѣ ея; въ последнемъ случаѣ оно дѣйствуетъ благодаря испусканію лучей, проходящихъ черезъ стѣнки камеры (проникающіе лучи).

Съ самаго же начала при изученіи радіоактивности составляющихъ урана и опредѣленіи радіоактивности другихъ веществъ, пользовались методомъ точныхъ измѣреній для вычисленія степени радіоактивности при помощи тока насыщенія, полученнаго при опредѣленныхъ условіяхъ. Очень слабыя напряженія токовъ, съ которыми приходи-

лось имѣть дѣло, измѣрялись при помощи аппарата, заключающаго въ себѣ электрометръ и пьезоэлектрическій кварцъ.

Этотъ аппаратъ, который былъ описанъ много разъ <sup>(1)</sup> и который можно считать классическимъ, даетъ возможность опредѣлить съ большой точностью абсолютную величину тока порядка отъ  $10^{-12}$  до  $10^{-10}$  амперъ, а также сравнивать относительныя величины силы токовъ. Пользованіе такимъ точнымъ методомъ дало возможность сдѣлать довольно много численныхъ опредѣленій, при помощи которыхъ было установлено, что радиоактивность составляющихъ урана и торія является свойствомъ атомовъ урана и торія. Тотъ же методъ послужилъ для обнаруженія кажущейся аномальной активности различныхъ минераловъ, активности того же порядка, какъ активность составляющихъ урана, между тѣмъ какъ разница между ними могла остаться совершенно незамѣченной при другихъ болѣе грубыхъ способахъ изслѣдованія. Именно эти опыты и привели къ открытію радія. Наконецъ, при работахъ, имѣвшихъ цѣлью обнаружить существованіе новыхъ элементовъ, въ частности радія, всегда пользовались этимъ самымъ методомъ и можно сказать, что безъ этого метода работы не привели

---

(1) M. Curie, Rev. gén. des Sc., Январь 1899 года; Thèse de doctorat, Парижъ 1913; Traité de Radioactivité, 1910 годъ.

бы къ достигнутымъ результатамъ. Только благодаря полученію точныхъ количественныхъ данныхъ возможно было наблюдать за активными веществами во время химическихъ разложеній и находить слѣды этихъ веществъ въ *цѣлыхъ тоннахъ первичнаго вещества*.

Работы, относящіяся къ открытію полонія и радія, являются первыми химическими изслѣдованіями, произведенными при помощи метода электрометрическихъ измѣреній. Но съ тѣхъ поръ пользование этимъ методомъ стало общепринятымъ, и это дало возможность произвести цѣлый рядъ другихъ имѣющихъ громадное значеніе работъ, какъ то: разложеніе и изученіе нѣсколькихъ новыхъ радиоактивныхъ тѣлъ, твердыхъ и газообразныхъ, (активній, радіоторій, мезоторій, радіосвинець, іоній, радиоактивныя эманации), изслѣдованія, доказывающія образованіе радія въ урановой рудѣ, опыты дающіе возможность считать лучи, испускаемые радиоактивными тѣлами, корпускулярнымъ потокомъ (счетъ  $\alpha$ -частиць) и т. д. Электрометрическая техника стала для радиоактивности самымъ цѣннымъ орудіемъ изслѣдованія; ей эта наука обязана самыми блестящими своими завоеваніями, отъ нея она ждетъ новыхъ побѣдъ въ будущемъ.

Отсюда мы видимъ, какъ важно не пренебрегать ничѣмъ, что можетъ сдѣлать пользование въ



радіоактивности методами електрометрическихъ измѣреній еще болѣе надежнымъ и менѣе затруднительнымъ.

Вотъ уже нѣсколько лѣтъ, какъ, основываясь на этомъ, ученые, работающіе по радіоактивности, пришли къ твердому убѣжденію, что необходимо установить *интернаціональный эталонъ радія*. Этимъ будетъ внесено въ изученіе рассматриваемаго вопроса усовершенствованіе, которое сообщитъ больше ясности и точности работамъ въ лабораторіяхъ.

Чтобы дать возможность понять смыслъ установленія такого эталона и все значеніе, которое оно можетъ имѣть въ будущемъ, необходимо остановиться подробнѣе на разсмотрѣніи технической стороны производства работъ въ лабораторіяхъ.

\* \* \*

Основной чертой методовъ, которыми можно пользоваться въ радіоактивности, является ихъ пригодность для изслѣдованія веществъ, имѣющихъ только въ чрезвычайно малыхъ количествахъ. Это одинаково справедливо для методовъ химическихъ и физическихъ. Изъ тѣлъ, радіоактивность которыхъ болѣе или менѣе значительна, только уранъ и торій заключаются въ содержащихъ ихъ минералахъ въ довольно большихъ количествахъ. Но активность этихъ тѣлъ слаба, и потому поле изслѣ-

дованій, которыя они даютъ возможность произвести, ограничено.

Самымъ цѣннымъ орудіемъ изслѣдованія въ этой области является радій. И вотъ почему. Во первыхъ, его активность значительна. Активность одного грамма радія, только что выдѣленнаго изъ руды, приблизительно въ  $1,3 \cdot 10^6$  разъ больше активности одного грамма урана. Изъ теоріи радіоактивныхъ превращеній мы знаемъ, что причина этого заключается въ томъ, что радій превращается гораздо быстрее чѣмъ уранъ. Всякое простое радіоактивное вещество распадается, слѣдуя такъ называемому *показательному закону*, по которому время, необходимое для превращенія половины количества всего вещества, есть постоянная, независимая отъ наличнаго количества вещества; эта постоянная, называемая *періодомъ*, вполне характеризуетъ вещество. Можно также опредѣлить другую постоянную, называемую *среднею продолжительностью существованія* и представляющую для достаточно большого числа атомовъ опредѣленнаго рода среднюю величину продолжительности существованія этихъ атомовъ. Средняя продолжительность существованія находится въ простомъ соотношеніи съ періодомъ, она измѣняется пропорціонально періоду. Уранъ и собственно радій или *радій съ минимальной активностью* испускаютъ  $\alpha$ -лучи или корпускулярный потокъ съ положительнымъ зарядомъ. Можно пока-

зять, что среднія продолжительности существованія двухъ тѣлъ должны относиться между собой приблизительно, какъ ихъ активности; и это соотношеніе будетъ имѣть мѣсто каждый разъ, какъ мы будемъ сравнивать два радіоактивныхъ тѣла съ аналогичнымъ излученіемъ <sup>(1)</sup>. Средняя продолжительность существованія радія была опредѣлена при помощи непосредственныхъ опытовъ; она равна приблизительно 2800 годамъ; средняя же продолжительность существованія урана должна быть порядка  $10^9$  лѣтъ.

Но радій цѣненъ не только своимъ собственнымъ излученіемъ. Въ немъ происходятъ различныя превращенія, вслѣдствіе которыхъ, онъ всегда сопровождается цѣлымъ рядомъ другихъ радіоактивныхъ веществъ. Атомъ радія, при своемъ превращеніи, производитъ: во первыхъ, атомъ гелія или  $\alpha$ -частицу, выбрасываемую съ большою скоростью и образующую  $\alpha$ -лучъ, и во вторыхъ, атомъ радіоактивнаго газа, называемаго эманацией радія. Этотъ газъ, періодъ котораго равенъ 3,85 дня, въ свою очередь превращается, выбрасывая при этомъ  $\alpha$ -лучи, и образуетъ цѣлый рядъ твердыхъ веществъ, назы-

---

(1) Средняя продолжительность существованія урана, по всей вѣроятности, въ  $2 \times 1,3 \cdot 10^6$  разъ больше средней продолжительности существованія радія, потому что при превращеніи cadaго атома уранъ испускаетъ двѣ  $\alpha$ -частицы, а радій только одну.

ваемыхъ радій  $A, B, C, D, E,$  и  $F,$  изъ которыхъ каждый получается при превращеніи предыдущаго. Излученія, сопровождающія каждое изъ этихъ превращеній, различны. Тѣла  $A$  и  $F$  испускаютъ  $\alpha$ -лучи, тѣла  $B$  и  $D$ — $\beta$ -лучи или отрицательные электроны, обладающіе большими скоростями, тѣло  $E$ — $\beta$ -лучи и  $\gamma$ -лучи, природа которыхъ, по всей вѣроятности, электромагнитна; наконецъ, тѣло  $C,$  по всей вѣроятности, тѣло сложное, испускаетъ  $\alpha$ -лучи и  $\beta$ -лучи, обладающіе различными скоростями, близкими къ скорости свѣта, и чрезвычайно проникающіе  $\gamma$ -лучи.

Среднія продолжительности существованія веществъ  $A, B$  и  $C$  сравнительно коротки (между 4 минутами и 40 минутами); совокупность этихъ веществъ образуетъ *быстро превращающійся активный осадокъ*; среднія же продолжительности существованія тѣлъ  $D, E$  и  $F$  значительно больше (отъ шести мѣсяцевъ до двадцати лѣтъ); эти тѣла образуютъ *медленно превращающійся активный осадокъ*. Вотъ схема превращеній радія (рис. 1):

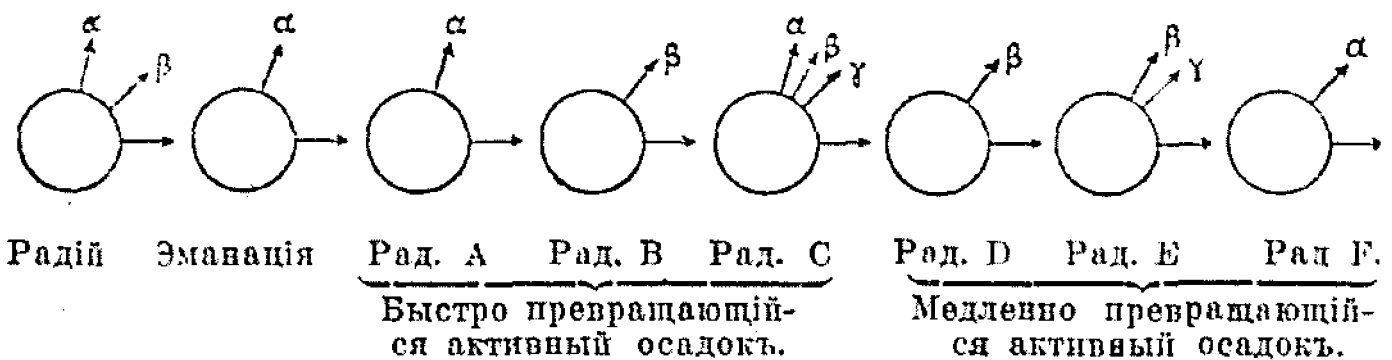


Рис. 1.

Когда радій находится въ твердомъ состояніи, въ соли или въ рудѣ, эманация радія цѣликомъ или почти цѣликомъ задерживается въ твердомъ веществѣ и тутъ же сама превращается въ твердыя вещества, которыя накаплиются. Но такъ какъ накопленіе ограничено разрушеніемъ, то устанавливается такое состояніе равновѣсія, при которомъ для каждаго вещества образованіе компенсируется разрушеніемъ. Тогда радій находится *въ состояніи радиоактивнаго равновѣсія* со своими производными. Такое состояніе равновѣсія можетъ устанавливаться и оставаться повидимому неизмѣннымъ въ теченіе многихъ лѣтъ, такъ какъ средняя продолжительность существованія радія очень велика по сравненію съ однимъ годомъ и съ средней продолжительностью существованія всѣхъ его производныхъ. Первое состояніе равновѣсія съ эманацией и съ быстро превращающимся активнымъ осадкомъ достигается приблизительно черезъ мѣсяць послѣ того, какъ радій приведенъ въ такое состояніе, при которомъ эманация не можетъ вырваться наружу; это условіе выполнено вполне, когда радій, въ какомъ бы то ни было состояніи, заключенъ въ запаянную трубку; оно осуществлено приблизительно для прокаленной соли. Вслѣдствіе этой эволюціи активность твердаго радія растеть и достигаетъ величины, превышающей въ пять, шесть разъ величину минимальной активности. Вмѣстѣ съ тѣмъ

растетъ измѣняемость излученія, и мы видимъ, что появляются сильно проникающіе лучи, принадлежащіе не радіо элементу, а его производнымъ. Именно въ такомъ состояннн радій и употребляется для изслѣдованій и для лечебныхъ цѣлей.

Когда эта первая эволюція закончена, наступаетъ другая, болѣе продолжительная, которая состоитъ въ накопленнн медленно превращающагося активнаго осадка и ведетъ къ радіоактивному равновѣсію съ нимъ. Для установленія этого равновѣсія требуется приблизительно сто лѣтъ и нетрудно предвидѣть, что къ концу полная активность твердой соли возрастетъ приблизительно на 20%. Этотъ предѣлъ представляетъ собою максимумъ, вслѣдъ за которымъ наступаетъ чрезвычайно медленное ослабленіе излученія, совершающееся по закону превращенія радія, причемъ ослабленіе излученія за годъ не достигаетъ  $\frac{1}{1000}$ .

Радій содержится въ минералахъ урана. Ихъ возрастъ, считая со времени образованія, надо признать порядка въ сто милліоновъ лѣтъ. Присутствіе радія въ минералахъ такого давнишняго образованія можетъ быть объяснено только при допущеннн гипотезы образованія радія въ самихъ минералахъ. Въ самомъ дѣлѣ, почти установлено что радій—производный урана и что онъ находится съ нимъ въ равновѣснн въ самыхъ старыхъ урановыхъ ру-

дахъ. Средняя продолжительность существованія урана порядка продолжительности геологическихъ эпохъ. Въ нѣкоторыхъ минералахъ, изъ которыхъ эманация не выдѣляется въ значительномъ количествѣ, уранъ находится въ радіоактивномъ равновѣсїи съ радїемъ и со всѣми его производными. Было доказано, что послѣдній изъ его производныхъ, или радій *F* тождественъ полонію, который является первымъ новымъ сильно радіоактивнымъ веществомъ, найденнымъ въ урановыхъ рудахъ.

Отношеніе количества радія къ количеству урана въ минералахъ урана приблизительно постоянно, такъ что на одинъ граммъ урана приходится приблизительно  $3,4 \cdot 10^{-7}$  гр. радія. Въ минералахъ, богатыхъ ураномъ (содержащихъ, напримѣръ, 75% окиси урана), на тонну руды приходится нѣсколько дециграммъ радія. Всѣ методы химическаго изслѣдованія и даже спектральный анализъ были бы неспособны обнаружить присутствіе этого тѣла, не смотря на то, что у него очень чувствительный спектръ, и только благодаря его свойству радіоактивности, открытому электрометрическимъ методомъ, онъ могъ быть найденъ. Теперь уже извѣстно, что *радіоактивная реакція* радія въ нѣсколько тысячъ разъ чувствительнѣе его спектральной реакціи, чувствительность которой того же порядка, какъ чувствительность барія.

Хотя количество радія въ урановой рудѣ очень

мало, все таки удалось добыть его и даже получить чистыя соли радія. Радій—элементъ щелочно-земельный; атомный вѣсъ его равенъ 226,5. Благодаря его вполне опредѣленнымъ химическимъ свойствамъ, его добываніе, способы котораго сейчасъ очень тщательно изучены, не представляетъ особеннаго затрудненія. Добываніе его составляетъ сейчасъ отдѣльную отрасль промышленности, надъ которой работаетъ нѣсколько заводовъ во Франціи и въ другихъ странахъ. Но такъ какъ урановая руда встрѣчается въ природѣ очень рѣдко, такъ какъ добываніе радія требуетъ тщательной обработки руды и потребность въ немъ для цѣлей научныхъ и медицинскихъ все возрастаетъ, то цѣна его очень высока. Радій самое дорогое изъ всѣхъ существующихъ веществъ. Одинъ граммъ бромистаго радія стоитъ сейчасъ 400000 франковъ. Все количество радія, добытое до сихъ поръ изъ руды, не достигаетъ даже 10 граммъ.

Если мы разсмотримъ другія сильно радіоактивныя вещества (актиній, полоній, мезоторій, радіоторій), то убѣдимся, что многія изъ нихъ могутъ обладать излученіемъ, болѣе интенсивнымъ чѣмъ излученіе радія. Удалось получить образцы полонія и мезоторія, сопутствующаго радіоторіемъ, активность которыхъ была того же порядка, какъ активность равнаго вѣсоваго количества радія, не смотря на то, что активное вещество тамъ было въ



очень незначительномъ количествѣ. Ни одно изъ этихъ веществъ не могло до сихъ поръ быть получено въ чистомъ видѣ. Добываніе ихъ сопровождается большими затрудненіями; количество ихъ въ первичной матеріи значительно меньше, даже чѣмъ количество радія. Это зависитъ отъ того, что ихъ средняя продолжительность существованія мала по сравненію съ средней продолжительностью существованія радія (полоній—200 дней, актиній—тридцать лѣтъ?, мезоторій—приблизительно восемь лѣтъ, радіоторій—приблизительно три года). И вмѣстѣ съ тѣмъ эти тѣла, полученіе которыхъ требуетъ большого труда и громаднхъ затратъ, не обладаютъ, какъ радій, достаточной съ точки зрѣнія практики устойчивостью и въ нѣсколько лѣтъ теряютъ всю свою силу. Но тѣмъ не менѣе добываніемъ сильно активныхъ веществъ, обязанныхъ своей активностью мезоторію, сопутствующему радіоторіемъ и его производными, занимаются въ промышленности, такъ какъ первичное вещество (руда и соли торія) находится въ нашемъ распоряженіи въ довольно большомъ количествѣ. Излученіе полученныхъ такимъ образомъ веществъ такъ же богато и разнообразно, какъ излученіе радія, и можетъ служить для аналогичныхъ цѣлей; но неудобство этого излученія заключается въ томъ, что оно измѣняется со временемъ, причемъ эволюція его совершается по очень сложному закону.

Активность іонія меньше активности радія. Тѣло

это содержится въ рудѣ въ большемъ количествѣ, чѣмъ радій, но полученіе его связано повидимому съ большими затрудненіями. Его излученіе отличается большей однородностью, чѣмъ излученіе радія.

Такимъ образомъ, мы приходимъ къ заключенію, что радій имѣетъ въ этой области первенствующее значеніе, которое, повидимому, за нимъ останется. Этому онъ обязанъ: 1) свойственной ему средней продолжительности существованія, ни слишкомъ большой, ни слишкомъ малой, обеспечивающей ему значительную активность при достаточной устойчивости; 2) своимъ химическимъ свойствамъ, дающимъ возможность добывать его безъ особенныхъ затрудненій; 3) богатству своего излученія, которому онъ обязанъ отчасти самому радію, отчасти его быстро превращающимся производнымъ; 4) быстротѣ первой эволюціи, благодаря которой черезъ мѣсяцъ послѣ того, какъ онъ полученъ, устанавливается излученіе, остающееся почти постояннымъ въ теченіе многихъ лѣтъ; 5) тому немаловажному обстоятельству, что радій можетъ быть изолированъ и точно опредѣленъ, какъ химическій элементъ, и что, благодаря этому, онъ представляетъ серьезное основаніе для количественныхъ изысканій.

Этимъ и объясняется то обстоятельство, что техника всѣхъ точныхъ измѣреній, производимыхъ въ лабораторіяхъ по радіоактивности, основана на употребленіи радія. Объ этомъ тѣлѣ мы и будемъ главнымъ образомъ говорить дальше.

Вслѣдствіе того, что сильно радіоактивныя тѣла содержатся въ первичной матеріи въ чрезвычайно малыхъ количествахъ, химическія реакціи, къ которымъ приходится прибѣгать для выдѣленія этихъ тѣлъ, должны быть разсмотрѣны особо. При обработкѣ руды растворимость составляющихъ радіоактивныхъ тѣлъ должна быть всегда достаточно велика, чтобъ не допустить ихъ осажденія или кристаллизаціи. Кристаллизація можетъ происходить только вслѣдствіе присутствія: 1) изоморфныхъ солей (кристаллизація содержащихъ радій солей барія), 2) солей, которыя обладаютъ способностью при осажденіи *увлекать* съ собой нѣкоторыя активныя вещества (увлечение актинія или мезоторія сѣрно-кислымъ баріемъ), 3) нерастворимыхъ веществъ, которыя задерживаютъ активныя вещества путемъ адсорбціи (дѣйствіе, оказываемое углемъ, чтобы собрать въ растворѣ уранъ  $x$  или другія вещества). Эти *реакціи увлеченія* могутъ сильно отличаться отъ тѣхъ реакцій, на которыя, эти вещества были бы способны въ состояніи нормальной молекулярной концентраціи. Впрочемъ, съ точки зрѣнія молекулярной теоріи, вполне понятно, что свойства вещества могутъ измѣниться, когда каждая его молекула находится изолированной внутри другого посторонняго вещества. Но замѣчательно, что свойство радіоактивности, повидимому, не порождаетъ специальныхъ молекулярныхъ свойствъ. Такъ реакціи радія съ мо-

молекулярной точки зрѣнія не представляютъ никакихъ особенностей; эти реакціи, также какъ и видъ спектра радія, вполне соотвѣтствуютъ тому мѣсту, которое радій по своему атомному вѣсу занимаетъ въ періодической системѣ элементовъ.

Разсмотримъ теперь каковы условія употребленія радія съ точки зрѣнія количественной. Вслѣдствіе того, что это вещество встрѣчается очень рѣдко, что добывается оно въ незначительномъ количествѣ и что цѣна его очень высока, наибольшее количество радія, находящагося въ какомъ либо изъ существующихъ учрежденій (лабораторіяхъ, научныхъ или медицинскихъ институтахъ), равно приблизительно одному грамму; большею частью оно даже значительно меньше. Количество радія, употребляемое въ лабораторіяхъ для научныхъ работъ, сейчасъ не превышаетъ указаннаго предѣла и даже въ большинствѣ случаевъ стоитъ ниже его.

Для большей части работъ употребляютъ обыкновенно количества радія, заключающіяся между однимъ сантиграммомъ и долями миллиграмма. Очевидно, что такія малые количества не могутъ быть точно измѣрены при помощи вѣсовъ. Да и кромѣ того взвѣшивание солей радія требуетъ большихъ предосторожностей, такъ какъ эти вещества поглощаютъ находящіяся въ воздухѣ водяные пары, и такъ какъ въ нихъ подъ вліяніемъ ихъ собственныхъ радіацій происходятъ химическія молекулярныя превращенія,

такъ что природу соли можно считать опредѣленной точно только сейчасъ же послѣ ея полученія.

Но существуетъ цѣлый рядъ научныхъ работъ, въ которыхъ количество радія, съ которымъ приходится имѣть дѣло, еще меньше, чѣмъ было, указано выше. Это работы, относящіяся къ изслѣдованію радиоактивности почвы, водъ и атмосферы. Удалось обнаружить, что въ состояніи чрезвычайнаго разведенія радій разлитъ повсюду на поверхности земли, въ верхнихъ слояхъ горныхъ породъ, въ морской и родниковой водѣ. Количество радія, приходящееся на граммъ этихъ веществъ, порядка  $10^{-12}$  г. или ниже; изрѣдка оно его превышаетъ: въ нѣкоторыхъ минералахъ, въ минеральныхъ водахъ, въ натуральной нефти. Такъ какъ количества вещества, съ которыми мы обыкновенно имѣемъ дѣло, меньше одного килограмма, то приходится измѣрять съ точностью количества радія порядка  $10^{-10}$  г. Эта задача, совершенно недоступная для химическаго количественнаго анализа, была рѣшена при помощи электрометрическихъ методовъ.

Атмосфера не содержитъ радія, но содержитъ эманацию радія въ видѣ слѣдовъ. Многія минеральныя воды содержатъ эманацию, не содержа радія. Въ лабораторныхъ работахъ часто, какъ источникомъ лучей, пользуются эманацией радія, выдѣлившейся изъ него.

Для производства количественныхъ работъ при-

шлоось установить методы, дающіе возможность опредѣлять количество эманации. Дальше мы увидимъ, какъ пользуются этими методами для опредѣленія количества самого радія. Въ силу того, что активность эманации значительно превосходитъ активность радія, радиоактивная реакція эманации приблизительно въ 100000 разъ чувствительнѣе. Но за то эманацию мы имѣемъ всегда въ чрезвычайно малыхъ количествахъ, такъ что нѣтъ никакой возможности примѣнять къ ней вѣсовые или объемныя измѣренія. Наибольшее количество эманации, которое можно было бы получить въ самой богатой радіемъ лабораторіи, порядка одного кубическаго миллиметра. Электрометрическій методъ даетъ возможность измѣрять количества эманации въ  $10^{-10}$  кубическихъ миллиметровъ.

Не буду говорить о количествахъ, въ какихъ встрѣчаются слѣдующіе производные радія, хотя съ веществами *A*, *B* и *C* приходится считаться при измѣреніяхъ, какъ мы это увидимъ дальше. Я обращаю только вниманіе на то, что эти вещества, въ силу кратковременности ихъ существованія, находятся только въ чрезвычайно малыхъ количествахъ, значительно меньшихъ, чѣмъ эманация радія. За то чувствительность ихъ радиоактивной реакціи очень велика. Эти вещества могутъ быть получены въ винтъ осадка на металлическую проволоку, заряженную предпочтительно отрицательно и помѣ-

щенную въ пространство, содержащее эманацию радія. Тогда можно поступать съ ними, какъ съ химическими веществами, и заставить ихъ перейти въ кислый растворъ. Изъ такого раствора можно снова вызвать ихъ осажденіе на соотвѣтствующій металлъ или увлеченіе осаждающейя солью. За всѣми этими процессами можно слѣдить, пользуясь электрометрическими способами измѣренія. Любопытно, что такимъ образомъ можно изучить съ помощью химическихъ методовъ и точно измѣрить такія вещества, которыя, по всей вѣроятности, никогда не смогутъ быть охарактеризованы, какъ химическіе элементы, такъ какъ ихъ распадъ совершается очень быстро. Это—новая химія, которая употребляетъ, какъ орудіе изслѣдованія, не вѣсы, а электрометръ и которую хочется назвать *химіей невидимаго*.

\* \* \*

Способъ, которымъ съ самаго начала пользовались для опредѣленія приблизительнаго количества радія, состоялъ въ томъ, что измѣряли силу тока насыщенія, вызваннаго въ іонизаціонной камерѣ нѣкоторымъ количествомъ твердаго содержащаго радій вещества, распыленнаго и помѣщеннаго въ видѣ тонкаго слоя на пластинку, находящуюся въ камерѣ. Аппаратъ, которымъ пользовались для этой

цѣли, былъ уже нѣсколько разъ описанъ <sup>1)</sup>. При такомъ способѣ опредѣленія принимаютъ во вниманіе дѣйствіе полнаго излученія вещества; и потому, способъ этотъ очень чувствителенъ и даетъ, на примѣръ, возможность безъ всякихъ затрудненій измѣрить активность вещества, заключающаго въ себѣ радій въ количествѣ одной десятиллионной. Измѣняя поверхности, можно измѣнять чувствительность этого метода и примѣнять его къ концентраціямъ, измѣняющимся въ широкихъ предѣлахъ. При этихъ измѣреніяхъ пользуются почти исключительно  $\alpha$ -лучами, которые очень легко поглощаются, такъ что, начиная съ нѣкоторой незначительной толщины активного слоя, сила тока почти не увеличивается съ толщиной. Въ практикѣ употребляютъ обыкновенно слои толщиной въ 0,5 мм., но можно было бы пользоваться и болѣе тонкими слоями, если бы они обладали непрерывностью строенія.

Этимъ методомъ пользовались и пользуются сейчасъ для приблизительнаго опредѣленія того, насколько данное вещество богато радіемъ и для контроля при извлеченіи этого вещества изъ руды. Но онъ не былъ разработанъ настолько, чтобъ стать

---

(1) M. Curie; *Revue générale des Sciences*, январь 1899 г.; *Thèse de doctorat*, Парижъ, 1903 г.



методомъ, пригоднымъ для точныхъ измѣреній. И вотъ почему:

1) Онъ требуетъ такой обработки вещества, которая представляетъ большія неудобства, когда приходится имѣть дѣло съ веществами, богатыми радіемъ, и, слѣдовательно, стоящими очень дорого.

2) При помощи этого метода опредѣляется не полное количество радія, а только концентрація радія. Да и эта концентрація можетъ быть опредѣлена только съ нѣкоторой точностью, такъ какъ неактивное вещество, сопутствующее радію, поглощаетъ проходящіе черезъ него лучи, причемъ это поглощеніе зависитъ отъ природы вещества.

3) Состояніе твердыхъ содержащихъ радій веществъ, находящихся въ воздухѣ, не можетъ быть вполне точно опредѣлено.

Эти вещества могутъ выдѣлять большее или меньшее количество эманации, такъ что ихъ активность зависитъ отъ количества эманации и количества активного осадка, находящихся въ соли. Наболѣе точно опредѣлена минимальная активность соли, т. е. та, которою эта соль обладаетъ, когда она не содержитъ ни эманации, ни активного осадка; чтобъ получить соль въ такомъ состояніи, ее растворяютъ, выгоняютъ изъ нея эманацию, а потомъ выпариваютъ до суха, принимая соотвѣтствующія предосторожности. Во многихъ случаяхъ эти манипуляціи недопустимы; онѣ не могутъ быть

произведены надъ малыми количествами этихъ дорого стоящихъ веществъ.

Есть два метода, которые позволяютъ измѣрять количества радія и его эманации:

1) Непосредственное измѣрение эманации и опредѣленіе количества радія по выдѣленной эманации.

2) Измѣрение количества радія или эманации радія по испусканію проникающихъ лучей ( $\gamma$ -лучей).

### *Непосредственное измѣрение эманации.*

Вводя эманацию радія въ іонизаціонную камеру, можно измѣрять силу полученнаго тока насыщенія. Токъ этотъ испытываетъ со временемъ извѣстную эволюцію. Сначала сила его растетъ, вслѣдствіе образованія активнаго осадка за счетъ эманации, и достигаетъ въ три часа нѣкотораго максимума, а потомъ начинаетъ убывать, причемъ убываніе совершается по показательному закону, характерному для эманации.

Законъ этотъ можетъ быть записанъ слѣдующимъ образомъ:

$$(1) \quad q = q_0 e^{-\frac{t}{\theta}},$$

гдѣ  $q$  и  $q_0$  количества эманации, соотвѣтствующія временамъ  $t$  и  $0$ , а  $\theta$  средняя продолжительность существованія эманации; средняя продолжительность

существованія эманации равна 133 часамъ и соотвѣтствуетъ періоду въ 3,85 дня.

Измѣреніе силы тока можетъ быть произведено съ большой точностью во время стационарнаго состоянія, соотвѣтствующаго максимуму. При этомъ пользуются полнымъ излученіемъ эманации и активнаго осадка и, слѣдовательно, располагають большой чувствительностью.

Эманация непрерывно и равномерно выдѣляется радіемъ, пропорціонально количеству радія и независимо отъ состоянія молекулярнаго сочетанія. Если образованіе эманации происходитъ въ закрытомъ сосудѣ, то количество эманации растетъ со временемъ и стремится къ нѣкоторому предѣльному значенію  $q_{\infty}$ , зависящему исключительно отъ количества радія, находящагося въ сосудѣ и пропорціональнаго ему.

Если въ начальный моментъ въ сосудѣ не было эманации, то накопленіе ея, выраженное въ функціи времени  $t$ , происходитъ по слѣдующему закону:

$$(2) \quad q = q_{\infty} \left( 1 - e^{-\frac{t}{\theta}} \right),$$

гдѣ  $\theta$  средняя продолжительность существованія эманации.

Для опредѣленія количества радія въ относительныхъ мѣрахъ поступаютъ слѣдующимъ образомъ: вещество, содержащее радій, растворяють и помѣщаютъ въ сосудъ; изъ этого сосуда выгоняють

эманацию, заставляя кипеть растворъ или пропускаемая черезъ него потокъ воздуха; потомъ, закрываютъ сосудъ и въ теченіе нѣсколькихъ дней предоставляютъ эманации накопляться. Накопленную эманацию извлекаютъ и переносятъ въ приспособленную для этого іонизационную камеру съ тѣмъ, чтобы по прошествіи трехъ часовъ измѣрить максимальную силу тока насыщенія, которая служитъ мѣрою  $q$ . Значеніе  $q_{\infty}$  можетъ быть вычислено при помощи теоретической формулы (2) и служитъ мѣрой количества радія, находящагося въ сосудѣ. Для производства вычисленій употребляютъ спеціально построенныя числовыя таблицы, пользуясь постоянной  $\theta$ , вполне точно опредѣленной изъ опыта.

Чтобъ сдѣлать эти измѣренія абсолютными, необходимо опредѣлить максимальный токъ насыщенія, который можетъ быть вызванъ въ данной іонизационной камерѣ предѣльнымъ количествомъ эманации, соотвѣтствующимъ опредѣленному количеству радія. Эта манипуляція требуетъ тщательнаго взвѣшиванія нѣкотораго количества точно опредѣленной соли радія, употребляемой для изготовленія титрованнаго раствора, который долженъ служить для градуированія измѣрительнаго прибора.

Тѣмъ же приборомъ можно пользоваться для измѣренія количествъ эманации, — независимо отъ ихъ происхожденія, — при помощи максимальнаго

тока насыщения, который они могут вызвать. Всякое количество эманации можетъ такимъ образомъ быть приравнено предѣльному количеству  $q_{\infty}$ , которое будетъ въ радиоактивномъ равновѣсїи съ даннымъ количествомъ радїа.

Измѣряемый токъ насыщения измѣняется въ зависимости отъ формы и размѣровъ іонизаціонной камеры и растетъ вмѣстѣ съ ея объемомъ, такъ что градуированіе можно считать дѣйствительнымъ, только для одной опредѣленной камеры. Но если размѣры этой камеры точно указаны и токъ, вызванный предѣльнымъ количествомъ эманации, соответствующимъ извѣстному количеству радїа, данъ въ абсолютныхъ единицахъ, то этотъ измѣрительный приборъ можетъ быть воспроизведенъ въ любой лабораторїи, и она можетъ употреблять его для абсолютныхъ измѣренїй, не имѣя эталона раствора. Можно также пользоваться эмпирической формулой, которая даетъ возможность вмѣсто наблюдаемаго значенїя тока брать то значенїе, которое бы онъ имѣлъ, если бы объемъ іонизаціонной камеры былъ безконеченъ (1).

Вотъ описаніе прибора, употребляемаго для такого рода измѣренїй въ Парижской Лабораторїи по Радиоактивности.

Цилиндрическая коробка  $P$  (рис. 2), соединен-

---

1) Duane et Laborde, Le Radium, 1910 годъ.

ная съ батареей высокаго напряженія, служитъ іонизаціонной камерой; изолированныйъ электродъ  $E$ , соединенный съ электрометромъ, помѣщенъ въ камеру. Камера непроницаема и снабжена кранами, при помощи которыхъ можно вводить и выводить

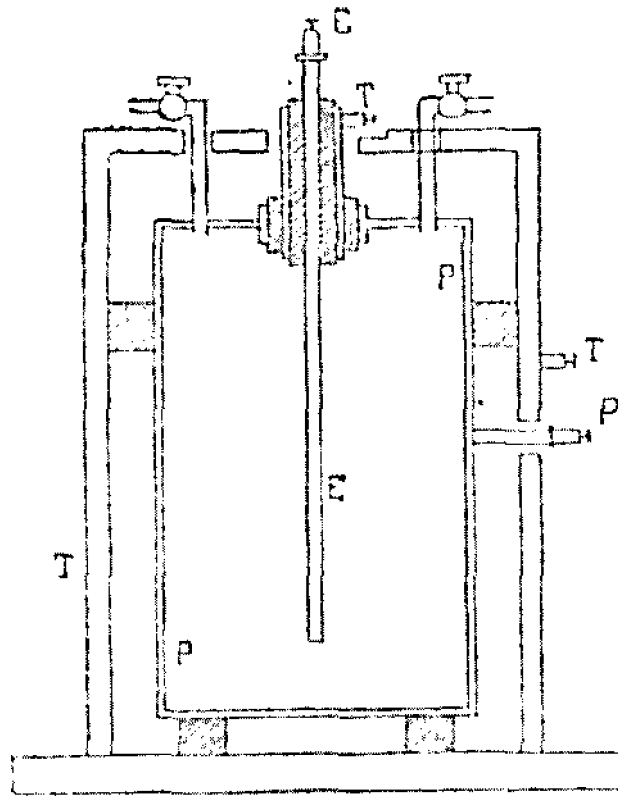


Рис. 2.

эманацию. Коробка  $T$ , соединенная съ землей, служитъ защитительной оболочкой.

Токъ, вызванный эманацией, растетъ одновременно съ массой воздуха, находящагося въ камерѣ. И потому, надо слѣдить за тѣмъ, чтобъ при каждомъ измѣреніи масса воздуха была одна и та же, или, что еще легче, наполнить камеру воздухомъ, находящимся при давленіи и температурѣ окружающей

среды, и сдѣлать поправку для приведенія полученныхъ чиселъ къ нормальнымъ значеніямъ.

Опредѣленіе количества радія при помощи измѣренія выдѣленной эманации стало общепринятымъ приѣмомъ въ технику лабораторій по радиоактивности. Определеніе количества самой эманации такимъ способомъ примѣняется главнымъ образомъ для определенія содержанія эманации въ минеральныхъ водахъ.

Только что указанный методъ чрезвычайно чувствителенъ. Онъ даетъ возможность обнаружить присутствіе  $10^{-10}$  гр. радія или  $10^{-10}$   $\text{mm}^3$ . эманации и даже меньше. Онъ даетъ возможность производить относительныя измѣренія съ точностью до 0,5% для количества радія порядка въ  $10^{-8}$  гр. Но абсолютное значеніе измѣреній зависитъ главнымъ образомъ отъ точности градуировки измѣрительнаго прибора, т. е. въ конечномъ итогѣ отъ точнаго определенія количества радія, содержащагося въ эталонѣ растворѣ.

### *Измѣреніе $\gamma$ -лучей*

Радій, находящійся въ радиоактивномъ равновѣсіи съ эманацией и съ быстро превращающимся активнымъ осадкомъ, испускаетъ излученіе, содержащее чрезвычайно проникающіе лучи, называемые *N*-лучами и могущіе проходить черезъ слой металла,

толщиною въ нѣсколько сантиметровъ. Проникающая способность этихъ лучей такъ велика, что для того чтобы уменьшить ихъ интенсивность на половину, надо помѣстить на пути этихъ лучей слой свинца толщиною приблизительно въ 2 сантиметра, или еще болѣе толстый слой какого нибудь другого менѣе плотнаго вещества. Если источникъ лучеиспусканія заключенъ въ свинцовую оболочку толщиною въ нѣсколько миллиметровъ, то черезъ эту оболочку проходятъ только  $\gamma$ -лучи, между тѣмъ какъ  $\alpha$ -лучи и  $\beta$ -лучи поглощаются свинцомъ. Лучи  $\gamma$  составляютъ лишь незначительную часть полнаго излученія, измѣряемаго произведенной имъ іонизаціей.

Лучи  $\gamma$  не принадлежатъ ни радію элементу, ни эманациі; они испускаются составляющей  $S$  быстро превращающагося активнаго осадка; ихъ интенсивность пропорціональна количеству  $Ra S$ . Когда радій, приведенный къ состоянію минимальной активности, заключенъ въ запаянную трубку, то излученіе  $\gamma$ , равное вначалѣ нулю, растетъ со временемъ и стремится къ нѣкоторому предѣльному значенію, пропорціональному количеству радія и предѣльному количеству эманациі. Черезъ день законъ возрастанія будетъ имѣть слѣдующій видъ:

$$(2) \quad i = i_{\infty} \left(1 - e^{-\frac{t}{\theta}}\right),$$

гдѣ  $i_{\infty}$  предѣльная интенсивность излученія,  $i$  ин-



тенсивность, соответствующая времени  $t$ , и  $\theta$  средняя продолжительность существования эманации. Предельное значение будет достигнуто приблизительно через мѣсяць.

Точно также, если нѣкоторое количество эманации только что заключено въ запаянную трубку, то излученіе  $\gamma$ , равное вначалѣ нулю, растеть со временемъ, достигаетъ черезъ 3 часа нѣкотораго максимума и затѣмъ убываетъ, слѣдуя закону распада эманации, соответственнно формулѣ:

$$i = i_0 e^{-\frac{t}{\theta}}$$

Когда этотъ законъ уже установленъ, количество радія  $S$  остается пропорціональнымъ количеству эманации; то же самое мы имѣемъ для излученія  $\gamma$ .

Изъ всего сказаннаго выше слѣдуетъ, что для количества радія или эманации радія, заключенныхъ въ запаянную трубку, сравненіе испускаемыхъ излученій  $\gamma$  даетъ возможность дѣлать количественныя сравненія количествъ активнаго вещества.

Если мы имѣемъ дѣло съ радіемъ, измѣреніе должно быть произведено, когда достигнуто радиоактивное равновѣсіе, т. е. приблизительно черезъ мѣсяць послѣ того, какъ образецъ радія былъ заключенъ въ запаянную трубку, во избѣжаніе потерь эманации (1).

(1) Вмѣсто того, чтобы ждать цѣлый мѣсяць, можно въ

Испускаемое излученіе  $\gamma$  служитъ мѣрой количества металлическаго радія, содержащагося въ источникѣ лучеиспусканія, при условіи, что поглощеніе  $\gamma$ -лучей активнымъ веществомъ и стѣнками заключающей его оболочки незначительно или одно и то же во всѣхъ случаяхъ. Если же это условіе не выполнено, приходится принимать во вниманіе это поглощеніе.

Лучи, которыми пользуются, проходятъ, прежде чѣмъ проникнуть въ измѣрительный приборъ, черезъ слой свинца толщиной въ 5 мм. или больше. Поглощеніе этихъ лучей веществомъ совершается по показательному закону. Интенсивность излученія, выраженная въ функціи толщины проходимаго лучами вещества, убываетъ по закону, представленному слѣдующимъ выраженіемъ:

$$i = i_0 e^{-\mu x}$$

гдѣ  $i_0$  начальная интенсивность излученія,  $i$  интенсивность, оставшаяся послѣ прохожденія лучей черезъ слой толщины  $x$ , а  $\mu$  постоянный коэффициентъ, называемый *коэффициентомъ поглощенія*; величина его зависитъ отъ природы поглощающаго тѣла и измѣняется приблизительно обратно пропорцио-

---

первую же недѣлю нѣсколько разъ измѣрить увеличеніе количества радиоактивнаго вещества со временемъ; изъ полученныхъ данныхъ простымъ вычисленіемъ можетъ быть опредѣлена величина предѣльнаго излученія.

нально плотности этого тѣла. Для свинца  $\mu = 0,5 \frac{1}{\text{cm}}$ ; для стекла  $\mu = 0,1 \frac{1}{\text{cm}}$ . Для вещества активной соли, значеніе  $\mu$  зависитъ отъ природы соли и отъ степени уплотненія; для средней плотности приблизительное значеніе средняго коэффиціента поглощенія  $\mu = 0,05 \frac{1}{\text{cm}}$ .

Точныя измѣренія не могутъ имѣть значенія при поглощеніи лучей радиоактивными веществами, такъ какъ это поглощеніе вообще недостаточно точно опредѣлено. Поэтому точныя измѣренія при помощи  $\gamma$ -лучей могутъ быть произведены только надъ незначительными количествами соли, занимающими небольшой объемъ и заключенными въ маленькія запаянныя стеклянныя ампулки. Изъ предыдущаго ясно, что если разстояніе, которое лучи должны пройти въ активномъ веществѣ, равно въ среднемъ одному миллиметру, то часть лучей, поглощенныхъ веществомъ, будетъ только порядка въ 0,5%, и ею можно почти всегда пренебречь. Такъ какъ точныя измѣренія могутъ быть произведены только надъ очень малыми количествами вещества и  $\gamma$ -лучи составляютъ лишь незначительную часть полного излученія вещества, то методъ измѣренія количества радія  $\gamma$ -лучами далеко не такъ чувствителенъ, какъ методъ приближеннаго измѣренія при помощи полного излученія или какъ методъ, пользующійся

измѣреніемъ выдѣленной эманациі. Точное измѣреніе при помощи  $\gamma$ -лучей можетъ быть легко примѣнено къ опредѣленію количества радія порядка въ одинъ миллиграммъ. Этотъ методъ долженъ быть признанъ по крайней мѣрѣ въ 1000 разъ менѣе чувствительнымъ, чѣмъ методъ измѣренія при помощи эманациі. Но за то измѣреніе  $\gamma$ -лучами имѣетъ то значительное преимущество, что оно не требуетъ никакихъ манипуляцій, представляющихъ опасность для сохранности самого вещества; оно даетъ возможность производить измѣренія, не извлекая вещества изъ содержащей его трубки. Это между прочимъ единственный методъ, который можетъ быть примѣненъ къ измѣренію съ коммерческой цѣлью небольшихъ количествъ солей радія, предназначенныхъ для продажи. Для лечебныхъ цѣлей пользуются именно проникающими лучами. Въ этомъ случаѣ результаты измѣренія могутъ быть нанесены на саму ампулку, которая будетъ пущена въ обращеніе.

Для стеклянныхъ ампулекъ со стѣнками толщиною въ  $\frac{1}{2}$  мм., поглощаемая стекломъ часть  $\gamma$ -лучей равна приблизительно 0,5%; ею почти всегда можно пренебречь. Когда же стекло толще, то приходится сравнивать ампулки одной и той же формы, сдѣланныя изъ одного и того же стекла и производящія, слѣдовательно, одинаковое поглощеніе для одной и той же степени наполненія.

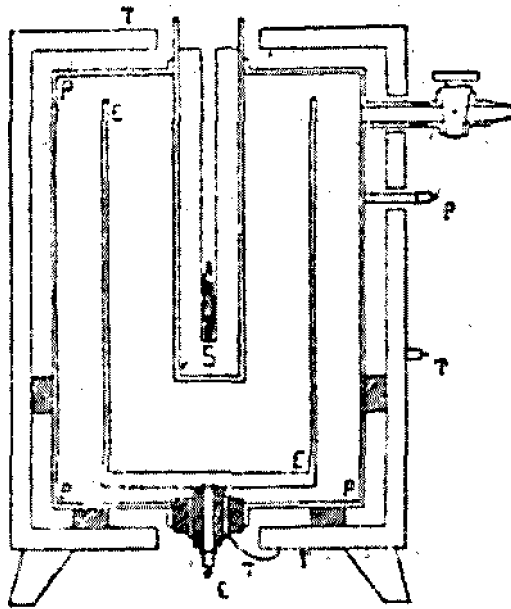
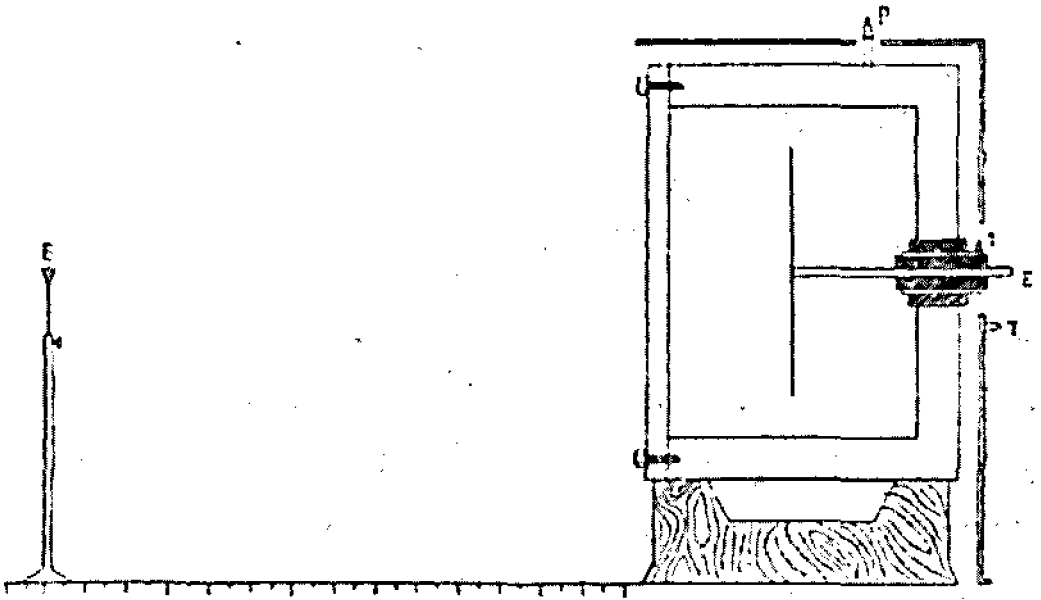
Что касается размѣровъ сравниваемыхъ ампулекъ, то для точности измѣреній должны быть выполнены нѣкоторыя необходимыя геометрическія условія. Токъ, произведенный въ іонизаціонной камерѣ лучами, исходящими изъ источника, зависитъ отъ способа пользованія лучами въ камерѣ, а этотъ способъ опредѣляется положеніемъ источника относительно камеры. Условія можно считать сравнимыми, когда совершенно одинаковые источники послѣдовательно занимаютъ въ точности одно и то же положеніе относительно камеры. На практикѣ этого достигнуть не такъ легко, и потому, для cadaго вида измѣрительнаго прибора необходимо опредѣлить въ какихъ предѣлахъ можно измѣнять форму, размѣры и положеніе источника, сохраняя желательную степень точности. Мы будемъ имѣть хорошія условія, если возьмемъ источники, размѣры которыхъ очень малы по сравненію съ размѣрами камеры; въ такомъ случаѣ легко заставить источникъ принять вполне опредѣленное положеніе относительно камеры. Можно достигнуть того же самаго, помѣстивъ источникъ на большемъ разстояніи отъ камеры, но это значительно уменьшаетъ чувствительность метода.

Вотъ описаніе трехъ видовъ приборовъ, употребляемыхъ для измѣренія  $\gamma$ -лучей въ Парижской Лабораторіи по Радіоактивности.

Приборъ I (рис. 3) состоитъ изъ цилиндрической

коробки  $P$ , въ которую введенъ изолированный электродъ  $E$ , соединенный съ электрометромъ. Коробка  $P$  соединена съ батареей высокаго напряженія. Источникъ помѣщенъ въ  $S$  на довольно значительномъ разстояніи. Лучи, исходящіе изъ источника, іонизируютъ воздухъ внутри коробки  $P$  и образуютъ іонизаціонную камеру; іоны одного знака, произведенные въ этомъ пространствѣ, собираются на электродѣ  $E$ . Экранъ  $T$ , соединенный съ землей, служитъ защитительной оболочкой.

Приборъ II состоитъ изъ цилиндрическаго электрода  $E$ , соединеннаго съ электрометромъ и заключеннаго въ цилиндрическую коробку  $P$ , соединенную съ батареей. Цилиндрическая трубка съ закрытымъ дномъ, припаянная къ коробкѣ  $P$ , помѣщена внутри коробки  $E$ . Въ этой трубкѣ находится ампулка  $S$ , содержащая радій. На электродѣ  $E$  собираются іоны, образовавшіеся въ пространствѣ внутри  $E$  и между поверхностями  $E$  и  $P$ ; совокупность этихъ двухъ пространствъ образуетъ іонизаціонную камеру. Приборъ окруженъ защитительной коробкой  $T$ , соединенной съ землей. Этотъ приборъ очень удобенъ для сравненія ампулекъ, мало отличающихся другъ отъ друга по формѣ. Ионизаціонная камера можетъ быть сдѣлана совершенно непроницаемой; это даетъ возможность производить работы при постоянной массѣ воздуха. Иногда это имѣетъ громадное значеніе, такъ какъ сила іонизаціоннаго тока, возбужденнаго даннымъ излученіемъ, зависитъ отъ плотности воздуха, находящаго-



И

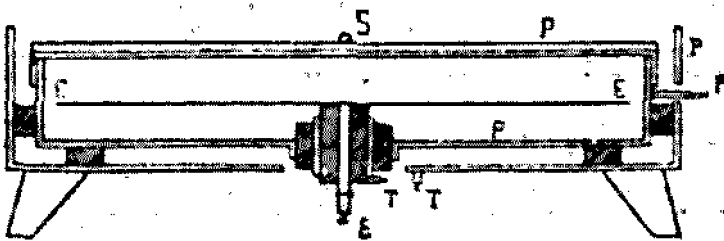


Рис. 3.

ся въ камерѣ и растеть вмѣстѣ съ этой плотностью.

Приборъ III представляетъ собою большой конденсаторъ съ пластинками, состоящей изъ пластинки *E*, соединенной съ электрометромъ, и плоской цилиндрической коробки *P*, соединенной съ батареей. Источникъ помѣщенъ въ *S*, въ центрѣ верхней стѣнки коробки *P*. Коробка *T*, соединенная съ землей, защищаетъ приборъ. Ионизационную камеру образуетъ пространство, заключенное между изолированной пластинкой *E* и коробкой *P*. Этотъ приборъ содержитъ въ себѣ ионизированный воздухъ въ большомъ объемѣ; чувствительность его очень велика. Онъ даетъ возможность сравнивать между собою ампулки, размѣры которыхъ значительно отличаются другъ отъ друга.

Во всѣхъ этихъ случаяхъ измѣреніе производится по разности наблюденныхъ токовъ: 1) когда ампулка находится въ приборѣ, 2) когда она удалена изъ него. Воздухъ обладаетъ нѣкоторой проводимостью; эта проводимость наблюдается вездѣ, но она значительно больше въ лабораторіяхъ по радиоактивности. Проводимость растеть вмѣстѣ съ объемомъ воздуха въ камерѣ. Пылинки, находящіяся въ камерѣ въ то время, когда изъ нея удалили ампулку, притягиваясь къ электродамъ, вызываютъ также токъ, въ значительной мѣрѣ неправильный. Это становится замѣтнымъ, когда мы пользуемся приборомъ III;



для удаленія пылинокъ приборъ прежде чѣмъ приступитъ къ измѣреніямъ подвергаютъ въ теченіе нѣкотораго времени дѣйствію электрическаго поля.

Въ теченіе длиннаго ряда наблюденій чувствительность такихъ приборовъ, какъ приборъ III, измѣняется въ зависимости отъ давленія и температуры воздуха; это принимаютъ во вниманіе, производятъ наблюденія въ разныхъ условіяхъ и вводятъ соотвѣтствующія поправки.

Существуетъ цѣлый рядъ опытовъ, въ которыхъ вмѣсто ампулки, содержащей радій, можно пользоваться ампулкой, содержащей эманацию. Въ настоящее время умѣютъ получать эманацию, очищать ее и доводить до весьма малыхъ объемовъ.

Количество эманации, содержащейся въ ампулкѣ, можетъ быть легко измѣрено при помощи излученія  $\gamma$ . Измѣреніе должно быть произведено по крайней мѣрѣ черезъ три часа послѣ того, какъ ампулка будетъ запаяна. Вслѣдствіе паденія активности эманации измѣренія должны быть отнесены къ вполне определенному моменту. Активность эманации въ теченіе часа падаетъ на  $0,76\%$ .

Такъ какъ въ ампулкѣ находится только газъ, то нечего бояться поглощенія лучей внутри ампулки. Что же касается поглощенія стѣнками трубки, то оно имѣетъ здѣсь мѣсто также, какъ и при радіи. Размеры и форма ампулки играютъ здѣсь такую же роль.

Количество эманации обыкновенно измѣряютъ тѣмъ количествомъ радія, съ которымъ она была бы въ равновѣсїи. Надо замѣтить, что ампулки съ эманацией, которая при измѣренїи  $\gamma$ -лучами оказалась равной по своему излученію ампулкѣ съ радіемъ, содержитъ не столько эманации сколько эта послѣдняя, а нѣсколько меньше, такъ что надо ввести маленькую отрицательную поправку для взятой для измѣренія эманации; и только тогда выдѣленной эманации будетъ соответствовать количество радія, которое могло бы быть съ ней въ равновѣсїи. Эта поправка, равная приблизительно  $0,5\%$ , вызывается опозданіемъ, происходящимъ вслѣдствіе превращенія эманации въ активный осадокъ. Измѣренное въ данный моментъ излученіе  $\gamma$  соответствуетъ не тому количеству эманации, которое находится въ трубкѣ въ данный моментъ, а тому, которое было въ ней за нѣсколько часовъ до этого. Наконецъ, въ нѣкоторыхъ случаяхъ берутъ, какъ источникъ лучей, радій С, который помѣщаютъ на соответствующей подставкѣ. Количество этого вещества можетъ быть также измѣрено излученіемъ  $\gamma$  и опредѣлено тѣмъ количествомъ радія, съ которымъ оно могло бы быть въ равновѣсїи.

Всѣ эти измѣренія, которыя производятся при помощи  $\gamma$ -лучей, могутъ быть сдѣланы абсолютными если мы для сравненій будемъ располагать ампулкой эталономъ, содержащей опредѣленное количе-

ство радія. Для изготовленія такой ампулки надо имѣть возможность точно взвѣсить небольшое количество вполнѣ опредѣленной соли радія.

\* \* \*

Посмотримъ теперь для какихъ работъ имѣетъ значеніе опредѣленіе количества радія. Прежде всего придется упомянуть объ опредѣленіи различныхъ постоянныхъ, которыя должны быть отнесены къ опредѣленному количеству радія:

Опредѣленіе количества тепла, выдѣленнаго въ единицу времени радіемъ и его производными, находящимися съ нимъ въ равновѣсіи.—Опредѣленіе количества положительнаго электричества, выброшеннаго въ видѣ  $\alpha$ -частицъ.—Опредѣленіе количества отрицательнаго электричества, выброшеннаго въ видѣ  $\beta$ -лучей.—Опредѣленіе числа іоновъ, которые могутъ быть произведены полными излученіями  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ , дѣйствующими вмѣстѣ и порознь.—Опредѣленіе числа  $\alpha$ -частицъ (или  $\alpha$ -лучей), выброшенныхъ радіемъ или однимъ изъ его производныхъ, находящимся съ нимъ въ равновѣсіи, и заряда каждой частицы.—Опредѣленіе части энергіи, выдѣленной и измѣренной въ формѣ тепла и приписываемой кинетической энергіи  $\alpha$ -лучей.

Опредѣленіе отношенія между количествами радія и урана, содержащихся въ минералахъ.—Содержаніе количества радія въ поверхности земли, въ

горныхъ породахъ, въ родниковой и морской водѣ.—  
Содержаніе количества эманации радія въ воздухѣ.—  
Опредѣленія количества тепла, выдѣленнаго въ  
единицу времени на земномъ шарѣ.—Опредѣленіе  
числа іоновъ, которые могутъ быть произведены  
въ воздухѣ радіоактивными веществами, содержа-  
щимися въ почвѣ и въ воздухѣ, и сравненіе этого  
числа съ числомъ, полученнымъ изъ непосред-  
ственнаго опыта.

Работы фізіологическаго характера. Дѣйствіе  
радія и его производныхъ на здоровыя и поражен-  
ныя ткани. Дѣйствіе это зависитъ отъ количества  
радіоактивнаго вещества и отъ времени.

Кромѣ того должны быть разсмотрѣны различ-  
ныя работы, которые могутъ быть произведены съ  
радіоактивными веществами, иными чѣмъ радій и  
его производные, для которыхъ нельзя произвести  
абсолютныхъ измѣреній, такъ какъ эти вещества  
никогда не были получены въ чистомъ видѣ въ  
количествахъ, достаточныхъ для взвѣшиванія (ра-  
діоторій, актиній и т. д.). Но мы будемъ имѣть нѣ-  
которое основаніе для сравненія, если возьмемъ от-  
ношеніе нѣкотораго количества даннаго вещества  
къ количеству радія, могущему при опредѣленныхъ  
условіяхъ вызвать то же іонизирующее дѣйствіе.  
Такъ, количество мезоторія можетъ быть опредѣ-  
лено, благодаря выбрасыванію его производными  
γ-лучей; это выбрасываніе можетъ быть при опре-

дѣленныхъ условіяхъ измѣрено и сравнено съ выбрасываніемъ  $\gamma$ -лучей радіемъ.

\* \* \*

Чтобы имѣть основаніе для количественныхъ опредѣленій многія лабораторіи пользовались эталонами радіа, полученными путемъ тщательнаго взвѣшиванія небольшого количества соли, химическія свойства которой предполагались вполне опредѣленными. Помѣстивъ эту соль въ ампулку и запаявъ ее, получали ампулку эталонъ; растворивъ соль въ опредѣленномъ количествѣ воды, получали титрованный растворъ эталонъ.

Соли, которыми пользовались, представляли собою хлористыя или бромистыя соединенія.

О чистотѣ радіевой соли можно судить только по фотографированію спектра и по опредѣленію атомнаго вѣса металла, содержащагося въ соли. Эти двѣ манипуляціи всегда сопровождаются незначительной потерей вещества. Первая можетъ быть произведена съ однимъ миллиграммомъ соли (методъ Demarçay); вторая требуетъ нѣсколькихъ дециграммъ и должна быть произведена очень тщательно. Соль должна быть не только чистая, но и вполне точно опредѣлена. Соли радіа испытываютъ подъ вліяніемъ ихъ собственнаго излученія молекулярное превращеніе причемъ измѣняется ихъ

составъ. Это происходитъ очень быстро, когда мы имѣемъ бромистыя соединенія. Хлористыя соединенія болѣе устойчивы но все таки, чтобы имѣть вполнѣ опредѣленное понятіе о составѣ соли, надо до взвѣшиванія подвергнуть ее нѣсколькимъ кристаллизаціямъ.

Отсюда ясно, что изготовленіе эталоновъ радія можетъ быть предпринято только въ лабораторіяхъ, имѣющихъ достаточное количество радія для производства необходимыхъ работъ. Тѣмъ не менѣе были изготовлены эталоны, которые предполагались приблизительно точными и которые должны были служить для измѣреній. Число найденныхъ изъ опыта числовыхъ данныхъ, полученныхъ при помощи достаточно точныхъ измѣреній, все росло и стало необходимымъ найти возможность сравнивать между собой данныя, полученныя въ различныхъ лабораторіяхъ, чтобы въ цѣломъ было больше единства и согласія. Этотъ вопросъ былъ предложенъ на разсмотрѣніе Съѣзду по Радиологіи, имѣвшему мѣсто въ Брюсселѣ въ сентябрѣ 1910 года.

Съѣздъ избралъ Коммиссію, состоящую изъ ученыхъ различныхъ странъ, работающихъ въ области радиоактивности (Г-жа Кюри и А. Дебіернъ изъ Франціи, Ретзерфордъ и Содди изъ Англіи, Ганъ и Гейтель изъ Германіи, Мейеръ и Е. Фонъ Швейдлеръ изъ Австріи, Больтвудъ и Эве изъ Соединенныхъ Штатовъ).

Коммиссія признала необходимымъ изготовленіе *интернаціональнаго эталона радія*, состоящаго изъ ампульки, содержащей приблизительно 20 миллиграммъ металлическаго радія.

Изготовленіе этого эталона было поручено г-жѣ юри, которая согласилась взять на себя эту работу. Коммиссія постановила, что, когда будетъ установленъ интернаціональный эталонъ, должны быть изготовлены вторичные эталоны для разныхъ странъ и что количество радія въ этихъ эталонахъ будетъ опредѣлено путемъ сравненія при помощи  $\gamma$ -лучей съ интернаціональнымъ эталономъ. Титрованные растворы должны будутъ изготовляться изъ солей, въ которыхъ количество содержащагося въ нихъ радія будетъ провѣрено при помощи какого нибудь вторичнаго эталона. Эти постановленія Коммиссіи были приняты Съѣздомъ. Кромѣ того Съѣздъ постановилъ:

За единицу принять *граммъ металлическаго радія*, такъ какъ радіоактивныя свойства радія одни и тѣ же во всѣхъ его молекулярныхъ состояніяхъ. Въ силу того, что граммъ практически оказался слишкомъ крупной единицей, рѣшили установить болѣе мелкую единицу, а именно  $10^{-10}$  gr. радія, и дать ей особое названіе.

Такъ какъ эманация опредѣляется, какъ функція количества радія, съ которымъ она могла бы быть въ равновѣсїи, то нашли нужнымъ установить на этомъ основаніи *единицу эманации*.

За единицу приняты количество эманации, находящееся въ радиоактивномъ равновѣсїи съ 1 граммомъ радїа. Съѣздъ рѣшилъ дать этой единицѣ названіе *кюри*, въ честь Пьера Кюри и его работъ въ области радиоактивности. Эта новая единица вошла въ употребленіе; ея тысячная часть, *милликюри*, служитъ практической единицей; порядокъ ея величины является вполне подходящимъ для работъ въ лабораторїяхъ. Но единица, гораздо болѣе мелкая, на примѣръ  $10^{-10}$  кюри, могла бы получить особое названіе и употребляться, какъ соответствующая единица радїа, при изслѣдованїяхъ радиоактивности почвы и водъ.

Количество эманации могло бы быть, конечно, дано ея вѣсомъ, но это было бы неудобно для практики. Да и кромѣ того, объ этомъ сейчасъ не можетъ быть рѣчи, такъ какъ взвѣшиваніе количества эманации, находящагося въ равновѣсїи съ даннымъ количествомъ радїа, представляетъ очень сложную манипуляцію, которая до сихъ поръ еще не могла быть произведена съ достаточной точностью.

Брюссельскій Съѣздъ поручилъ Комиссіи сдѣлать все необходимое для того, чтобъ установить и ввести въ употребленіе интернаціональный эталонъ.



Интернаціональный эталонъ былъ изготовленъ въ теченіе августа мѣсяца 1911 года. Употребленная для этой цѣли соль была взята изъ запаса очень чистаго хлористаго радія, равнаго, приблизительно, 0,4 gr.; онъ былъ приготовленъ мною въ 1907 году для опредѣленія атомнаго вѣса радія. Доказательствомъ чрезвычайной чистоты этой соли служить видъ ея спектра; полученный атомный вѣсъ равенъ 226,5. Соль тщательно сохранялась; часть ея была употреблена на изготовленіе металлическаго радія и эталоновъ растворовъ.

Вотъ какія манипуляціи были произведены надъ солью, чтобъ получить ее въ окончательномъ видѣ. Къ соли была прибавлена вода, содержащая немного хлористоводородной кислоты; соль растворилась въ водѣ почти цѣликомъ, оставивъ небольшой осадокъ нерастворимой соли, какой образуется всегда со временемъ, вѣроятно вслѣдствіе развѣданія поверхности сосуда даже въ отсутствіи влажности. Осадокъ былъ отдѣленъ путемъ отцѣживанія; въ чистый прозрачный растворъ было прибавлено немного уксусносвинцовой соли, и растворъ былъ обработанъ сѣрнистымъ водородомъ. Сѣрнистый свинецъ, осаждающійся, долженъ былъ увлечь съ собой все количество радиоактивнаго свинца (радій *D*), радія *E* и полонія (радій *F*), образовавшихся въ соли радія въ теченіе 4 лѣтъ. Когда всѣ сѣрнистыя соединенія были удалены путемъ отцѣживанія, рас-

творъ былъ подвергнутъ выпариванію до суха. Потомъ, соль была снова растворена въ смѣси воды и чистой хлористоводородной кислоты, и растворъ былъ концентрированъ такъ, чтобы произошла кристаллизація. Послѣ охлажденія маточный разсолъ былъ слитъ съ осадка и кристаллы промыты чистой концентрированной хлористоводородной кислотой; потомъ они были растворены въ смѣси воды и чистой кислоты для полученія новой кристаллизаціи. Кристаллизація эта была очень хороша, и послѣ нея получилось нѣсколько крупныхъ удлиненныхъ игольчатыхъ кристалловъ. Послѣ кристаллизаціи, происшедшей въ очень кислой средѣ, маточный разсолъ въ довольно большомъ количествѣ былъ слитъ. Кристаллы были высушены сначала въ водяной банѣ, а потомъ въ сушильномъ шкапу, гдѣ температура была доведена до  $150^{\circ}$ . Эта температура достаточно высока для приведенія соли въ безводное состояніе къ формулѣ  $Ra Cl^2$ .

Ампулька была изготовлена слѣдующимъ образомъ. Ей придали форму узкой стеклянной трубки съ тонкими стѣнками: внутренній діаметръ ея былъ равенъ 0,9 мм.; толщина стекла была равна 0,27 мм; стекло было обыкновенное. Дно этой трубки было вытянуто и запаяно на паяльномъ столѣ, причемъ въ него была проведена очень тонкая платиновая проволока, проникающая внутрь трубки. Эта проволока должна препятствовать накопленію электри-

ческихъ зарядовъ внутри ампулки, служа проводникомъ электричества между ампулкой и внѣшнимъ пространствомъ. Потомъ была изготовлена маленькая стеклянная пробка, плотно закрывающая трубку, и трубка и пробка были тщательно взвѣшены. Во избѣжаніе того, чтобы во время наполненія трубки соль не поглотила водяныхъ паровъ, которые потомъ вслѣдствіе формы ампулки, не могли бы быть изъ нея выгнаны, наполненіе было произведено въ тепломъ воздухѣ. Капсуля, содержащая кристаллы, раздробленные мѣшалкой, была помѣщена на толстую горячую металлическую пластинку. Температура воздуха окружающаго соль была приблизительно равна  $80^{\circ}$ . Ампулка, въ которую должна была быть помѣщена соль, находилась все время въ тепломъ воздухѣ. Когда ампулка была достаточно наполнена, ее плотно закрывали пробкой и взвѣшивали нѣсколько разъ; между взвѣшиваніями ее клали въ сушильный шкафъ, въ которомъ температура была доведена до  $150^{\circ}$ , и затѣмъ заставляли остывать подъ эксикаторомъ, доводя до обыкновенной температуры. При всѣхъ этихъ манипуляціяхъ вѣсъ ампулки и ея содержимаго оставался постояннымъ съ точностью приблизительно до одной пятидесятой миллиграмма. Потомъ ампулка была запаяна на паяльномъ столѣ немного выше уровня соли, занимающей въ ампулкѣ длину въ 32 mm. Провѣрялось— не осталось ли въ отдѣленной части трубки соли въ

такомъ количествѣ, которое можно было бы взвѣсить. Наполненіе ампульки могло быть произведено при такихъ благопріятныхъ условіяхъ, что ничего не прилипало къ отдѣленной части, благодаря тому, что вещество было вполне высушено. Ампулька эта представлена на рис. 4.



Рис. 4.

Взвѣшиванія производились при помощи вѣсовъ Кюри съ быстрымъ успокоеніемъ и микроскопомъ; вѣсы эти даютъ возможность производить взвѣшиванія съ точностью до одной сотой миллиграмма. При взвѣшиваніи пользовались точными нормированными разновѣсками. Ампулька, тождественная главной ампулкѣ, служила тарой.

Соль, достигшая окончательнаго состоянія и постояннаго вѣса, представляла собою 0,02199 gr. безводнаго хлористаго радія,  $Ra Cl^2$ , съ точностью приблизительно до одной пятидесятой миллиграмма. Вѣсъ ампульки равенъ 0,1022 gr. Количество металлическаго радія, содержащагося въ ампулкѣ, равно 0,01675 gr.

Вслѣдствіе чрезвычайно незначительной толщины стекла и удлиненной формы ампульки, часть

γ-лучей, поглощенныхъ солью и стеклянной оболочкой, не должна достигать 0,5%.

Соль занимаетъ почти всю длину ампулки; такое ея расположеніе необходимо для точности измѣреній, на которыя могутъ имѣть вліяніе измѣненія въ положеніи соли, вызванныя сотрясеніями. Но при такомъ незначительномъ свободномъ пространствѣ не произойдетъ ли взрыва ампулки вслѣдствіе давленія накапливающихся въ ней газовъ.—Этого бояться нечего, такъ какъ соль была тщательно освобождена отъ воды, оставшейся послѣ кристаллизаціи, и слѣдовательно, образованія гремучаго газа, явленія наблюдаемаго всегда, когда мы имѣемъ дѣло съ гидратами солей, не произойдетъ. Значитъ надо будетъ принимать во вниманіе только образованіе гелія, которое неизбежно; для количества радія, содержащагося въ ампулкѣ, количество образовавшагося за годъ гелія, равно приблизительно  $2,5 \text{ mm}^3$ . Объемъ ампулки равенъ приблизительно  $25 \text{ mm}^3$ ; объемъ, занимаемый въ дѣйствительности веществомъ не превосходитъ  $6 \text{ mm}^3$ ; слѣдовательно, только черезъ восемь лѣтъ давленіе образовавшагося гелія можетъ стать равнымъ атмосферному давленію, при предположеніи, что газъ находится въ свободномъ состояніи. (На самомъ дѣлѣ, газъ остается заключеннымъ въ соли, но онъ можетъ выдѣлиться изъ нея при случайномъ нагрѣваніи ампулки). Ампулка была запаяна при высокой температурѣ, и потому давленіе

воздуха вначалѣ, послѣ охлажденія, было ниже атмосфернаго давленія. Мы можемъ заранѣе сказать, что черезъ пятнадцать лѣтъ, можетъ быть, придется открыть узкій конецъ ампулки, чтобы выпустить избытокъ гелія.

Въ то время какъ во Франціи былъ изготовленъ интернаціональный эталонъ, въ Вѣнѣ въ Институтѣ Радія было сдѣлано нѣсколько ампулекъ эталоновъ, содержащихъ различныя количества безводнаго хлористаго радія, причемъ пользовались тщательно очищенной солью, принадлежащей Вѣнской Академіи Наукъ.

Тогда нашли возможнымъ притти къ опредѣленнымъ соглашеніямъ относительно эталоновъ и созвать съ этой цѣлью Коммиссію, которой Брюссельскій Съѣздъ поручилъ эту работу.

\* \* \*

Интернаціональная Комиссія была собрана въ Парижѣ въ концѣ марта 1912 года. Присутствовало семь членовъ. Занятія Комиссіи состояли въ сравненіи различныхъ эталоновъ и въ установленіи правилъ ихъ употребленія.

Сравненіе эталоновъ было произведено при помощи измѣренія излученія  $\gamma$ ; установка измѣрительныхъ приборовъ была произведена Лабораторіей по Радиоактивности при Faculté des Sciences въ

Парижѣ подѣ наблюденіемъ Дебіерна. Но приборы были установлены не въ вышеуказанной лабораторіи, такъ какъ въ этомъ помѣщеніи воздухъ обладаетъ случайной проводимостью, значительно превышающей нормальную, а это можетъ имѣть неблагоприятное вліяніе на точныя измѣренія. Благодаря любезности профессора Липпмана приборы были установлены въ свободномъ отъ активности помѣщеніи, находящемся въ его вѣдѣніи. Сравненіе было произведено двумя различными способами. Первый способъ — способъ компенсаціи, которымъ пользуются въ Парижской Лабораторіи; въ этомъ случаѣ употребляютъ большой конденсаторъ съ пластинками, (рис. 3, III) специально изготовленный для этой цѣли. Вотъ каковы были размѣры прибора:

Діаметръ пластинки <i>E</i>	. . . . .	50 см.
Діаметръ цилиндрической коробки <i>P</i> .	. . . . .	52 см.
Разстоянія пластинки <i>E</i> отъ основаній		
коробки	. . . . .	3,5 и 2 см.

Свинцовый экранъ толщиною въ 1 см. былъ помѣщенъ на верхнее основаніе коробки. Изслѣдуемая ампулька находилась на листѣ бумаги, положенномъ на экранъ. Токъ, произведенный въ камерѣ, измѣрялся при помощи аппарата, состоящаго изъ электрометра и пьезоэлектрическаго кварца. Тщательно наблюдали вліяніе перемѣщенія ампульки на силу тока. Это вліяніе не можетъ быть опредѣлено

для небольшихъ перемѣщеній отъ центрального положенія.

Второй способъ, по которому сравненіе производилось согласно указаніямъ Ретзерфорда, есть также способъ компенсаціи, но отличающійся отъ перваго. Постоянный токъ, полученный въ вспомогательной іонизаціонной камерѣ, содержащей уранъ, компенсируется токомъ, вызваннымъ въ главной іонизаціонной камерѣ (типа рис. 3, I) дѣйствіемъ ампулки, помѣщенной на достаточномъ разстояніи. Такъ какъ разстояніе ампулки отъ камеры зависитъ отъ количества содержащагося въ этой ампулкѣ радія, то для сравненія между собой различныхъ количествъ радія необходимо знать законъ, выражающій эту зависимость. Но пользуясь этимъ способомъ, мы не получаемъ такихъ вполне тождественныхъ условій для сравненія ампулекъ, какъ при первомъ способѣ.

Оба способа дали вполне совпадающіе результаты; между различными эталонами было найдено вполне удовлетворительное совпаденіе; отступленія были порядка погрѣшностей опыта, равныя приблизительно  $0,2\%$ .

Такое совпаденіе результатовъ, полученныхъ при сравненіи эталоновъ, изготовленныхъ частью во Франціи частью въ Австріи изъ чистыхъ солей, добытыхъ въ различныхъ странахъ способами, совершенно независящими другъ отъ друга, изъ одной и той же руды, имѣетъ громадное значеніе.



Оно убѣждаетъ насъ въ томъ, что мы имѣемъ вполне определенный составъ безводнаго хлористаго радія, и служить доказательствомъ совершенства методовъ сравненія, основанныхъ на измѣреніи  $\gamma$ -лучей. Такимъ образомъ, основы для измѣренія количественнаго содержанія радія этимъ способомъ установлены и заслуживаютъ полнаго довѣрія.

Сравненіе облегчается тѣмъ, что толщина стекла, изъ котораго сдѣланы ампулки, не только незначительна, но и одна и та же для различныхъ эталоновъ.

По окончаніи этихъ работъ Комиссія приняла слѣдующія постановленія:

1) Эталонъ, изготовленный Кюри, признается интернаціональнымъ эталономъ и будетъ храниться въ Парижѣ въ Международномъ Бюро Мѣръ и Вѣсовъ съ согласія директора этого учрежденія.

Интернаціональный эталонъ долженъ служить исключительно для измѣренія вторичныхъ эталоновъ, предназначенныхъ для различныхъ странъ.

2) Одинъ изъ эталоновъ, изготовленныхъ въ Вѣнѣ, будетъ храниться въ Вѣнскомъ Институтѣ подъ названіемъ: вспомогательный эталонъ (31,17 mg. *Ra Cl<sup>2</sup>*).

3) Вторичные эталоны будутъ изготовлены изъ соли, въ количествѣ отъ 10 до 40 mg., содержащей

по крайней мѣрѣ 90% радія, и должны будутъ имѣть такую же форму, какъ вѣнскіе эталоны (1).

Они будутъ подвергаться измѣренію сначала въ Вѣнѣ, потомъ въ Парижѣ и будутъ снабжены удостовѣреніями, указывающими количество содержащагося въ нихъ радія.

4). Такъ какъ радій, изъ котораго былъ изготовленъ интернаціональный эталонъ, принадлежалъ г-жѣ Кюри, то Комиссія рѣшила ходатайствовать передъ заинтересованными странами о возвращеніи г-жѣ Кюри равнаго количества радія (2).

Теперь осталось только разсмотрѣть каково сейчасъ состояніе интернаціональнаго эталона, каковы законы, по которымъ должна совершаться эволюція, которую мы предвидѣли, и каково значеніе этихъ законовъ для употребленія эталона.

Съ точки зрѣнія химической соль, входящая въ эталонъ въ моментъ запаиванія ампулки, представляла изъ себя чистый безводный хлористый

---

(1) Діаметръ вѣнскихъ ампулекъ равенъ 3,2 мм., и соль занимаетъ только незначительную часть объема ампулки. Форма интернаціональнаго эталона болѣе совершенна, но изготовленіе ея связано съ большими затрудненіями.

(2) Какъ только эти постановленія были опубликованы, Dr. и M-me G. P. Veilby предложили Комиссіи взять на себя расходы по возмѣщенію г-жѣ Кюри количества радія, употребленнаго ею на изготовленіе интернаціональнаго эталона.

радій, соотвѣтствующій формулѣ  $RaCl_2$ . Съ точки зрѣнія радіоактивности въ соли съ момента ея кристаллизаціи происходитъ накопленіе эманаци и послѣдовательныхъ производныхъ. Съ этой точки зрѣнія соль черезъ мѣсяць достигаетъ почти стационарнаго состоянія; количества эманаци и радія  $A$ ,  $B$ ,  $C$ , находящіяся теперь въ ампулкѣ въ радіоактивномъ равновѣсіи съ солью, очень незначительны (меньше одной десятитысячной миллиграмма); тѣмъ не менѣе эти вещества составляютъ значительную часть испускаемаго излученія; излученіе  $\gamma$  должно быть приписано радію  $C$ . Въ теченіе медленной эволюці, совершавшейся впоследствии, накапливаются вещества  $D$ ,  $E$ , и  $F$ , количество которыхъ растетъ въ теченіе времени порядка въ сто лѣтъ. Изъ этихъ веществъ только радій  $E$  какъ будто служитъ источникомъ испусканія  $\gamma$ -лучей; но эти лучи обладаютъ гораздо меньшей проникающей способностью чѣмъ  $\gamma$ -лучи радія  $C$  и можно думать, что они не играютъ никакой роли при измѣреніяхъ, въ которыхъ пользуются лучами, прошедшими черезъ слой свинца достаточной толщины (1 см.); но это должно быть тщательно провѣрено. Если мы на время допустимъ, что не слѣдуетъ считаться съ продуктами медленной эволюці, то намъ придется принять, что чрезвычайно проникающіе  $\gamma$ -лучи слѣдуютъ закону эволюці радія, т. е. убываютъ по показательному закону съ періодомъ, приблизи-

тельно, въ 2000 лѣтъ. Отсюда, убываніе за годъ будетъ приблизительно равно 0,04%, такъ что въ теченіе первыхъ десяти лѣтъ эталонъ можно считать неизмѣннымъ; въ теченіе же слѣдующихъ двадцати или тридцати лѣтъ имъ можно будетъ пользоваться, вводя нѣкоторую незначительную поправку, опредѣленную приблизительно; этого вполне достаточно, чтобъ эталонъ дѣйствительно оказалъ тѣ услуги, которыя отъ него ожидаютъ.

Но теперь возникаетъ вопросъ не можетъ ли радій, полученный изъ урановой руды, содержать въ невѣсомомъ количествѣ слѣды радіоактивныхъ веществъ, не представляющихъ собой его производныхъ и способныхъ испускать чрезвычайно проникающіе  $\gamma$ -лучи. Среди этихъ веществъ слѣдуетъ особенно опасаться мезоторія. Это тѣло является производнымъ торія, который содержится обыкновенно въ урановыхъ рудахъ. Мезоторій сопутствуетъ радію при химическихъ разложеніяхъ, происходящихъ въ рудѣ и при частичной кристаллизаціи. Это вещество даетъ начало цѣлому ряду производныхъ, возникающихъ въ теченіе долгой и сложной эволюціи, и имѣющихъ, какъ послѣдній членъ, вещество, служащее источникомъ возникновенія  $\gamma$ -лучей, сравнимыхъ по своей проникающей способности съ  $\gamma$ -лучами радія С. Слѣдовательно, присутствіе мезоторія въ радіи можетъ измѣнить законъ эволюціи излученія  $\gamma$  и внести неточности въ измѣренія радія, про-

изводимыя при помощи этого излученія. Къ счастью существуютъ урановыя руды, въ которыхъ содержаніе торія незначительно и, слѣдовательно, мезоторій находится въ нихъ въ столь незначительномъ количествѣ, что не можетъ вызвать вышеуказанныхъ осложненій. Такова Іоахимстальская смоляная обманка, содержащая приблизительно 1 kg. торія на 50000 kg. руды съ 53% окиси урана, изъ которой можетъ быть добыто 3,7 gr. радія (1). Такъ какъ излученіе  $\gamma$  одного килограмма торія совершенно незначительно по сравненію съ излученіемъ 3,7 gr. радія (порядка 3 стотысячныхъ), то присутствіе мезоторія не можетъ служить достаточнымъ препятствіемъ. Это именно тотъ случай, который мы имѣемъ для интернаціональнаго эталона и для Вѣнскихъ эталоновъ, изготовленныхъ изъ солей радія, полученныхъ изъ Іоахимстальской смоляной обманки.

Такимъ образомъ, мы видимъ, что интернаціональный эталонъ можетъ употребляться при вполнѣ опредѣленныхъ условіяхъ, не допускающихъ никакихъ случайностей. Эти условія можно сдѣлать еще надежнѣе, изготовивъ при аналогичныхъ условіяхъ ампулку, за активность которой въ зависимости отъ времени мы можемъ слѣдить при помощи прибора для абсолютныхъ измѣреній (напр., пользуясь методомъ пьезоэлектрическаго кварца). Такимъ образомъ мы

---

(1) St. Meyer et Hess, Acad. des Sciences de Vienne, 1912.

опытнымъ путемъ найдемъ законъ измѣненія эталона со временемъ.



Итакъ, установленіе опредѣленнаго эталона должно оказать слѣдующія услуги:

1) Съ точки зрѣнія радіоактивности, какъ науки:  
Дать возможность согласовать числовыя данныя, полученныя въ различныхъ лабораторіяхъ при употребленіи вполнѣ опредѣленныхъ количествъ радія. Въ случаѣ разногласія въ полученныхъ результатахъ вызвать провѣрку произведенныхъ работъ, что можетъ привести къ открытію новыхъ явленій.

2) Съ точки зрѣнія примѣненій для лечебныхъ цѣлей:

Обезпечить вполнѣ надежное и обоснованное пользованіе фізіологическими свойствами излученія, давъ возможность вполнѣ точно и безошибочно измѣрять интенсивность взятаго источника лучей.

3) Съ точки зрѣнія промышленности:

Придать этой отрасли промышленности больше устойчивости и опредѣленности, давъ возможность продавать продукты, содержащіе вполнѣ опредѣленные количества радія, такъ чтобы покупатели относились съ полнымъ довѣріемъ къ промышленникамъ. Это можетъ быть распространено на продажу мезоторія, какъ было указано выше.

Разсмотрѣніе совокупности вопросовъ, разобранныхъ въ этой статьѣ, убѣждаетъ насъ въ томъ, что изготовленіе интернаціональнаго эталона Радія было полезно во многихъ отношеніяхъ. Надо надѣяться, что работы, предпринятыя по этому вопросу Съездомъ по Радіоактивности 1910 года, будутъ плодотворны по своимъ послѣдствіямъ и поведутъ къ еще болѣе успѣшному развитію этой науки.

# „ФИЗИКА“

Научное и популярно-научное книгоиздательство  
С.-Петербургъ, Александринская пл. 5.

---

Вышли изъ печати и продаются:

**ЭЛЕКТРИЧЕСКІЯ КОЛЕБАНИЯ И ВОЛНЫ.** Основныя статьи, подъ редакціей В. К. Лебединскаго.

Изданіе состоитъ изъ шести выпусковъ, каждый выпускъ составляетъ законченное цѣлое и продается отдѣльно.

Вып. I. **Общія основанія телеграфіи и телефоніи съ помощью электрическихъ волнъ.** (Введение. Работы Флеминга и Фессендена), 116 стр. съ черт. Цѣна 90 коп.

Вып. II. **Электрическія колебанія.** Введение. Работы В. Томсона, Феддерсена, Г. Гертца. Пояснит. статья А. Фридмана. 124 стр. съ черт. Цѣна 90 коп.

Вып. III. **Резонансъ несвязанныхъ цѣпей.** Цѣна 80 коп.

Вып. IV. **Резонансъ связанныхъ цѣпей.** Цѣна 80 коп.

Вып. V. **Излученіе электромагнитныхъ волнъ.** Введение. Работы Ф. Кибица, К. Линдмана, В. Рюдинберга. 124 стр. со мног. черт. Цѣна 1 руб.

Вып. VI. **Ученіе объ искрѣ и о вольтовой дугѣ.** Введение. Работы Г. Гертца, В. Кауфмана, Г. Т. Симона, Г. Брокгаузена, М. Вина. Статья Д. А. Рожанскаго. Со многими черт. 208 стр. Цѣна 1 руб.

**ИЗЪ ВОПРОСОВЪ ФИЗИКИ.** Подъ этимъ заглавіемъ будутъ періодически выходить сборники статей, посвященныхъ новѣйшимъ завоеваніямъ физики. Редакція В. К. Лебединскаго.

Вышелъ выпускъ I. „**О свѣтѣ**“, составленный изъ статей, напечатанныхъ въ „Журналѣ Р. Ф.-Х. О.“ и въ „Вопросахъ физики“. Большинство статей значительно переработаны авторами для настоящаго изданія. Цѣна 1 руб. 50 коп.

**В. АРЕНСЪ.** Математическія игры и развлеченія. Перев. съ нѣмецкаго I. В. Яшунскаго. 204 стр. Около 100 рис. въ текстѣ. Цѣна 1 р. 50 к.

**Проф. Ф. АУЭРБАХЪ.** Основныя понятія современнаго естествознанія. Перев. съ 3-го нѣмецкаго изданія I. В. Яшунскаго. 206 стр. съ 79 рис. Ц. 1 р. 25 к.

**Проф. БЕККЕРЕЛЬ.** Эволюція матеріи и міровъ. Цѣна 25 к.

**Проф. Г. КАУФМАНЪ.** Радій и явленія радиоактивности. Перев. съ нѣмецкаго С. А. Алексѣева. подъ ред. В. К. Лебединскаго 116 стр. съ рис. въ текстѣ. Цѣна 65 к.



**В. К. ЛЕБЕДИНСКІЙ.** Элементарное ученіе объ энергіи. 2-ое изданіе. 163 стр. съ черт. Цѣна 1 р.

Содержитъ въ себѣ анализъ понятій о силѣ, работѣ и энергіи, подробное изложеніе основъ закона сохраненія энергіи, разсѣянія ея и второго закона энергетики, какъ фундамента нашего представленія и физическомъ мірѣ.

**ГЕРМАНЪ МИНКОВСКІЙ.** Пространство и время. Съ портретомъ автора, біографическимъ очеркомъ проф. Д. Гильберта и Г. Вейля и статьями проф. П. Натрона и В. Вина. Перевелъ І. В. Яшунскій. Цѣна 60 к.

**ВОЛЬФ. ОСТВАЛЬДЪ.** Основы коллоидной химіи. Авторизованное изданіе подъ ред. проф. П. П. фонъ Веймарна. Часть первая. Вып. I. Цѣна 2 руб.

**М. ПЛАНКЪ и А. ПУАНКАРЭ.** Нов. теорія въ термодинамикѣ. (Теорема теплоты Нернста и гипотеза квантъ). Пер. С. Алексѣева Цѣна 40 к. 1913 г.

**Проф. МАКСЪ ПЛАНКЪ.** Отношеніе новѣйшей физики къ механическому міровоззрѣнію. Разрѣшенный авторомъ переводъ съ нѣмецкаго Е. Г. Фейгельсона. Подъ редакціей С. О. Майзеля 44 стр. Цѣна 25 коп.

„Небольшая брошюра Планка написана ясно и убедительно и даетъ читателю представленіе объ основной физической проблемѣ“.

(„Современное Слово“, апрѣль 1911 г.).

**В. РАМЗАЙ.** Элементы и энергія. Цѣна 25 к. пер. Алексѣева 1913 г.

**СТРОБОСКОПИЧЕСКІЯ ЯВЛЕНІЯ.** Сохраненіе зрительныхъ впечатлѣній въ примѣненіи къ анализу и синтезу движеній. Сборникъ основныхъ работъ Роджета, Фарадея, Плато, Допплера и Больцмана. Редакція О. С. Майзеля со статьей редактора „О возникновеніи кинематографа“. 149 стр. со мног. чертежами. Цѣна 1 руб.

**Дж. Дж. ТОМСОНЪ.** Матерія, энергія и эфиръ. Переводъ С. А. Алексѣева подъ ред. С. О. Майзеля 64 стр. Цѣна 40 к.

**Проф. А. ФОССЪ** о сущности математики. Перев. съ нѣм. І. В. Яшунскій 116 стр. Цѣна 85 коп.

**Проф. О. Д. ХВОЛЬСОНЪ.** Гегель, Геккель, Коссуть и двѣнадцатая заповѣдь. Критическій этюдъ. 138 стр. Цѣна 1 руб.

**Проф. О. Д. ХВОЛЬСОНЪ.** Можно-ли прилагать законы физики ко вселенной. 31 стр. Цѣна 25 коп.

**Проф. А. А. МАЙКЕЛЬСОНЪ.** Свѣтовые волны и ихъ примѣненія. Переводъ съ англійскаго Е. Г. Фейгельсона. Подъ редакціей и съ дополненіями А. Л. Гершуна. Цѣна 1 р. 20 коп.

**П. РАБИНОВИЧЪ.** Что далъ Менделѣевъ наукѣ. II. изд. Цѣна 25 коп.

**Проф. РИГИ.** Кометы и элентроны. Перевод. подъ ред. проф. А. А. Иванова. Цѣна 45 коп.

**РЮДО.** Какъ изслѣдовать небесныя свѣтила. Переводъ подъ ред. проф. А. А. Иванова. Цѣна 1 руб. 50 коп.

**АНРИ ПУАНКАРЭ.** Новая механика. Цѣна 25 к.

**СВАНТЕ АРРЕНИУСЪ.** Судьба планетъ. Ц. 45 к.

**М. СИМОНЪ.** Дидантика и методика математики въ средне-школѣ. Переводъ со 2-го дополненаго и значительно переработаннаго изданія. Цѣна 2 р.

**Ф. ЭНРИКВЕСЪ.** Вопросы элементарной геометріи. Основы геометріи. Переводъ съ переработаннаго нѣмецкаго изданія 1911 г. Цѣна 3 руб.

---

**Новыя. изданія:**

**НА СКЛАДѢ ИМѢЮТСЯ:**

**П. П. фонъ ВЕЙМАРНЪ**

При ать - доцентъ Коллоидной Химіи Императорскаго Спб. Университета.

**КЪ УЧЕНІЮ О СОСТОЯНІЯХЪ МАТЕРІИ**

(Основы кристаллизационной теоріи необратимыхъ коллоидовъ). 8°. 192 стр. Цѣна 3 рубля.

---

**Проф. В. ЛЕБЪ.**

Введеніе въ біохимію пер. С. Алексѣева, подъ ред. съ предисловіемъ и прим. проф. Чугаева. 1913 г. Цѣна 1 руб.

**М. СКЛОДОВСКАЯ-КЮРИ.** Эталонъ радія и измѣренія въ области радіоактивности. 1913 г. Цѣна 50 коп.

---

Выписывающіе изъ склада изданій „Физика“, С.-Петербургъ Александринская площадь, 5—на сумму 5 руб. и больше — за пересылку не платятъ.

---

Съ требованіями обращаться  
въ **Отдѣленіе склада изданій „ФИЗИКА“**  
**Книжный магазинъ Г. С. Цукермана,**  
С.-Петербургъ. Александринская площ., 5.

Цѣна 60 коп.

---

---

Съ требованіями обращаться  
въ складъ изданій „ФИЗИКА“  
книжный магазинъ

Г. С. ЦУКЕРМАНА

*СПБ., Александринская пл., 5.*