

История и развитие
физических представлений о строении
окружающего мира
Часть II. Структура
вещества

Воронин Владимир Владимирович
ПИЯФ

Представления о строении атома

Модель Аристотеля (4 век до н.э.)



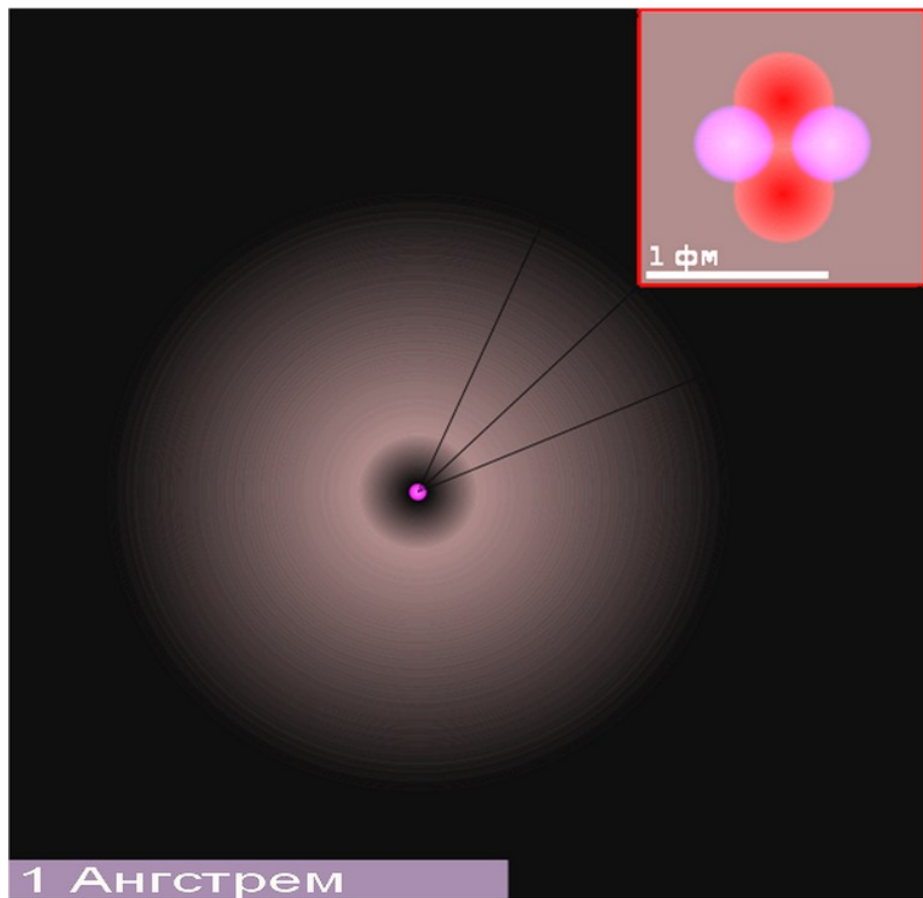
Атомизм (Демокрит, Платон и др.)

Понятие об атоме как о наименьшей неделимой части материи было впервые сформулировано древнеиндийскими и древнегреческими философами

В Европе атомизм впервые появился в трудах древнегреческих ученых философов Левклиппа, Демокрита и Эпикура, живших V-III веках до нашей эры. Согласно их учению существуют только атомы и пустота. Все явления природы они пытались объяснить движением этих невидимых частиц.

Атом (др.-греч. ἄτομος) – неделимый

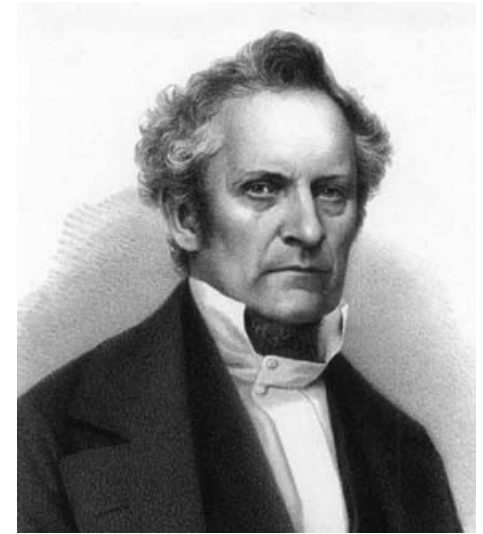
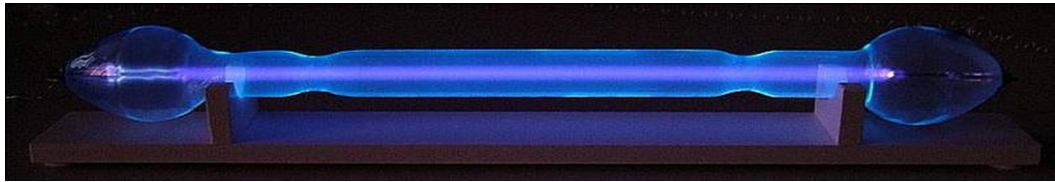
Современные представления



Современное представление об атоме гелия. В центре находятся ядро размером порядка 1 ферми (фм) ($1\text{ фм} = 10^{-13}\text{ см}$), состоящее из четырех нуклонов (двух протонов и двух нейтронов), а вокруг двигаются электроны, образуя электронное облако с размерами порядка 1 Ангстрема (Å) ($1\text{ Å} = 10^{-8}\text{ см}$). Причем **вся масса** атома сосредоточена в очень малой области по сравнению с размерами атома – **в области ядра** (нуклон приблизительно в 1800 раз тяжелее электрона, $1\text{ Å} = 100\,000\text{ фм}$).

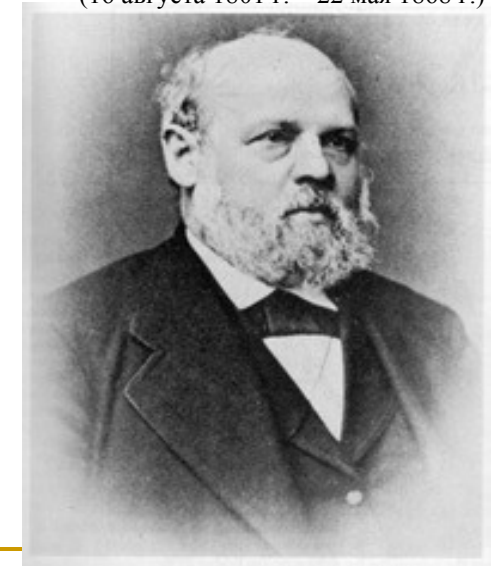
Открытие катодных лучей (электрона)

Примерно в середине XIX века **Юлиус Плюккер** увлекся опытной физикой. Плюккер **в 1855**, году изобрел светящиеся трубки (световая реклама)



Плюккер (Plücker), Юлиус
(16 августа 1801 г. – 22 мая 1868 г.)

Стеклодув **Генриха Гейслера** был техническим ассистентом Плюккера и научился особенно искусно их изготавливать.



Генрих Гейслер (1815-1879)

Ртутная трубка



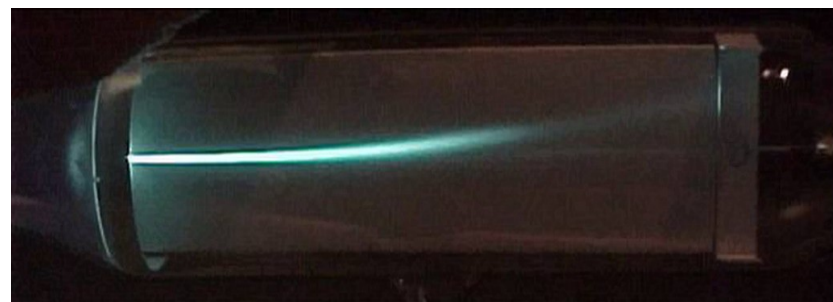
В 1858 году Гейсслер изготовил ртутную вакуумную трубку, в которой при очень **низком давлении** высоковольтный разряд между электродами **порождает свечение**. Плюккер установил, что **проводимость газа в этой трубке зависит от его концентрации и возрастает, если часть газа из трубки откачать**. При этом **каждый газ** начинает светиться **своим характерным цветом**, так что по цвету свечения можно определить состав газа в трубке (к этому выводу Плюккер пришел даже раньше Кирхгофа и Бунзена, но не понял его значения). Если увеличивать разрежение в трубке, то вблизи катода появляется темное пространство (**«катодное пятно»**), которое при дальнейшем откачивании газа из трубки расширяется и, наконец, заполняет ее всю: трубка перестает светиться. Но это темное пространство живет, его пронизывают какие-то **«лучи»**, хоть и невидимые для глаза (как невидима летящая пуля, пока не встретит препятствия на своем пути).

Катодные лучи

Ученик Плюккера Евгений Гольдштейн (1850 – 1931) в 1876 году дал им название – **катодные лучи**, полагал, что они аналогичны свету.

Еще раньше, **в 1869 году**, другой ученик Плюккера, Иоганн Вильгельм Гитторф (1824 – 1914), **обнаружил отклонение этих лучей в магнитном поле**

В 1871 году Кромвель Вэрли (1828 – 1883) опубликовал научную статью, в которой предположил, что **катодные лучи это заряженные частицы**.



Опыты Крукса с катодными лучами

Уильям Крукс сильнее откачал воздух из трубки. При этом от катода отделилось еще одно, более темное пространство, которое постепенно заполнило всю трубку, после чего анод вспыхнул **зеленоватым светом**. Тот день **1878 года**, когда это произошло, можно считать днем рождения **электроннолучевой трубки** — основной части современного телевизора.

В 1878 Крукс высказал гипотезу, что флуоресценцию вызывают лучи, когда ударяются о стеклянные стенку трубки. **Он показал, что эти (катодные) лучи испускает отрицательный электрод (катод).**

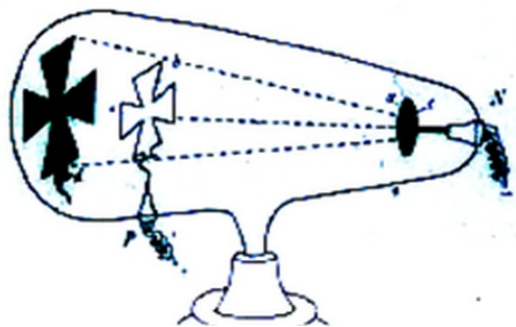


Сэр Уильям Крукс (*Sir William Crookes*, 17 июня 1832 г. – 4 апреля 1919 г.)

Опыты с катодными лучами(II)



FIG. 1. From *Electrical Engineer* (New York), 21: 237, March 4, 1896.



Помещенный внутри трубки крестообразный предмет **отбрасывал тень** на противоположную стенку. Оказалось, что эти **лучи состоят из некоторой субстанции и несут отрицательный электрический заряд** (ударяясь о лопасти легкого колесика, лучи приводили его во вращение, а пучок лучей отклонялся магнитом в сторону, соответствующую отрицательному заряду).

Выводы Крукса

«Лучистая материя»:

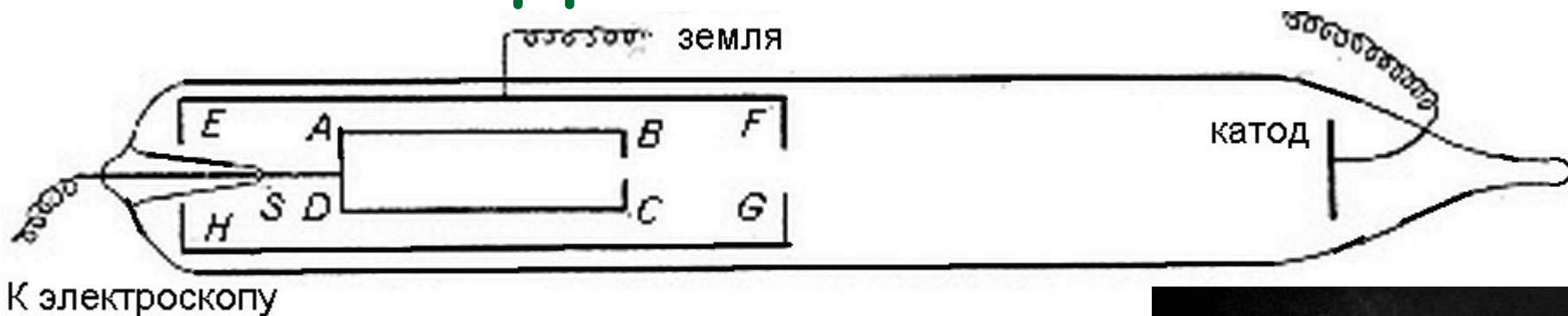
- распространяется прямолинейно
- вызывает свечение тел и может их даже расплавить
- отклоняется в магнитном поле.

Опираясь на эти факты, Уильям Крукс утверждал: **катодные лучи, или лучистая материя, есть поток быстрых отрицательных частиц.**

Крукс полагал, что **катодные лучи есть молекулы остаточного газа, содержащегося в газоразрядной трубке**; соприкоснувшись с катодом, они получают от него отрицательный заряд и отталкиваются от катода. Но тогда они должны отклоняться электрическим полем. опыты же, которые проводил Г.Герц, показали, что **электрическим полем они не отклоняются. В 1892 г. Герц** опытным путем убедился в том, что катодные лучи могут **проходить сквозь тонкие алюминиевые пластинки**

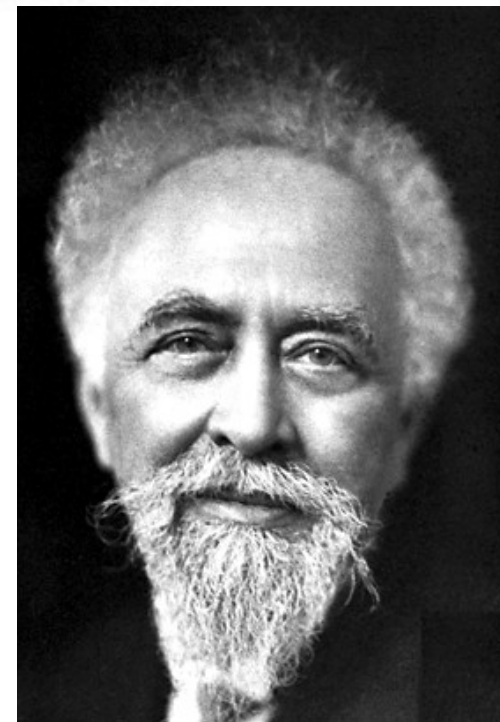
Что есть катодные лучи – волны или частицы?

Опыт Перрена



При работе трубки в цилиндр проникал пучок катодных лучей, при этом **цилиндр всегда получал отрицательный заряд**. Если с помощью магнита отклоняли катодные лучи так, чтобы они не попадали внутрь цилиндра, электроскоп не давал никаких показаний.

Требовалось экспериментально доказать, что выброс катодом заряженных частиц и свечение стенки разрядной трубки взаимосвязаны, что речь идет не о разных физических явлениях, а об одном.



Жан Батист Перрен (фр. *Jean Baptiste Perrin*, 30 сентября 1870, Лилль, Франция — 17 апреля 1942, Нью-Йорк, США)

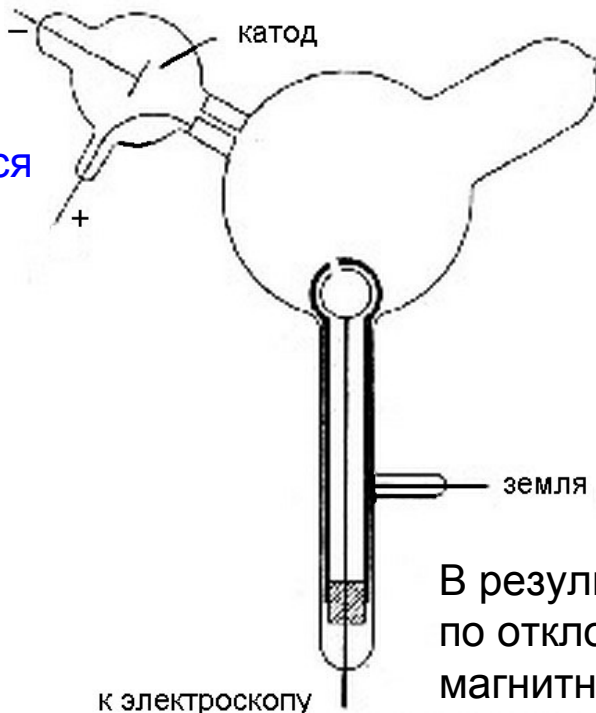
Опыт Томсона

Усовершенствовал эксперимент Перрена

Цилиндр с отверстием располагался не перед катодом, а сбоку от него

Флуоресценция стеклянной стенки трубки, **исчезала**, когда катодные лучи отклоняли магнитом и **«уходили» в отверстие цилиндра**, связанного с электроскопом. **Т.е. свечение стенки трубки и зарядку цилиндра вызывают одни и те же частицы.**

Томсону удалось добиться **отклонения катодных лучей электрическим полем** (в опытах Герца все портила проводимость остаточного газа в трубке).



Сэр Джозеф Джон Томсон (18 декабря 1856 – 30 августа 1940)

В результате, **Дж. Дж. Томсону** по отклонению в электрическом и магнитном полях удалось определить отношение заряда к массе e/m

$1,7 \cdot 10^7$ ед. СГСМ/г
(сейчас $-1,758 \cdot 10^7$ ед. СГСМ/г)

Выводы были поразительны

29 апреля 1897г. Томсон выступил на заседании Лондонского королевского общества.

«После длительного обсуждения экспериментов – пишет в своих воспоминаниях Томсон, – оказалось, что мне не избежать следующих заключений:

- **Что атомы не неделимы**, так как из них могут быть вырваны отрицательно заряженные частицы под действием электрических сил, удара быстро движущихся частиц, ультрафиолетового света или тепла.
 - **Что эти частицы все одинаковой массы, несут одинаковый заряд отрицательного электричества**, от какого бы рода атомов они ни происходили, и являются компонентами всех атомов.
 - **Масса этих частиц меньше, чем одна тысячная массы атома водорода.** Я вначале назвал эти частицы корпускулами, но они теперь называются более подходящим именем „электрон“».
-

Удельный заряд (e/m) электрона

Электрон

$1,7 \cdot 10^7$ ед. СГСМ/г

Ион водорода

$\sim 1 \cdot 10^4$ ед. СГСМ/г

Объяснение - либо его очень малую массу при небольших зарядах, либо очень большой заряд при массах порядка атомных.

Имеется два предельных случая:

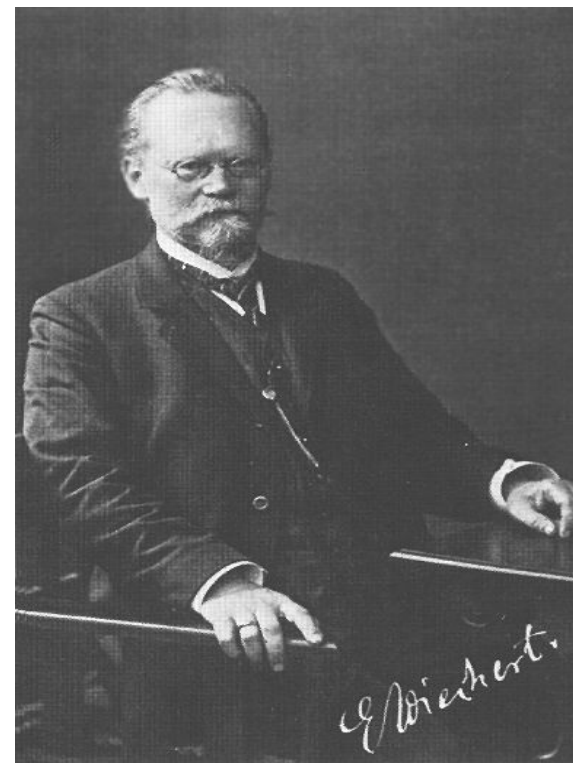
а) если предположить, что масса электрона равна массе иона водорода, — тогда заряд электрона должен быть больше, чем заряд иона водорода почти в 2000 раз. Однако исследования немецкого физика **Филиппа Ленарда** показали нереальность подобного предположения. Им было установлено, что **средний свободный пробег частиц, образующих катодные лучи, составляет в воздухе 0,5 см, в то время как для иона водорода он меньше, чем 10^{-5} см.** Значит, масса вновь открытых частиц должна быть малой;

б) если заряд частицы равен заряду иона водорода, то в таком случае **масса данной частицы должна быть меньше массы иона водорода в приблизительно 2000 раз.** На этом варианте и остановился Томсон.

Приоритет открытия

При скрупулезном подходе первенство должно было бы принадлежать Вихерту. В докладе на заседании физико-экономического общества в Кёнигсберге **7 января 1897 г.** он заявил, что проделанные им опыты с катодными лучами свидетельствуют о существовании электрических зарядов, которые обладают конечной массой. Вихерт говорил: **«...мы должны задаться вопросом, какого рода эти электрические частички, идет ли здесь речь об известных химических атомах или атомных группах или же о телах иного рода... Исследование показало, что мы имеем дело не с атомами, известными из химии, потому что масса движущихся частиц оказалась в 2000–4000 раз меньше, чем у атома водорода, т. е. легчайшего из химических атомов».**

Однако Томсон еще почти 30 лет занимался изучением электрона, а Вихерт к этому вопросу больше не возвращался.



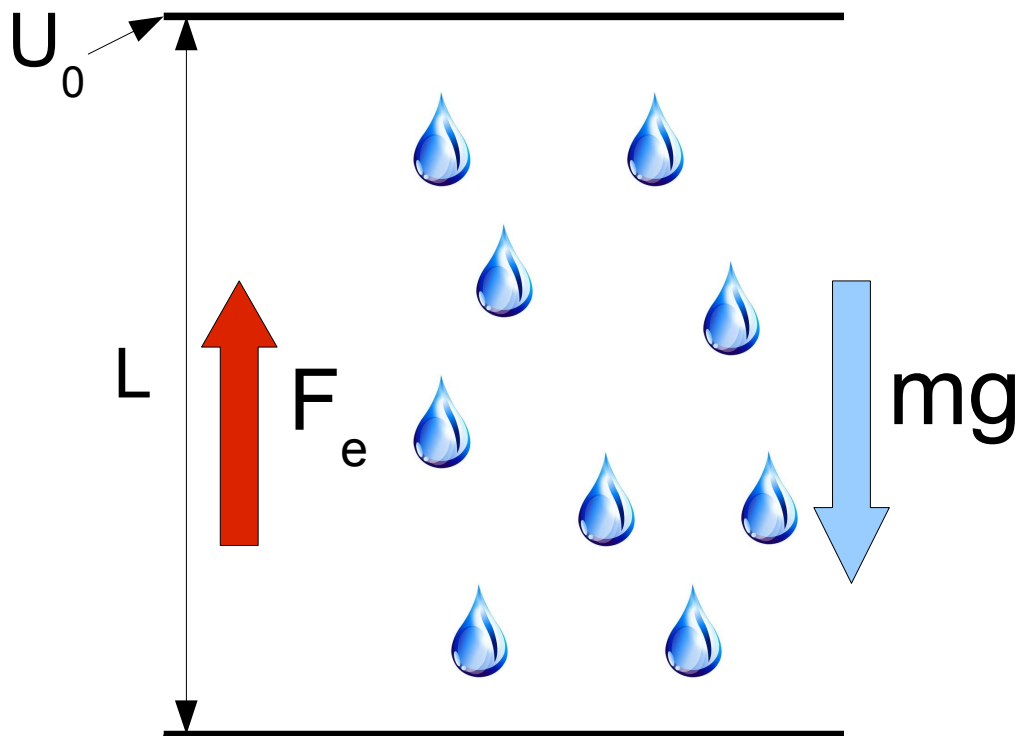
Эмиль Иоганн Вихерт (нем. Emil Wiechert) (26 декабря 1861 – 19 марта 1928) немецкий геофизик.

Вывод о существовании электрона стал одним из величайших научных событий конца XIX века.

Идея о **«дуализме» волновых и корпускулярных свойств электрона** способствовала разработке фундаментальных теоретических основ квантовой механики, а электрон как объект теоретического изучения и, одновременно, как инструмент для исследования вещества и фундаментальных свойств материи занял одно из центральных мест в науке XX века.

Однако окончательное доказательство существования элементарного электрического заряда было получено в опытах американского физика **Роберта Милликена (1868 – 1953), которые он выполнил в 1909 – 1912 гг.** В этих опытах было установлено, что все заряды являются кратными некоторому элементарному заряду, который переносит электрон, и этот заряд был точно измерен.

Опыты Милликена



Если капля висит неподвижно

$$F_e = e_k U_0 / L = mg$$



Роберт Эндриус Милликен

(англ. *Robert Andrews Millikan*; 22 марта 1868, Моррисон, Иллинойс, США — 19 декабря 1953, Сан-Марино, Калифорния, США) — американский физик.

В 1923 году получил Нобелевскую премию по физике за работы в области фотоэлектрического эффекта и за измерения заряда электрона.

Результаты опытов Милликена

Достижения Милликена -

1. в 1906 году сконструировал небольшую по габаритам батарею на 10 тысяч вольт
2. Предложил и реализовал идею использовать капли масла в вязкой среде
3. Научился изменять заряд капельки масла при помощи потока икс-лучей (рентгеновских) , как он делал это раньше с водой.

Опубликовал результаты своих опытов осенью 1910 года.

Опыт показал, что:

- а) при перезарядке заряд капли меняется на целое число величины $4,8 \cdot 10^{-10}$ СГСЭ заряда,
- б) заряд капли кратен той же величине.

Тем самым была доказана **дискретность изменения и атомизм электрического заряда.**

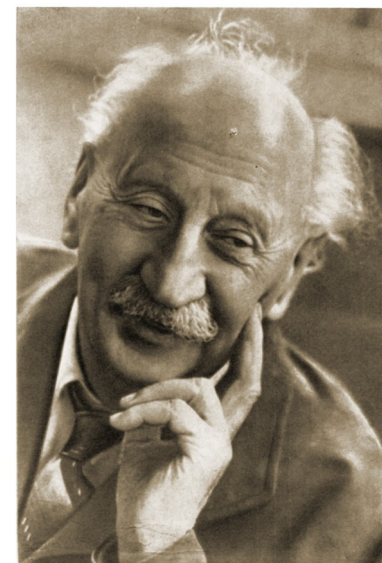
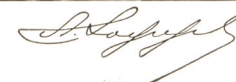
Опыты А.Ф.Иоффе

Использовал ту же идею, что и Милликен для исследования заряда электрона.

В 1911 году А. Ф. Иоффе в своей работе, составившей предмет его магистерской диссертации под названием «Элементарный фотоэлектрический эффект», также определил заряд электрона

Он пишет:

«При освещении ультрафиолетовыми лучами оказалось, что по временам пылинка внезапно приходила в движение, и необходимо было менять поле, чтобы ее вновь уравновесить. Изменение напряженности поля давало возможность судить об изменении заряда пылинки. Опыт показал, что этот заряд не изменяется постепенно и непрерывно, принимая любое значение, а, напротив того, **изменяется скачками, причем каждый раз уносится целое кратное одного и того же количества электричества.**»

Абрам Федорович Иоффе

(17 (29) октября 1880, Ромны, Полтавская губерния – 14 октября 1960, Ленинград) – российский и советский физик, организатор науки, заслуженно именуемый «отцом советской физики»,

Открытие X-лучей (лучи Рентгена)

Немецкий физик **Ф. Ленард** показал, что катодные лучи могут проникать сквозь окошко в трубке, затянутое тонкой алюминиевой фольгой, и ионизовать воздух в непосредственной близости окошка.

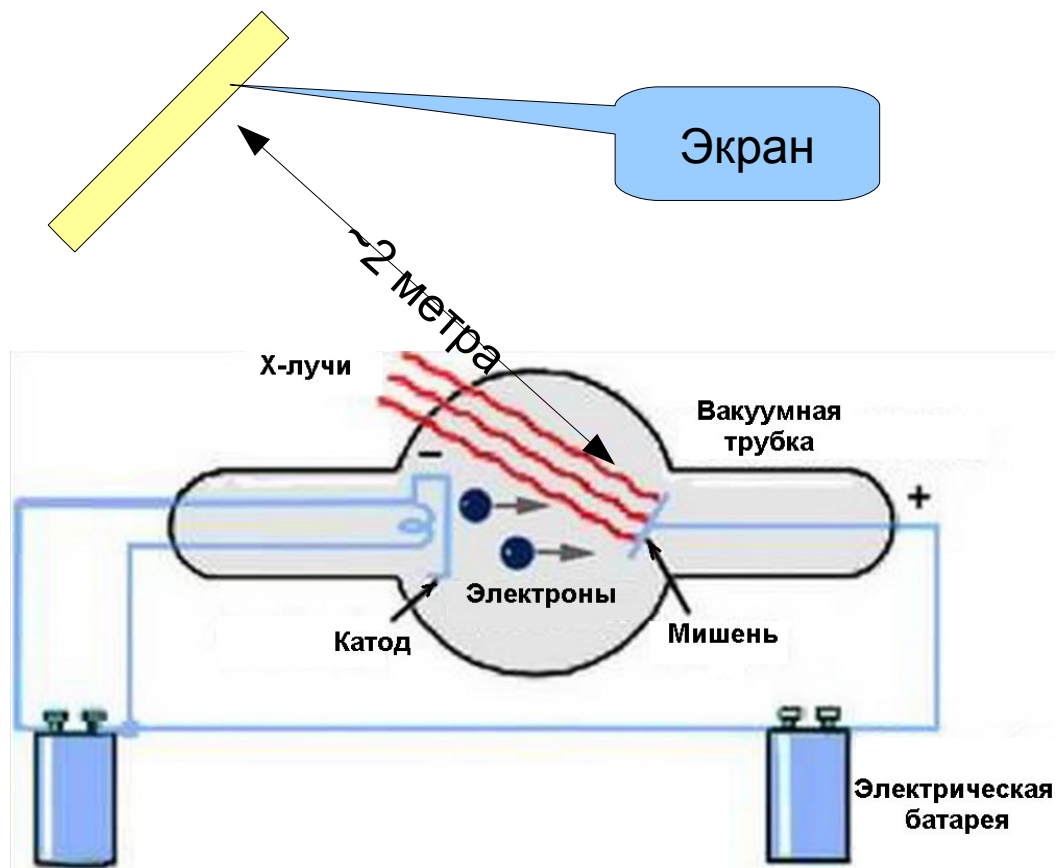
Вильгельм Конрад Рентген повторил некоторые из более ранних экспериментов, в частности, показав, что исходящие из окошка Ленарда катодные лучи вызывают свечение (флуоресценцию) экрана, покрытого цианоплатинатом бария, расположенного за окошком.



Вильгельм Конрад Рентген (1845-1923) (Wilhelm Roentgen). Первый в истории лауреат Нобелевской премии по физике (1901 г.) «за открытие замечательных лучей, часто называемых его именем»

Опыты Рентгена

8 ноября 1895 Рентген, чтобы облегчить наблюдения, затемнил комнату и обернул трубку Крукса (без окошка Ленарда) плотной непрозрачной черной бумагой. К своему удивлению, он **увидел** на стоявшем неподалеку экране, покрытом **цианоплатинатом бария, полосу флуоресценции**. Он установил, что флуоресценция появлялась всякий раз, когда он включал трубку, что **источником излучения является именно зеленое светящееся пятно** на трубке, а не какая-либо другая часть цепи и что **экран флуоресцировал на расстоянии даже почти двух метров** от трубки, куда, как было известно, катодные лучи не могли проникнуть.



В декабре 1895 г. Вильгельм Конрад Рентген сообщил об открытии нового вида лучей, которые он назвал X-лучами

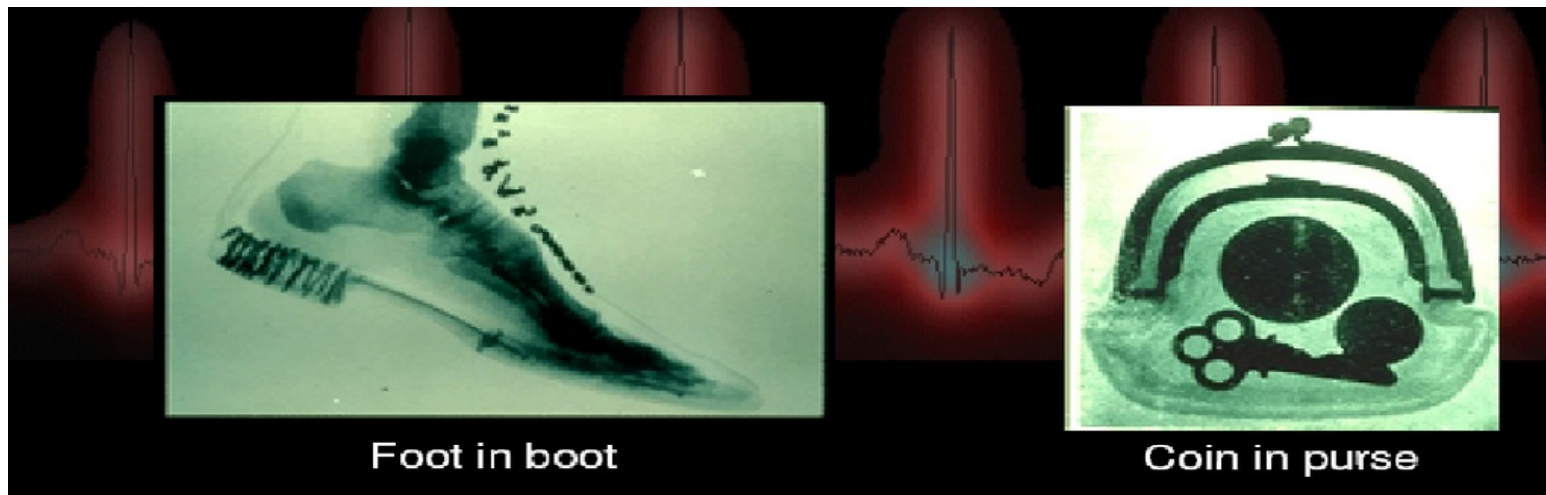
Проникающая способность X-лучей

Рентген обнаружил, что **излучение проходит через многие непрозрачные вещества, вызывает почернение фотопластинки**, завернутой в черную бумагу или даже помещенной в металлический футляр. Лучи проходили через очень толстую книгу, через доску толщиной 3 см, через алюминиевую пластину толщиной 1,5 см... Рентген понял возможности своего открытия: **«Если держать руку между разрядной трубкой и экраном, – писал он, – то видны темные тени костей на фоне более светлых очертаний руки»**. Это было первое в истории рентгеноскопическое исследование.



К Рентгену не раз обращались представители промышленных фирм с предложениями о выгодной покупке прав на использование изобретения. Но Вильгельм отказался запатентовать открытие, так как не считал свои исследования источником дохода.

Рентгеновская трубка



Первым открытие Рентгена в коммерческих целях применил **Т.Эдисон**: в мае 1896 г. он в Нью-Йорке организовал выставку, где желающие могли разглядывать на экране изображение своих конечностей в рентгеновских лучах.

Вскоре Эдисон прекратил все опыты с X-лучами, т.к. его помощник умер от ожогов X-лучами,

Тем не менее, к 1919 году рентгеновские трубки получили широкое распространение и применялись во многих странах. Благодаря им появились новые направления науки и техники: **рентгенология, рентгенодиагностика, рентгенометрия, рентгеноструктурный анализ и др.**

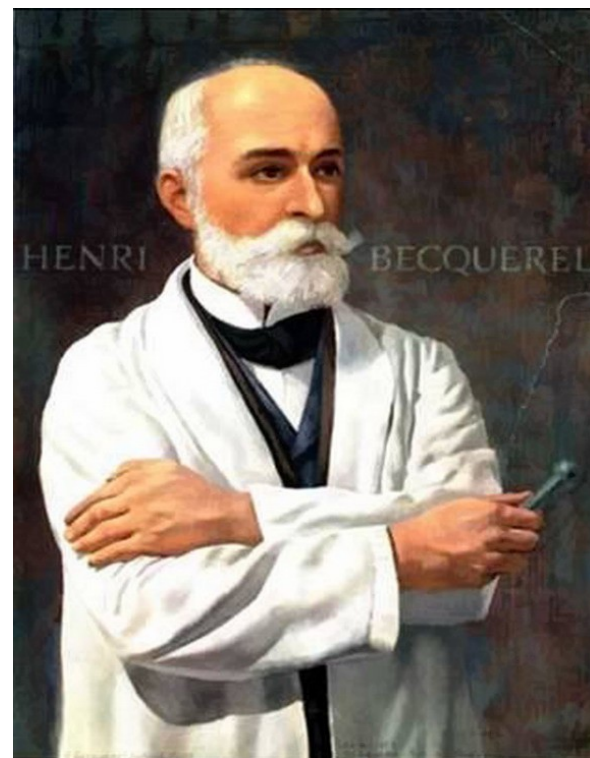
Радиоактивность

В начале 1896 г. Анри Беккерель (1852 – 1908) обнаружил, что соли урана испускают проникающее излучение (урановые лучи). Он установил, что это явление, целиком **связано с присутствием урана**, который стал **первым открытым радиоактивным химическим элементом**.

Термин **«радиоактивность»** был предложен Марией Кюри, одной из первых начавших исследования этого природного явления.

Через 2 года Мария и Пьер Кюри обнаружили подобные свойства у *тория* и открыли два новых радиоактивных элемента – *полоний и радий*.

В 1903 г. им была присуждена Нобелевская премия: **Беккерелю за открытие спонтанной радиоактивности**, а супругам Кюри за исследование радиационных явлений, открытых профессором Анри Беккерелем



Анри Беккерель (1852 - 1908) родился в Париже 15 декабря 1852 г. в семье потомственных физиков.

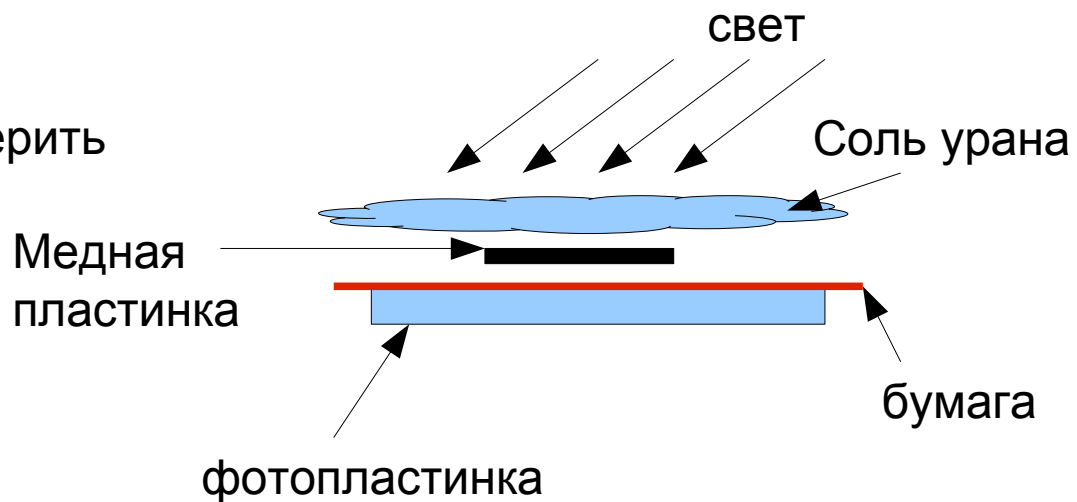
История открытия радиоактивности

В 1896 году **Анри Пуанкаре** выдвинул предположение, что X-лучи, открытые Рентгеном, могут самопроизвольно испускаться некоторыми природными фосфоресцирующими веществами.

Его логика -

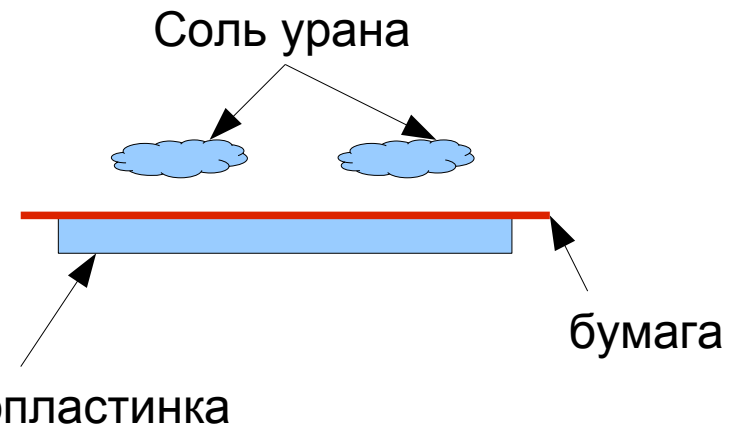
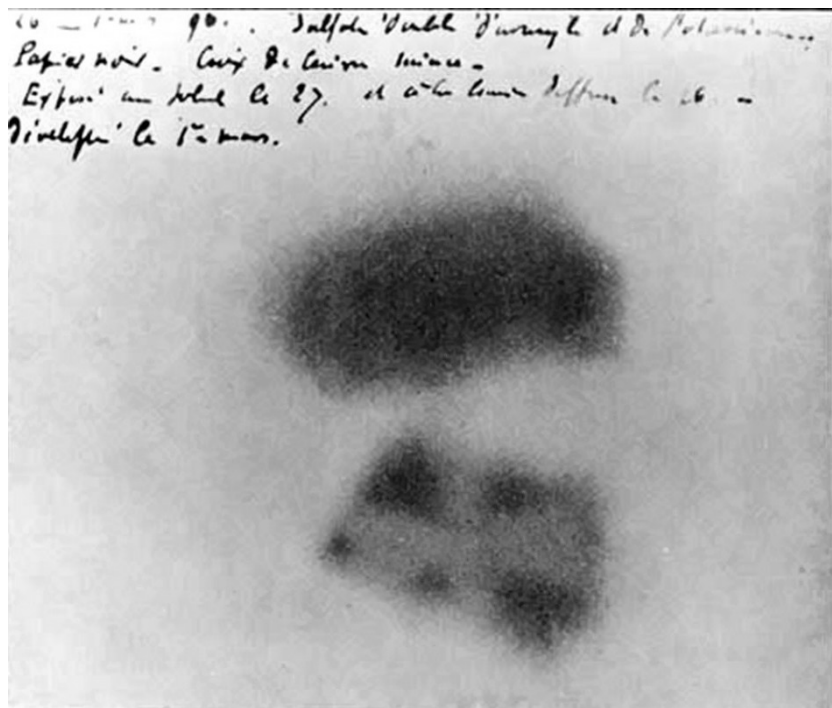
Рентгеновское излучение, по-видимому, возникает на том конце вакуумной трубки, куда попадают катодные лучи и где светится стекло трубки. Но тогда, может быть, светящиеся (люминесцирующие) вещества могут и сами испускать лучи, наподобие рентгеновских?

Анри Беккерель решил это проверить



Сразу обнаружился след на фотопластинке

Но и без облучения светом обнаружилась засветка пластины



Фотопластинка пролежала в темноте
В контакте с солями урана 2 дня

Щепетильность Беккереля
привела его к открытию

Радиоактивность

Практически в это же время английский физик Сильванус Томпсон проводил аналогичные эксперименты. Получил те же самые результаты, **но был опережен Беккерелем на 3 дня.**

Таким образом, **в конце 19-го века** было установлено, что **соли урана самопроизвольно, без предварительного воздействия на них света, испускают лучи неизвестного происхождения.** Содержащее уран вещество, положенное на фотографическую пластинку, обернутую в черную бумагу, воздействует на пластинку и на бумагу. Эти лучи способны разряжать электроскоп, превращая окружающий воздух в проводник электричества. А. Беккерель убедился, что эти свойства урана **не зависят от предварительного облучения**, а неизменно проявляются даже тогда, когда урансодержащее вещество долго выдерживают в темноте. Именно он открыл то явление, которое впоследствии от Марии Кюри получит название **«радиоактивность».**

Открытие новых радиоактивных элементов

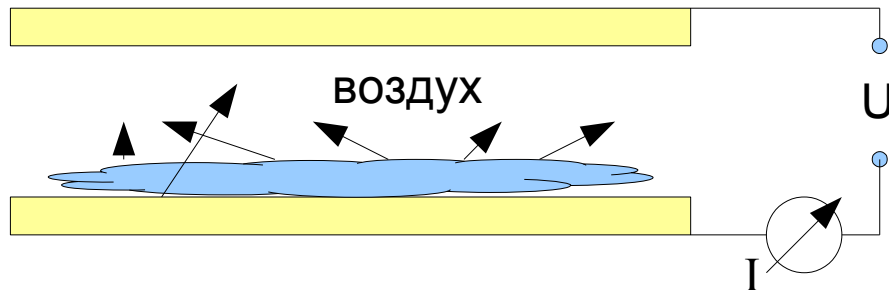
Мария Склодовская-Кюри - интенсивность таинственного (рентгеновского?) излучения пропорциональна количеству урана в образцах, на характер излучения не влияют ни состояние химических соединений урана, ни освещенность, ни температура.

Атомное происхождение?

Эрхард Шмидт – обнаружил аналогичное явление для солей тория

Марии и Пьера Кюри показали, что некоторые минералы урана имеют активность гораздо более высокую, чем у урана и тория. **Так готовилось открытие радия.**

Для того, чтобы точно измерить активность, Кюри применяют количественный метод измерения ионизации воздуха, производимой излучением урана в ионизационной камере.



С помощью некоторых ухищрений им удалось достичь чувствительности $\sim 10^{-13}$ А

Открытие радия

Обнаружилось, что активность минералов урана и тория, не была пропорциональной количеству содержащегося в них урана или тория. Некоторые из этих минералов проявляли активность **в три или четыре раза большую, чем надлежало по расчету для урана.**

Это значит – эти минералы содержат неизвестный элемент (или элементы) гораздо более радиоактивный, чем уран или торий.

Супруги Кюри предприняли ряд химических изысканий, целью которых стало выделение этого радиоактивного вещества из исходного минерала, содержащего уран и торий

Нужно было выделить новые элементы и измерить их атомные веса («Нет атомного веса, нет и радия. Покажите нам радий, и мы поверим» — так говорили химики), супругам Кюри понадобится **четыре года** упорного труда. Собственными руками они **перерабатывают 8 тонн урансодержащей руды и выделяют из нее 0,4 грамма (!) радия.** Они химически выделили радий (**1898г**) и полоний, измерили их атомные веса и интенсивность излучения.

За прошедшее с момента его открытия время — более столетия — во всём мире удалось добыть всего только 1,5 кг чистого радия

Преобразования радиоактивных элементов

В 1903 году Уолтер Рамзай и Фредерик Содди обнаруживают, что радий непрерывно выделяет также небольшое количество газа гелия. Так был обнаружен первый пример ядерного превращения.

Резерфорд и Содди, опираясь на гипотезу, высказанную Марией Кюри, публикуют «Теорию радиоактивных превращений», в которой утверждают, что радиоактивные элементы, даже когда кажутся неизменными, находятся в состоянии самопроизвольного распада: чем быстрее процесс их превращения, тем больше их активность. Определение, данное Резерфордом и Содди, таково:

Радиоактивность есть не что иное, как распад атома на заряженную частицу (именно она и представляет собой радиоактивное излучение) и атом другого элемента, по своим химическим свойствам отличный от исходного.

Закон радиоактивного распада

Открыт Фредериком Содди и Эрнестом Резерфордом экспериментальным путем и сформулированный ими **в 1903 году**.

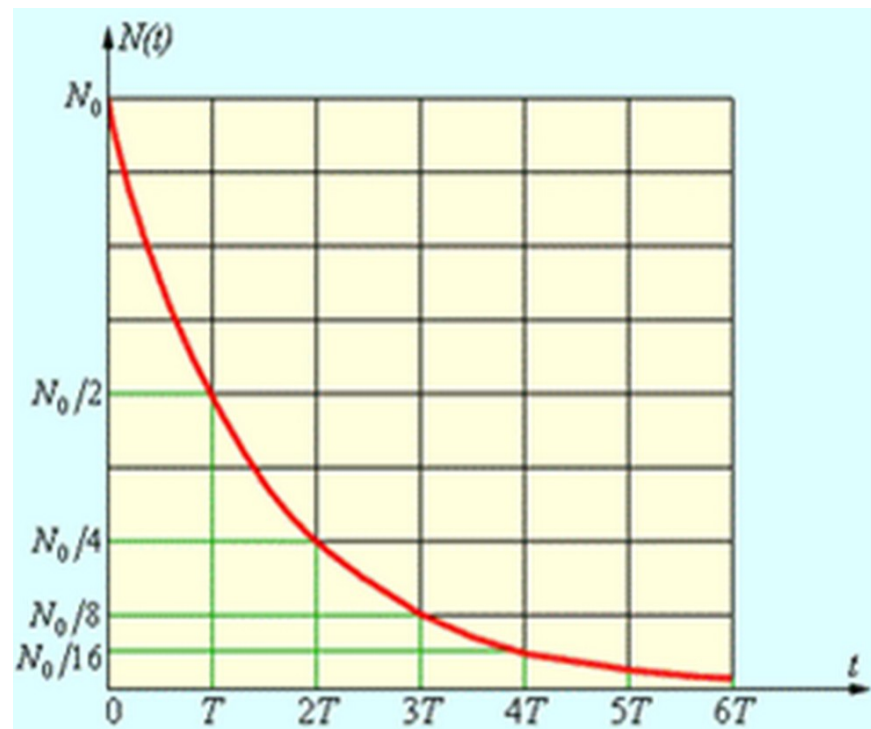
Исследуя превращения радиоактивных веществ, установили опытным путем, что их активность убывает с течением времени. Для каждого радиоактивного вещества существует **период полураспада T** – время, в течение которого распадается половина первоначального количества ядер.

$$N = N_0 \cdot \frac{1}{2^n} = N_0 \cdot \frac{1}{2^{t/T}} = N_0 \cdot 2^{-t/T}$$

Сейчас известно, что периоды полураспада для различных радиоактивных веществ изменяются от **миллиардов лет до миллионных долей секунды**

^{238}U , $T_{1/2} = 4.5 \cdot 10^9$ лет (возраст Земли)

^{226}Ra , $T_{1/2} = 1600$ лет



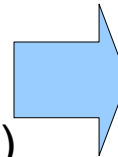
Период полураспада определяет скорость радиоактивного распада

Действительно, $N_0/2$ ядер распадается за время T , т.е. в единицу времени распадается

$$n = \frac{N_0/2}{T}$$

т. е. чем больше T , тем меньше распадов в единицу времени

Более аккуратные вычисления дают где $e=2.71828182845\dots$ (число Эйлера или основание натурального логарифма)



$$\frac{\Delta N}{\Delta t} = \frac{N_0}{T} \cdot \frac{\lg 2}{\lg e}$$

В системе СИ единицей активности является беккерель – 1 распад в секунду

Как измерить период полураспада

Измерение периода полураспада **короткоживущих ядер** сводится к определению промежутка времени, в течение которого интенсивность излучения **спадает вдвое**.

Период полураспада **долгоживущих ядер** можно вычислить, измерив число атомов, распадающихся в единицу времени (равное числу испускаемых за это время частиц), и зная полное число атомов в образце.

^{238}U , $T_{1/2} = 4.5 \cdot 10^9$ лет (возраст Земли)

^{226}Ra , $T_{1/2} = 1600$ лет

т. е. за все время существования Земли количество урана уменьшилось вдвое.

А радия не должно остаться совсем.

ВЫВОД — радий должен появляться в результате распада урана, что так и есть

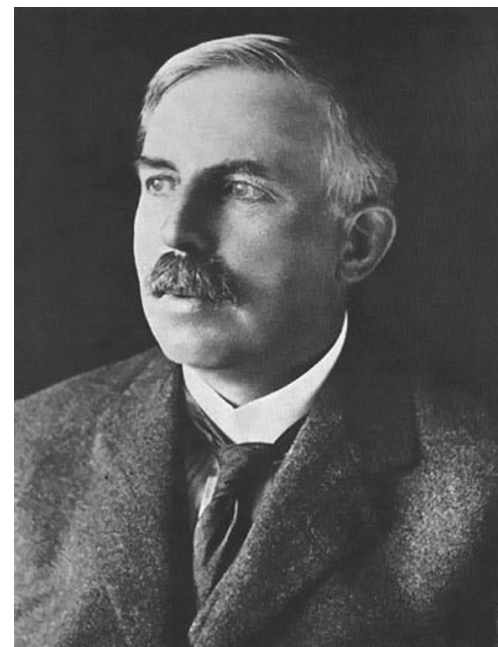
Радиоактивное излучение

Радиоактивность открыта, но

Что такое радиоактивное излучение?

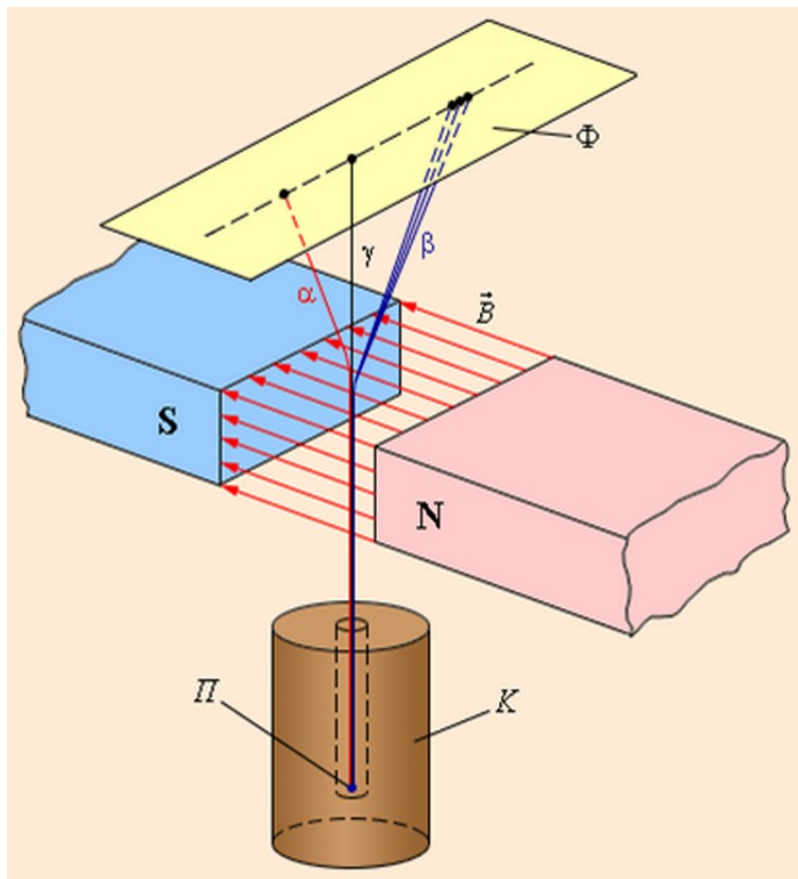
С 1898 года Резерфорд начинает самостоятельные исследования в области радиоактивности. Он обнаружил, что открытое Беккерелем излучение неоднородно и нашел, что оно состоит из двух сильно различающихся *по проникающей способности* компонент радиоактивного излучения, названные им **α - и β -излучением.**

Позднее он доказал, что в него входят потоки **положительно заряженных ядер гелия – альфа-частицы** и **потоки электронов – бета-частицы**. Они отклоняются магнитным полем в разные стороны.



Эрнст Резерфорд (1871-1937)

Гамма - излучение



В 1900 году французский ученый Поль Ульриш Виллар (1860 – 1934) нашел в составе излучения третью, наиболее проникающую компоненту – **гамма-лучи** (названные так по аналогии) состоящие из незаряженных частиц, на которые магнитное поле не оказывает воздействия.

Позднее было показано, что гамма-излучение представляет собой поток электромагнитных квантов высоких энергий.

Альфа-излучение

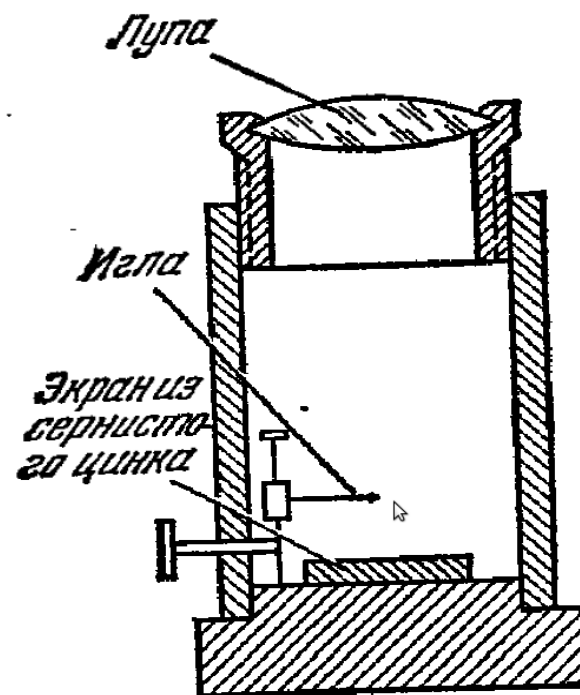
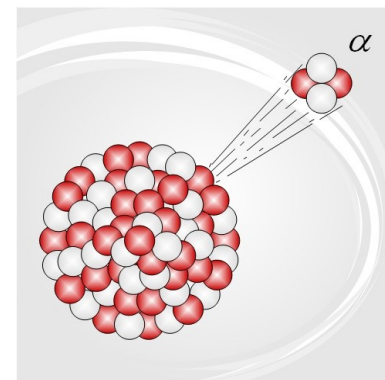
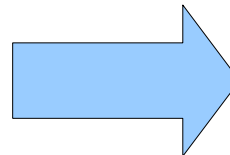
Это ядра атомов гелия (2 протона и 2 нейтрона).

Это высокоэнергетичные частицы. Обычно наблюдается несколько групп альфа-частиц, каждая из которых имеет **строго определенную энергию**. Так, почти все альфа-частицы,

вылетающие из ядер ^{226}Ra , обладают энергией в **4,78 МэВ** (мегаэлектрон-вольт) и небольшая доля альфа-частиц энергией в **4,60 МэВ**.

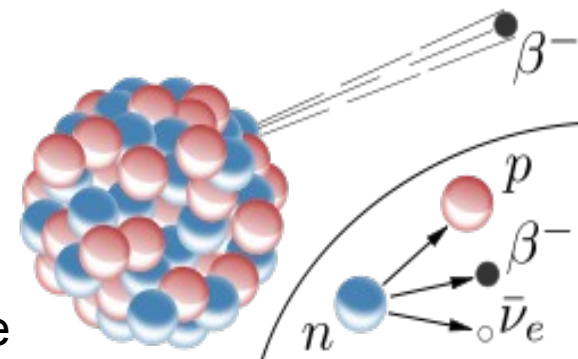
**Их скорость ~ 15200 км/с,
Альфа-частицы обладают самым
сильным ионизирующим действием
Но они задерживаются даже листом
бумаги.**

Крукс изобрел спинтарископ,
в котором можно было визуально
наблюдать регистрацию
отдельной альфа-частицы.



Бета-распад

Бета-распад наблюдается как у тяжелых, так и у легких ядер, например, у трития. Образующиеся в результате бета-распада легкие бета-частицы (быстрые электроны) обладают существенно более высокой проникающей способностью. Так, в воздухе бета-частицы могут пролететь **несколько десятков сантиметров, в жидких и твердых веществах – от долей миллиметра до примерно 1 см.**



1. Откуда в ядре электроны???

2. В 1911 году Лиза Мейтнер и Отто Хан показали, что **энергии электронов, испускаемых при бета-распаде, имеют непрерывный, а не дискретный спектр.** Это находилось в очевидном противоречии с законом сохранения энергии, поскольку получалось, что часть энергии терялась в процессах бета-распада.



Вольфганг Паули (1931)
Некая невидимая частица уносит часть энергии (НЕЙТРИНО)
 (Энрико Ферми, 1933)