

100-летие открытия атомного ядра

LXXIX. *The Scattering of α and β Particles by Matter and the Structure of the Atom.* By Professor E. RUTHERFORD, F.R.S., University of Manchester*.

§ 1. IT is well known that the α and β particles suffer deflexions from their rectilinear paths by encounters with atoms of matter. This scattering is far more marked for the β than for the α particle on account of the much smaller momentum and energy of the former particle. There seems to be no doubt that such swiftly moving particles pass through the atoms in their path, and that the deflexions observed are due to the strong electric field traversed within the atomic system. It has generally been supposed that the scattering of a pencil of α or β rays in passing through a thin plate of matter is the result of a multitude of small scatterings by the atoms of matter traversed. The observations, however, of Geiger and Marsden † on the scattering of α rays indicate that some of the α particles must suffer a deflexion of more than a right angle at a single encounter. They found, for example, that a small fraction of the incident α particles, about 1 in 20,000, were turned through an average angle of 90° in passing through a layer of gold-foil about 0.0004 cm. thick, which was equivalent in stopping-power of the α particle to 1.6 millimetres of air. Geiger ‡ showed later that the most probable angle of deflexion for a pencil of α particles traversing a gold-foil of this thickness was about $0^\circ.87$. A simple calculation based on the theory of probability shows that the chance of an α particle being deflected through 90° is vanishingly small. In addition, it will be seen later that the distribution of the α particles for various angles of large deflexion does not follow the probability law to be expected if such large deflexions are made up of a large number of small deviations. It seems reasonable to suppose that the deflexion through a large angle is due to a single atomic encounter, for the chance of a second encounter of a kind to produce a large deflexion must in most cases be exceedingly small. A simple calculation shows that the atom must be a seat of an intense electric field in order to produce such a large deflexion at a single encounter.

Recently Sir J. J. Thomson § has put forward a theory to

* Communicated by the Author. A brief account of this paper was communicated to the Manchester Literary and Philosophical Society in February, 1911.

† *Proc. Roy. Soc.* lxxii. p. 495 (1909).

‡ *Proc. Roy. Soc.* lxxiii. p. 492 (1910).

§ *Camb. Lit. & Phil. Soc.* xv. pt. 5 (1910).

the small fraction of the incident β particles scattered through a large angle. In this way, possible errors due to small scattering will be avoided.

The scattering data for the β rays, as well as for the α rays, indicate that the central charge in an atom is approximately proportional to its atomic weight. This falls in with the experimental deductions of Schmidt*. In his theory of absorption of β rays, he supposed that in traversing a thin sheet of matter, a small fraction α of the particles are stopped, and a small fraction β are reflected or scattered back in the direction of incidence. From comparison of the absorption curves of different elements, he deduced that the value of the constant β for different elements is proportional to nA^2 where n is the number of atoms per unit volume and A the atomic weight of the element. This is exactly the relation to be expected on the theory of single scattering if the central charge on an atom is proportional to its atomic weight.

§ 7. General Considerations.

In comparing the theory outlined in this paper with the experimental results, it has been supposed that the atom consists of a central charge supposed concentrated at a point, and that the large single deflexions of the α and β particles are mainly due to their passage through the strong central field. The effect of the equal and opposite compensating charge supposed distributed uniformly throughout a sphere has been neglected. Some of the evidence in support of these assumptions will now be briefly considered. For concreteness, consider the passage of a high speed α particle through an atom having a positive central charge Ne , and surrounded by a compensating charge of N electrons. Remembering that the mass, momentum, and kinetic energy of the α particle are very large compared with the corresponding values for an electron in rapid motion, it does not seem possible from dynamic considerations that an α particle can be deflected through a large angle by a close approach to an electron, even if the latter be in rapid motion and constrained by strong electrical forces. It seems reasonable to suppose that the chance of single deflexions through a large angle due to this cause, if not zero, must be exceedingly small compared with that due to the central charge.

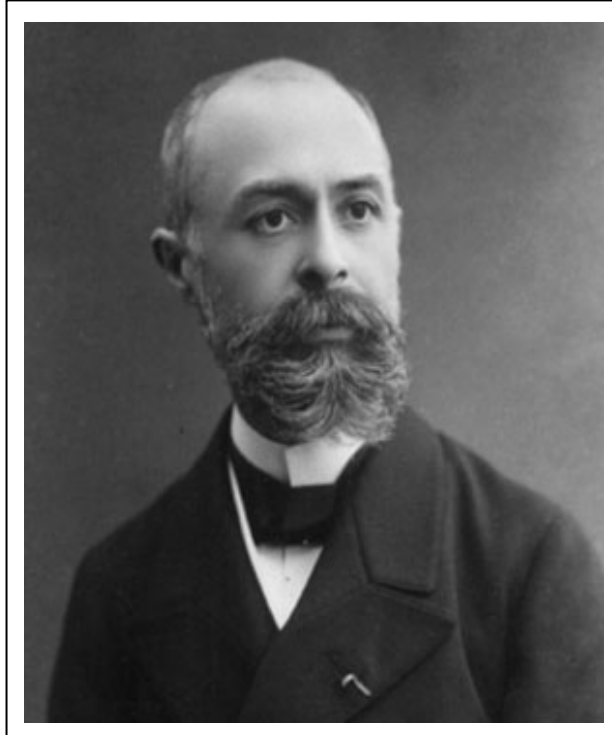
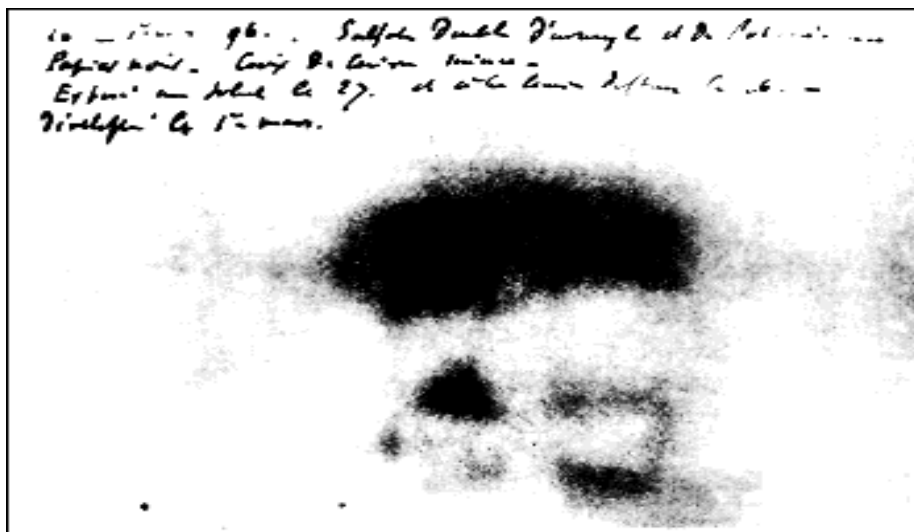
It is of interest to examine how far the experimental evidence throws light on the question of the extent of the

* *Annal. d. Phys.* iv. 23. p. 671 (1907).

1896

Открытие радиоактивности

Анри Беккерель



**Antoine Henri Becquerel
(1852 – 1908)**

Нобелевская премия по физике

1903 г. - А. Беккерель

За открытие радиоактивности

А. Беккерель дважды в начале 1896 г. выступал на заседании Парижской академии наук с сообщением об открытии им нового явления — радиоактивности. 24 февраля 1896 г. А. Беккерель сообщил о методе регистрации радиоактивности. 2 марта 1896 г. А. Беккерель впервые сообщил, что открытое им явление принципиально отличается от искусственной фосфоресценции, вызываемой облучением некоторых кристаллов под действием солнечного света.

Из выступлений А.Беккереля на заседании Парижской академии наук.

Заседание 24 февраля 1896 г.

«Фотографическую бромосеребряную пластинку Люмьера обертывают двумя листками очень плотной черной бумаги... Сверху накладывают какое-нибудь фосфоресцирующее вещество (бисульфат урана и калия), а затем всё это выставляют на несколько часов на солнце. При проявлении фотопластины на черном фоне появляется силуэт фосфоресцирующего вещества».

Заседание 2 марта 1896 г.

«Я особенно настаиваю на следующем факте, кажущемся мне весьма многозначительным... Те же кристаллы, содержащиеся в темноте, в условиях когда возникновение радиации под действием солнечного света исключается, дают, тем не менее, фотографические отпечатки. В среду 26-го и в четверг 27 февраля 1896 г. солнце появлялось лишь с большими перерывами. Я отложил совсем подготовленные опыты и, не трогая кристаллов соли урана, установил кассеты в ящике стола в темноте. В следующие дни солнце не появлялось вовсе, но, проявив пластинки 1 марта, я обнаружил на них совершенно отчетливые контуры».

РАДИОАКТИВНОСТЬ

М. Кюри

Анри Беккерель производил опыты с солями урана, так как некоторые из них обладают свойством флуоресцировать [H. Becquerel, Comptes Rendus, 1896]. Он получил фотографические оттиски сквозь черную бумагу при помощи флуоресцирующего двойного сульфата уранила и калия. Дальнейшие опыты показали, однако, что наблюдаемое явление никак не связано с флуоресценцией. Оказалось, что освещение соли не является необходимым условием и что на фотографические пластинки действуют и уран и все его, как флуоресцирующие, так и нефлуоресцирующие, соединения, причем наиболее сильно действует металлический уран. Беккерель обнаружил затем, что соединения урана, в течение нескольких лет находившиеся в полной темноте, продолжают действовать на фотографические пластинки сквозь черную бумагу. Тогда он пришел к заключению, что уран и его соединения испускают особые урановые лучи. Эти лучи обладают способностью проходить сквозь тонкие металлические экраны. Проходя через газы, урановые лучи ионизируют их и делают их проводниками электричества. Излучение урана самопроизвольно и постоянно, оно не зависит от таких внешних условий, как освещение и температура.

Лучи тория. Исследования, произведенные одновременно В. Шмидтом и Марией Кюри, показали, что соединения тория испускают лучи, подобные урановым. Такие лучи часто называют лучами Беккереля. Вещества, испускающие лучи Беккереля, назвали радиоактивными, а новое свойство вещества, обнаруженное по этому лучеиспусканию, — радиоактивностью (Мария Кюри). Элементы, обладающие этим свойством, называются радиоэлементами.

1898

Открытие радиоактивности элементов полония Po ($Z=84$) и радия Ra ($Z=88$)



Беккерель обнаружил ионизацию воздуха лучами, исходящими из урановых соединений. Всё это открыло путь для исследования огромной новой области. Многие сейчас же ринулись в нее. Среди них были также супруги Пьер Кюри (1859—1906) и Мария Кюри (1867—1934). Они подвергли систематическому исследованию все известные химические элементы в отношении радиоактивности (термин «радиоактивность» впервые был введен ими), нашли ее также у тория, но в миллионы раз сильнее оказалась у двух новых элементов: полония и радия.

Нобелевская премия по физике

1903 г. – П. Кюри и М. Кюри-Склодовская
За исследования радиоактивности

Нобелевская премия по химии

1911 г. - М. Кюри-Склодовская
За открытие элементов радия и полония, изучение свойств радия, получение радия в металлическом состоянии и осуществление экспериментов, связанных с радием

1897 г. Резерфорд открывает α - и β -излучение



Уже в 1897 г. Э. Резерфорд различал по проникающей способности два вида радиоактивного излучения: легче поглощаемые α -лучи и более проникающие β -лучи. В то время как последние, благодаря их легкой отклоняемости в электрическом и магнитном полях, были вскоре отождествлены с электронами, над природой первых Резерфорду пришлось потрудиться более долгое время. Но в 1903 г. он нашел, наконец, посредством опытов с отклонением этих лучей, что отношение их заряда к массе по знаку и величине соответствует дважды ионизованным атомам гелия. Вильям Рамзай (1852—1916) и Фр. Содди установили в 1904 г. поразительное появление гелия в соединениях радия; единственным объяснением могло быть возникновение гелия из радия. Резерфорд и Т. Ройдс подтвердили в 1909 г. идентичность α -частиц и ионов гелия, так как они обнаружили в собранных нейтрализованных α -частицах характерную желтую линию спектра гелия. Так было доказано возникновение элемента гелия из других элементов. В то же самое время постепенно установили, что за небольшими исключениями радиоактивное тело посылает либо α -лучи, либо β -лучи; обнаруженное в 1900 г. Паулем Виллардом неотклоняемое γ -излучение может быть связано с обоими.

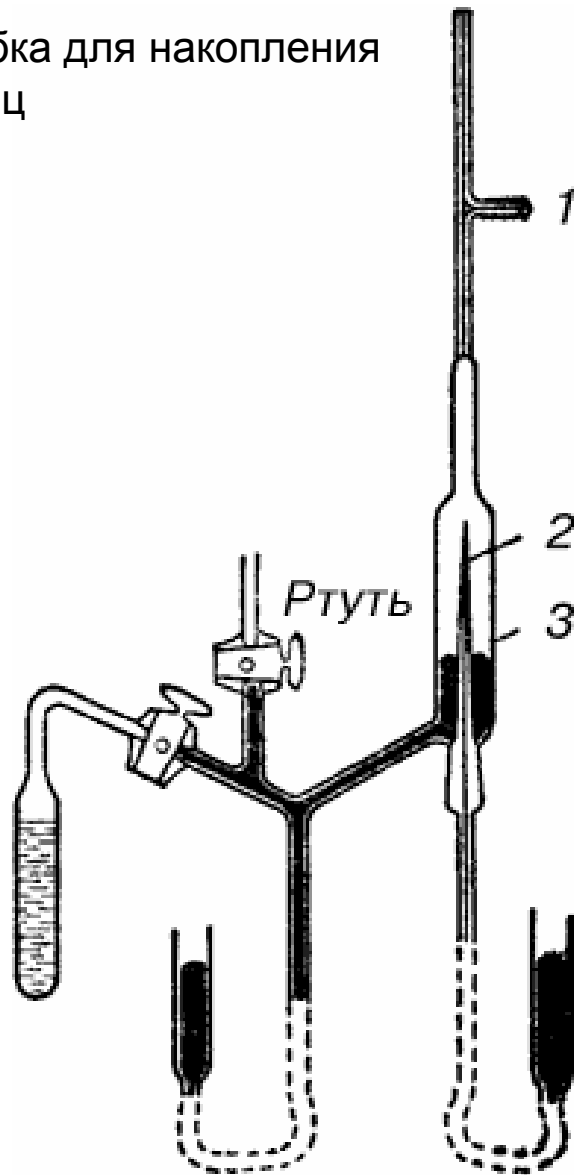
Нобелевская премия по химии

1908 г. - Э. Резерфорд

За исследования по превращению элементов и за химические исследования радиоактивных веществ.

1909 α -частицы – ядра ${}^4\text{He}$

- 1 – разрядная трубка,
- 2 – радиоактивные источники Th, Ra,
- 3 – трубка для накопления α -частиц

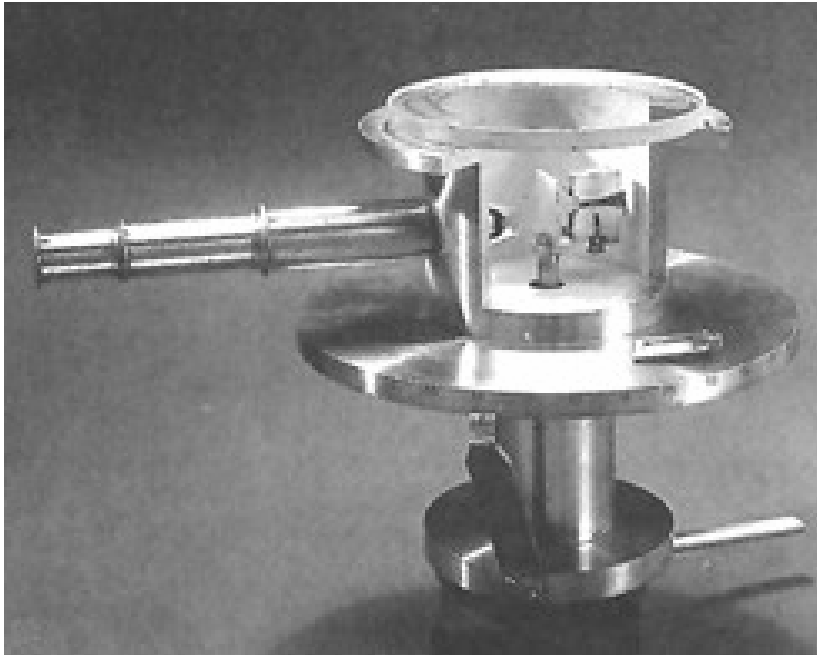


Опыт Резерфорда, подтвердивший правильность теории радиоактивного распада

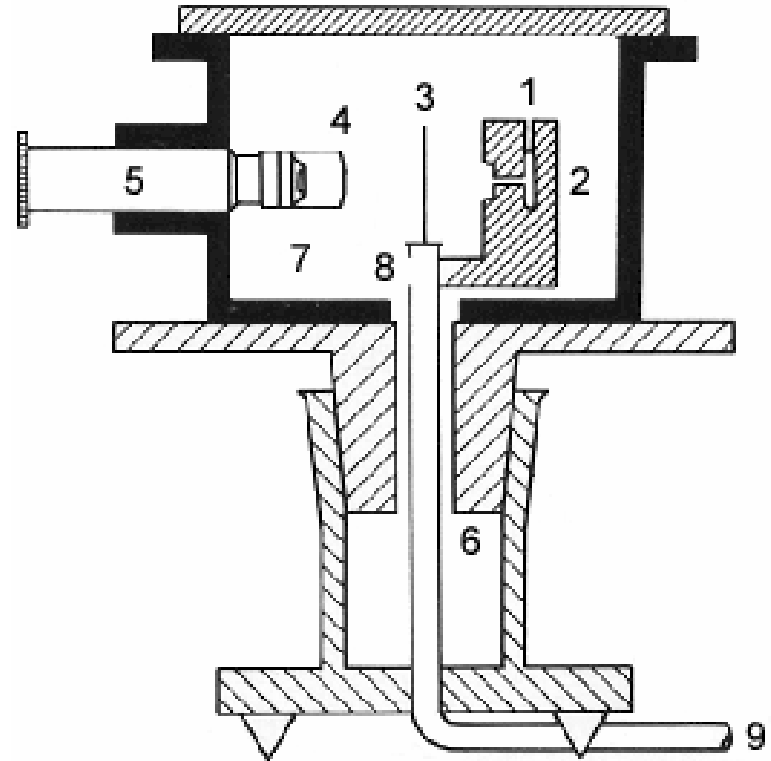
Работа Резерфорда в Канаде ознаменовалась целым рядом крупнейших открытий. Во-первых, им была открыта эманация тория. Вместе с Резерфордом там же работал в то время молодой химик Содди, и с ним Резерфорд начал изучать химический характер элементов, получаемых от радиоактивного распада, так как было очень важно установить наряду с физическими и химические особенности радиоактивного процесса. В то время радиоактивность еще не была понята, и Резерфорд вместе с Содди были первыми, кто доказал, что это есть спонтанный переход одних элементов в другие, называемый теперь радиоактивным распадом. При этом испускаются либо α -лучи, состоящие из быстро летящих атомов гелия с положительным зарядом, либо β -лучи — быстро летящие электроны. На основании этого Резерфорд предполагал, что эманация тория есть элемент, отличный от самого тория. Вместе с Содди он по диффузии определил атомный вес эманации и показал, что она соответствует благородному газу.

Теория радиоактивного распада, выдвинутая Резерфордом и Содди в 1903 г., произвела революцию.

1909 г. Опыты Г. Гейгера и Э. Марсдена по рассеянию α -частиц на тонких фольгах



Г. Гейгер и Э. Марсден обнаружили отклонение α -частиц на большие углы при прохождении через тонкие фольги.



1 – источник α -частиц,
3 – золотая фольга,
5 – микроскоп для наблюдения сцинтилляций,
7 – сцинтиллятор ZnS

Резерфорд открывает атомное ядро

ВОСПОМИНАНИЯ О ПРОФ. Э. РЕЗЕРФОРДЕ

П. Л. Капица, Москва

В 1910 г. к Резерфорду в лабораторию приехал работать молодой ученый по имени Марсден. Он попросил Резерфорда дать ему какую-нибудь очень простую задачу. Резерфорд поручил ему считать α -частицы, проходящие через материю, и найти их рассеяние. При этом Резерфорд заметил, что по его мнению Марсден ничего заметного не обнаружит. Свои соображения Резерфорд основывал на принятой в то время модели атома Томсона. В соответствии с этой моделью атом представлялся сферой размером 10^{-8} см с равномерно распределенным положительным зарядом, в которую были вкраплены электроны. Гармонические колебания последних определяли спектры лучеиспускания. Легко показать, что α -частицы должны были легко проходить через такую сферу, и особенного рассеяния их нельзя было ожидать. Всю энергию на пути своего пробега α -частицы тратили на то, чтобы выбрасывать электроны, которые ионизировали окружающие атомы.

Марсден под руководством Гейгера стал делать свои наблюдения и скоро заметил, что большинство α -частиц проходит через материю, но все же существует заметное рассеяние, а некоторые частицы как бы отскакивают назад. Когда это узнал Резерфорд, он сказал:

— Это невозможно. Это так же невозможно, как для пули невозможно отскочить от бумаги.

Эта фраза показывает, как конкретно и образно он видел явление.

Марсден и Гейгер опубликовали свою работу, а Резерфорд сразу решил, что существующее представление об атоме неправильно и его надо в корне пересмотреть.

Изучая закон распределения отразившихся α -частиц, Резерфорд постарался определить, какое распределение поля внутри атома необходимо, чтобы определить закон рассеивания, при котором α -частицы могут даже возвращаться обратно. Он пришел к выводу, что это возможно тогда, когда весь заряд сосредоточен не по всему объему атома, а в центре. Размер этого центра, названного им ядром, очень мал: 10^{-12} — 10^{-13} см в диаметре. Но куда же тогда поместить электроны? Резерфорд решил, что отрицательно заряженные электроны надо распределить кругом — они могут удерживаться благодаря вращению, центробежная сила которого уравнивает силу притяжения положительного заряда ядра. Следовательно, модель атома есть не что иное, как некая солнечная система, состоящая из ядра — солнца и электронов — планет. Так он создал свою модель атома.

Эта модель встретила полное недоумение, так как она противоречила некоторым тогдашним, казавшимся незыблемыми, основам физики.

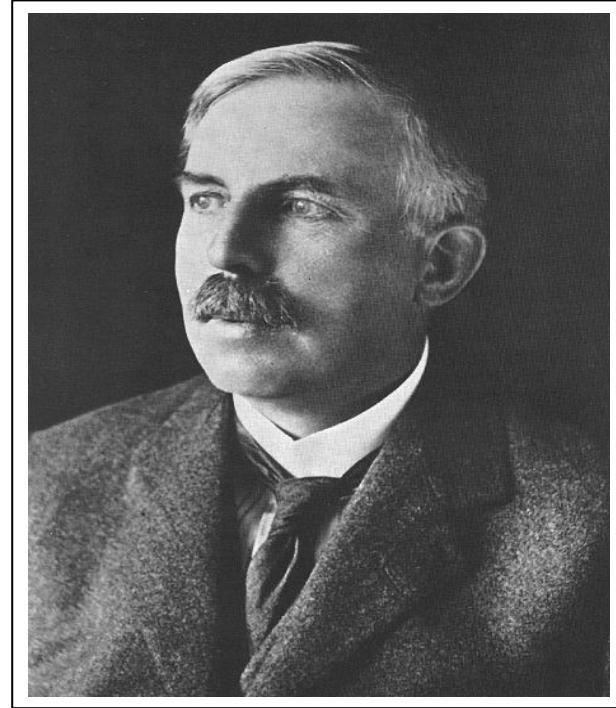
Э. Резерфорд

1911 Атомное ядро



$$\text{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{2bE}$$

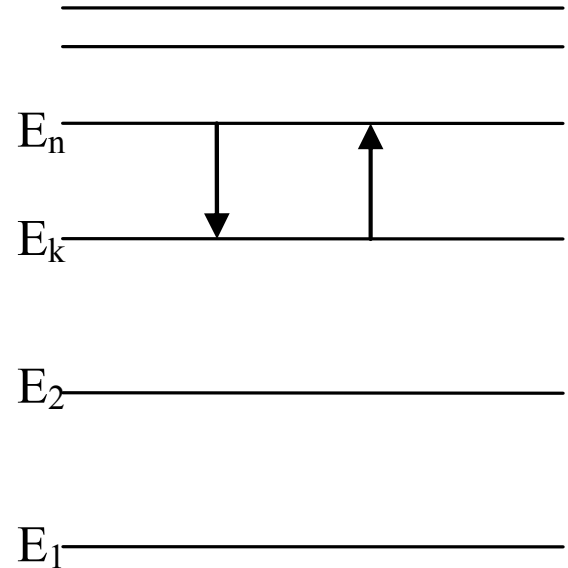
$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \left(\frac{Z_1 Z_2 e^2}{4E} \right)^2 \times \frac{1}{(\sin^4 \frac{\theta}{2})}$$



Ernest Rutherford

(1871-1937)

1913 г. Н. Бор. Квантовая модель атома



2 постулата Н. Бора
Стационарные орбиты

$$E_{\gamma} = h\nu = (E_n - E_k)$$

1922 г. Н. Бор. Нобелевская премия по физике

За работы по исследованию структуры атомов и их излучения

1913 г. Н. Бор. Квантовая модель атома

Большое значение имело теоретическое открытие Н.Бором атомной модели, которая представляет собой изменение модели Резерфорда путем введения квантовых условий. В то время как модель Резерфорда допускала для движения электрона вокруг атомного ядра непрерывный ряд траекторий, эти квантовые условия отобрали из них дискретный ряд круговых траекторий. Согласно обобщению А. Зоммерфельда (1916) допустимы также эллипсы. Квантовые условия гласили: фазовые интегралы для каждого дозволенного пути являются целыми кратными кванта действия h . Но так как с каждой орбитой связана также энергия движения, то тем самым получается теория дискретных уровней энергии. Если атом при испускании одного кванта переходит от более высокого уровня E_1 к более низкому уровню E_2 , то в соответствии с идеями, подтверждаемыми фотоэлектрическим эффектом, квант должен иметь частоту

$$\nu = \frac{E_1 - E_2}{h}.$$

Напротив, при поглощении одного кванта энергии $h\nu$ атом переходит от состояния E_2 к состоянию E_1 . Это, между прочим, мысль, которую уже в 1912 г. применил Дж. Дж. Томсон для объяснения характеристических K -, L -, M -излучений элементов. Так, по Бору, возникают линейчатые спектры. Первую победу эта теория одержала после объяснения Бором спектра водорода.

1913 Модель атома Бора

Н. Бор. Э.Резерфорд – основоположник науки о ядре

Когда в марте 1913 г. я написал Резерфорду письмо, содержащее набросок моей первой работы по квантовой теории строения атома, я подчеркнул в нем важность решения вопроса о происхождении линий Пикеринга и воспользовался случаем, чтобы узнать, нельзя ли в его лаборатории провести эксперименты в этом направлении; там еще со времени Шустера имелась необходимая спектроскопическая аппаратура. Я мгновенно получил ответ, характерный как по острой проницательности Резерфорда в научных вопросах, так и по благожелательному отношению: я хочу привести это письмо целиком.

20 марта 1913 г.

Дорогой д-р Бор!

Я получил в полной сохранности Вашу работу и прочел ее с большим интересом, но мне хотелось бы еще раз тщательно просмотреть ее, когда у меня будет больше времени. Ваши мысли относительно причин возникновения спектра водорода очень остроумны и представляются хорошо продуманными, однако сочетание идей Планка со старой механикой создает значительные трудности для понимания того, что же все-таки является основой такого рассмотрения.

В связи с Вашей гипотезой я обнаружил серьезное затруднение, в котором Вы, без сомнения, полностью отдаете себе отчет; оно состоит в следующем: как решает электрон, с какой частотой он должен колебаться при переходе из одного стационарного состояния в другое? Мне кажется, что Вы вынуждены будете предположить, что электрон знает заблаговременно, где он собирается остановиться.

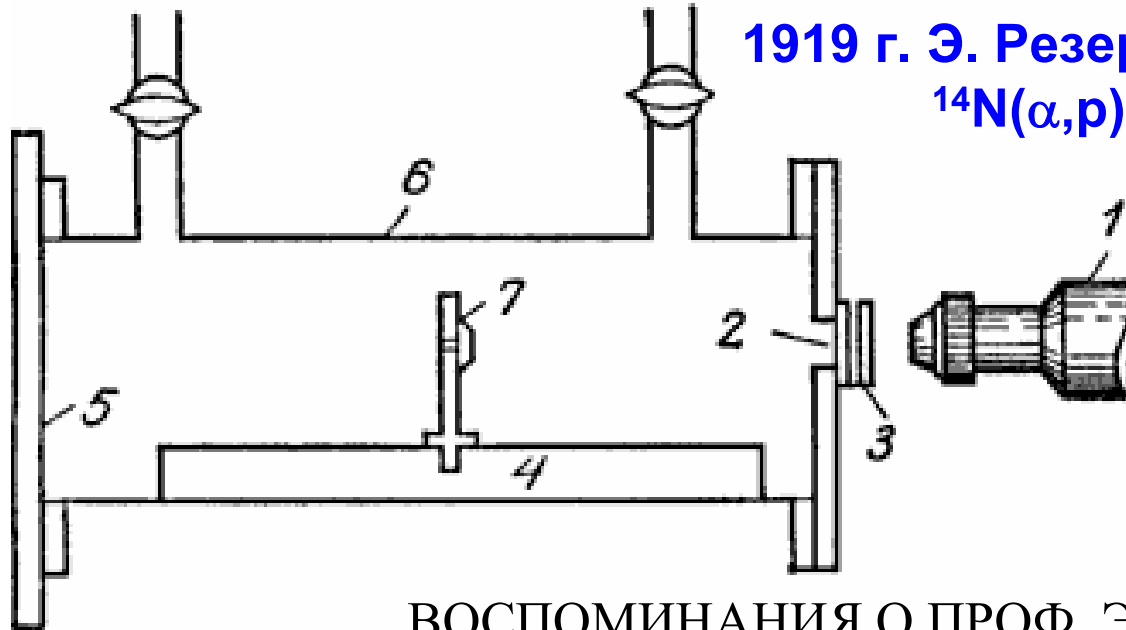
От квантовых постулатов к квантовой механике

Н. Бор. Э.Резерфорд – основоположник науки о ядре

Первое замечание Резерфорда было, конечно, очень дальновидным; оно касалось именно того вопроса, который стал центральным пунктом длительной дискуссии, развернувшейся впоследствии. Моя собственная точка зрения в то время, как я ее изложил в лекции на заседании Датского физического общества в октябре 1913 г., состояла в следующем: радикальный отход от привычных требований к физическому объяснению, содержащийся в квантовых постулатах, уже сам по себе при надлежащем подходе оставляет достаточный простор для возможности объединения выдвинутых предположений в логически согласованную схему.

1919 г. Э. Резерфорд. Открытие протона

$^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$



- 1 – микроскоп для наблюдений сцинтилляций,
- 2 – серебряная пластинка для поглощения α -частиц,
- 3 – экран из сернистого цинка,
- 7 – источник α -частиц

ВОСПОМИНАНИЯ О ПРОФ. Э. РЕЗЕРФОРДЕ

П. Л. Капица, Москва

Наполняя камеру *A* азотом, Резерфорд наблюдал, что при некотором давлении большинство сцинтилляций пропадает. Это происходит тогда, когда α -лучи, испускаемые радиоактивным источником, тратят всю энергию на ионизацию воздуха и не доходят до экрана. Но остающиеся сцинтилляции указывали на присутствие очень малого количества α -лучей с пробегом в несколько раз большим, чем испускалось источником. Если вместо азота взять другой газ, например углекислоту или кислород, то таких остаточных сцинтилляций не появляется. Единственное объяснение — в том, что они появляются из азота. Так как энергия остаточных α -лучей больше, чем первичных, то они могут появляться только за счет разложения ядра атома азота. Так было доказано разложение азота и принципиально решена задача алхимии.



**В 1919 г. Э. Резерфорд
получает кафедру
в Кембридже после отставки
Дж. Дж. Томсона и
становится директором
Кавендишской лаборатории.**

- James Clerk Maxwell 1871-1879
- Lord Rayleigh 1879-1884
- J.J. Thomson 1884-1919
- Ernest Rutherford 1919-1937
- William Lawrence Bragg 1938-1953
- Nevill Mott 1954-1971
- Brian Pippard 1971-1984
- Sam Edwards 1984-1995
- Richard Friend 1995-present

Дж. Дж. Томсон и Э. Резерфорд

2 метода регистрации α -частиц

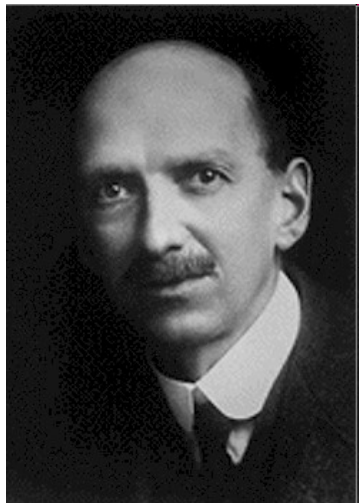
ВОСПОМИНАНИЯ О ПРОФ. Э. РЕЗЕРФОРДЕ

П. Л. Капица, Москва

Резерфорда не удовлетворяло изучение пучка α -лучей по наблюдению производимой ими ионизации, и он искал метод, каким он мог бы обнаружить индивидуальные α -частицы. **Первый метод был найден в наблюдении сцинтилляций.** Еще Крукс заметил, что под влиянием бомбардировки положительными лучами некоторые вещества светятся — люминесцируют. Наиболее ярко светящимся веществом оказалась цинковая обманка. Когда Резерфорд вместе с Гейгером поместил цинковую обманку под микроскоп и направил на нее пучок α -лучей, то вместо того, чтобы видеть в поле зрения микроскопа ровный светящийся фон, они увидели отдельные вспыхивающие точки. Они заключили, что вспышки происходят в тех местах, где α -лучи ударяют о цинковую обманку. Так можно было определить число испускаемых α -лучей по счету вспышек, производимых на цинковой обманке.

Другой способ обнаружения α -частиц, открытый Резерфордом, благодаря изобретению усилительных ламп, стал теперь еще более могущественным, чем счет сцинтилляций, — это метод счетчика. Этот метод основан на явлении, открытом Таундсеном. Если в газе при пониженном давлении находится острие, то можно подобрать такой потенциал, при котором только не возникает разряд. Если теперь в окружающем газе произвести даже самую слабую ионизацию хотя бы одной α -частицы, то разряд сразу возникнет на некоторый промежуток времени. В 1908 г. Резерфорд и Гейгер построили первый счетчик, работающий на этом принципе.

В 1912 г. Ч. Вильсон изобрёл камеру, названную его именем



1921 г. Ч. Вильсон.
Нобелевская премия по физике

За открытие метода, делающего видимыми траектории заряженных частиц с помощью конденсации пара

Н. Бор. Э.Резерфорд – основоположник науки о ядре

Незадолго перед тем Вильсон, применив остроумный метод, использующий камеру, наполненную насыщенными парами, получил свои первые фотографии треков α -частиц, на которых были отчетливо видны резкие изломы, хотя обычные треки α -частиц представляли собой замечательно прямые линии. Конечно, Резерфорд очень хорошо понимал, что это за явление, так как всего лишь за несколько месяцев до того именно оно привело его к открытию, положившему начало новой эпохи, - открытию атомного ядра. Однако возможность увидеть собственными глазами столь тонкие детали поведения α -лучей оказалась удивительной даже для него и доставила ему необыкновенную радость.

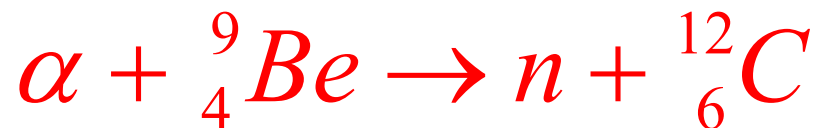
1932 г. Дж. Чадвик. Открытие нейтрона (воспоминания)

«Однажды утром я прочел письмо Жолио-Кюри в «Comptes Rendus», в котором он сообщал о еще более удивительном свойстве излучения из бериллия, чрезвычайно поразительном свойстве. Спустя несколько минут в мою комнату вошел столь же удивленный, как и я, [Норман] Фезер, чтобы обратить мое внимание на эту статью. В то же утро, чуть позднее, я рассказал о ней Резерфорду. По давно уже установившейся традиции я должен был приходить к нему около 11 часов и докладывать интересные новости, а также обсуждать состояние работ в нашей лаборатории. По мере того как я рассказывал о наблюдениях Жолио-Кюри и их истолковании, **я замечал нарастающее изумление Резерфорда; наконец, разразился взрыв: «Я не верю этому!»** Столь нетерпимое замечание было совершенно не в духе Резерфорда, за все многолетнее сотрудничество с ним **я не помню подобного случая.** Отмечаю это лишь для того, чтобы подчеркнуть электризирующее воздействие статьи Жолио-Кюри. Разумеется, Резерфорд признавал, что придется поверить этим наблюдениям, но объяснение их — это уже совсем иное дело.

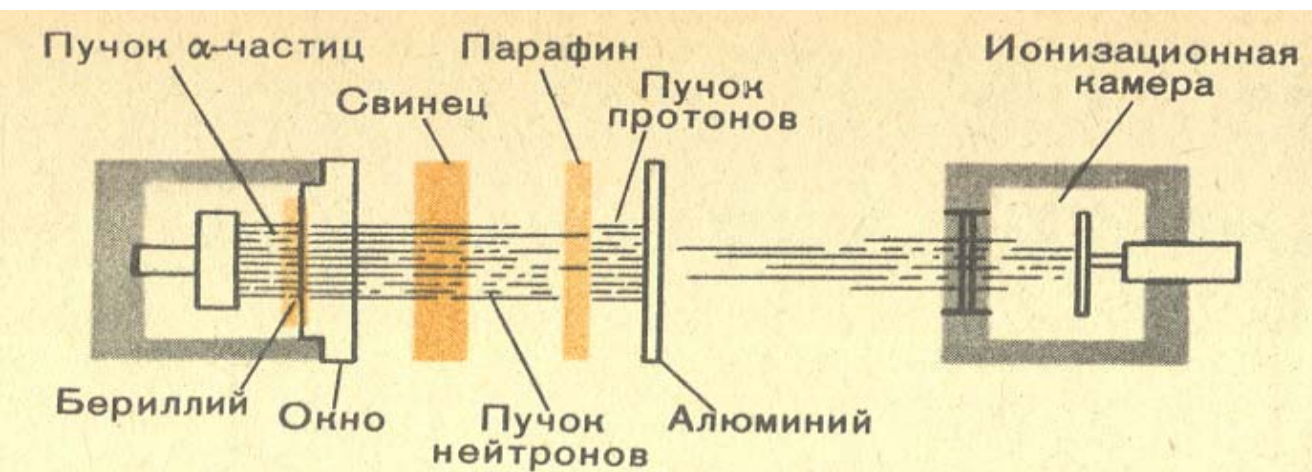
Так случилось, что я был как раз готов начать эксперимент, для которого приготовил превосходный источник полония из балтиморского материала (использовалась радоновая трубка, привезенная обратно Фезером). Я начинал без всякой предвзятости, хотя, естественно, мои мысли вертелись вокруг нейтронов. Я был вполне уверен, что наблюдения Жолио-Кюри нельзя свести к эффекту тина комptonовского, так как я не раз пытался обнаружить его. Без сомнений, это было нечто совершенно новое и необычное. Несколько дней напряженной работы оказалось достаточно, чтобы показать, что эти странные эффекты вызывались нейтральной частицей; мне удалось даже измерить ее массу. **Нейтрон, постулированный Резерфордом в 1920 г., наконец-то дал себя обнаружить».**

Открытие нейтрона

1932 - Нейтрон



James Chadwick
(1891-1974)

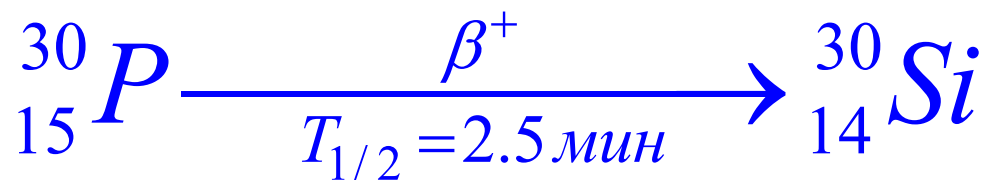
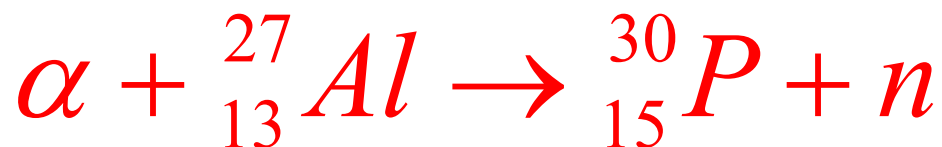


Нобелевская премия по физике

1935 г. – Дж.Чедвик
За открытие нейтрона

1933

Искусственная радиоактивность



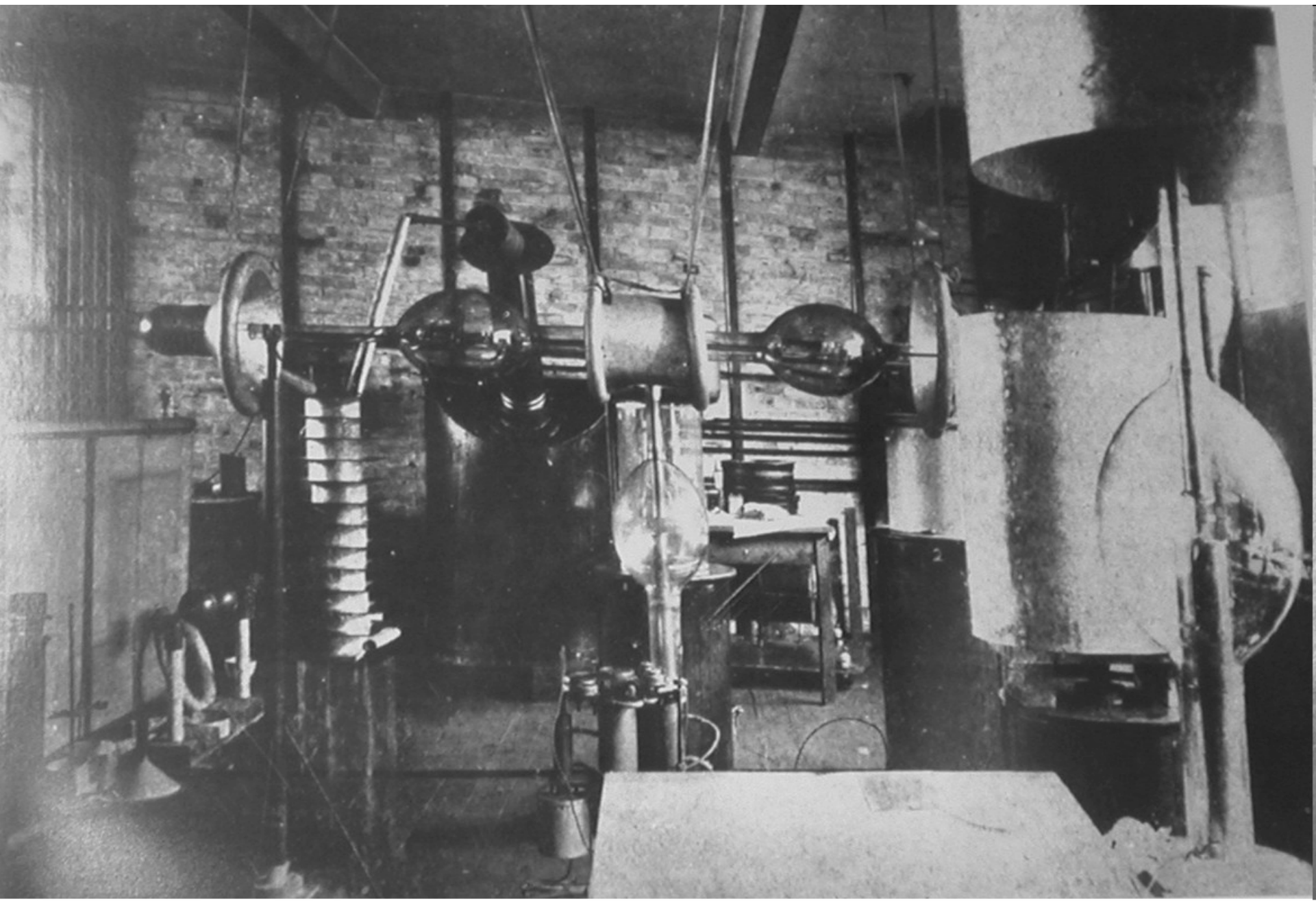
Irene and Frederic
Joliot-Curie

Нобелевская премия по химии

1935 г. – Ф. Жолио-Кюри, И. Жолио-Кюри

**За открытие искусственной радиоактивности и синтез
новых радиоактивных элементов**

1930 г. Ускоритель Кокрофта-Уолтона



1932 г. Д. Кокрофт и Э. Уолтон ускоренными протонами расщепили ядра бора и лития



Д. Кокрофт



Э. Уолтон

1951 г. Д. Кокрофт и Э. Уолтон. Нобелевская премия по физике

За пионерскую работу по трансмутации атомных ядер с помощью искусственно ускоренных атомных частиц.

Из письма Э. Резерфорда Н. Бору.

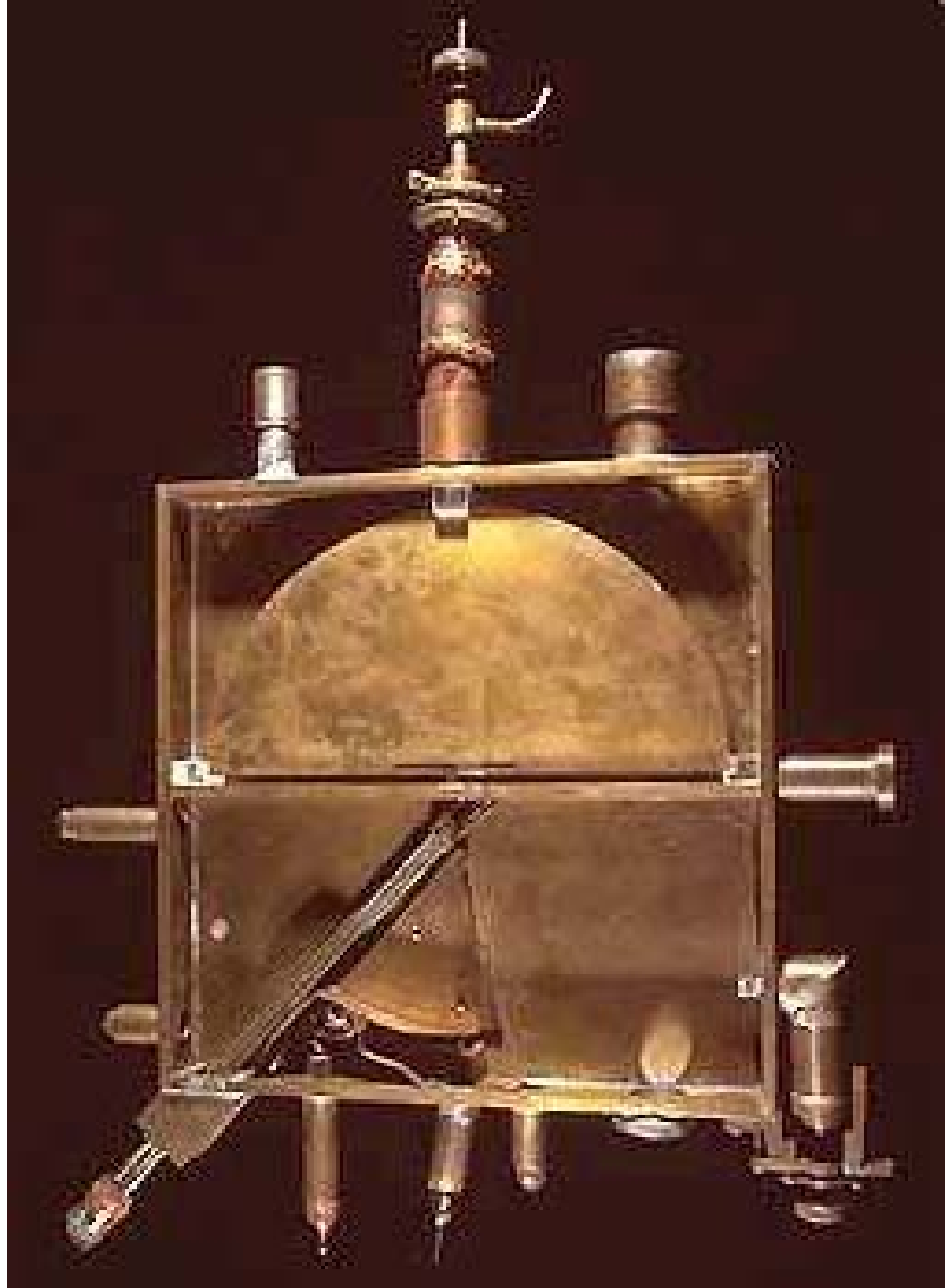
21 апреля 1932 г.

Дорогой Бор!

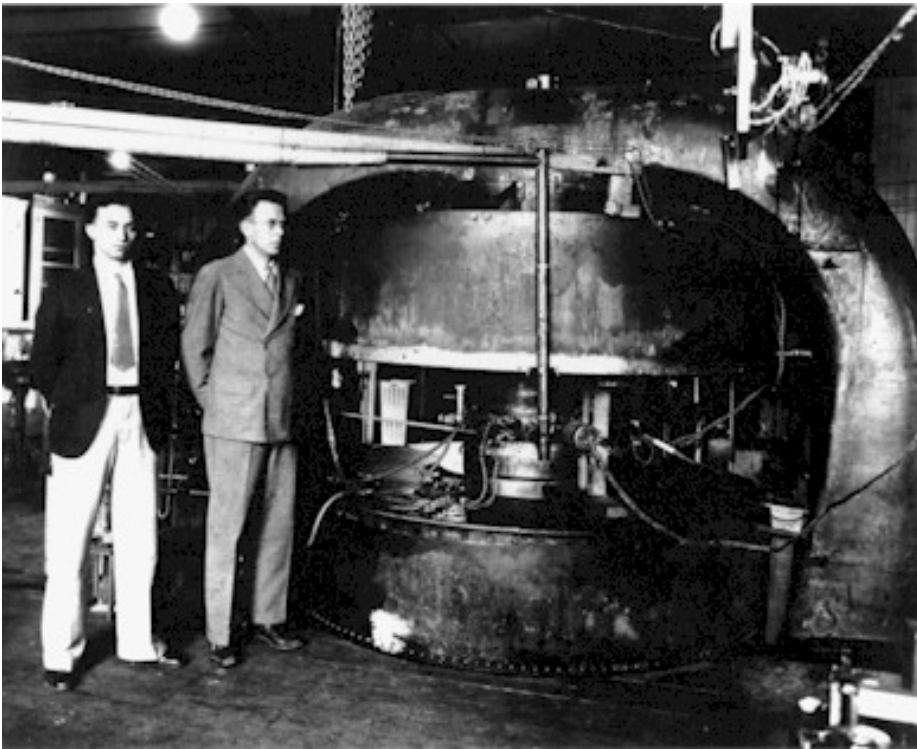
<...> у меня есть для вас интересные новости, краткое сообщение о которых должно появиться в “Nature” на следующей неделе. Вы знаете, что у нас есть лаборатория высоких напряжений, где устойчивое постоянное напряжение может быть доведено до 600000 вольт и выше. Там недавно исследован эффект бомбардировки легких элементов протонами. Протоны падали на поверхность материала, расположенного под 45° к оси трубки, а вызываемые эффекты наблюдались сбоку сцинтилляционным методом, - экран из сернистого цинка был покрыт достаточно толстым слоем слюды, чтобы задержать протоны. В случае лития наблюдались яркие сцинтилляции, начиная примерно с 125000 вольт, которые быстро нарастали с увеличением напряжения вплоть до многих сотен в минуту при значении протонного тока в несколько миллиампер. По-видимому, α -частицы имели определенную длину пробега, практически не зависимую от напряжения и равную в воздухе около 8 см. **Самое простое предположение, которое можно было сделать, состояло в том, что литий-7, захватывая протон, разламывается и при этом испускает пару обычных α -частиц.** Принимая эту точку зрения, можно показать, что полное значение высвобождаемой энергии составляет около 16 миллионов электронов-вольт, и это дает правильный порядок для происходящих изменений в массах, если допустить справедливость закона сохранения энергии.

Позже будут поставлены специальные опыты, чтобы проверить природу частиц, но по яркости сцинтилляций и следам в камере Вильсона представляется весьма вероятным, что это α -частицы. В опытах, проведенных в самые последние дни, **аналогичные эффекты наблюдались у бора и фтора, однако пробег частиц меньше, хотя они также похожи на α -частицы. Возможно, бор-11 захватывает протон и раскалывается на три α -частицы, тогда как фтор разламывается на кислород и α -частицу.** Баланс энергии находится примерно в соответствии с этими выводами. Я не сомневаюсь, что вас очень заинтересуют эти новые результаты, которые мы надеемся в ближайшем будущем расширить.

1929 г.
Первый циклотрон Лоуренса



В 1929 г. Э. Лоуренс предложил идею циклотрона



1933 г. С. Ливингстоун и Э. Лоуренс у 27-дюймового циклотрона



Э. Лоуренс

1939 г. Э. Лоуренс. Нобелевская премия по физике

За изобретение и создание циклотрона и за результаты полученные на нём, в особенности, связанные с искусственными радиоактивными элементами.

1919 г. Ф. Астон построил масс-спектрограф с высокой разрешающей способностью и предложил электромагнитный метод разделения изотопов



Френсис Астон, Эрнст Резерфорд,
Арнольд Зоммерфельд, Луи Брюэллен

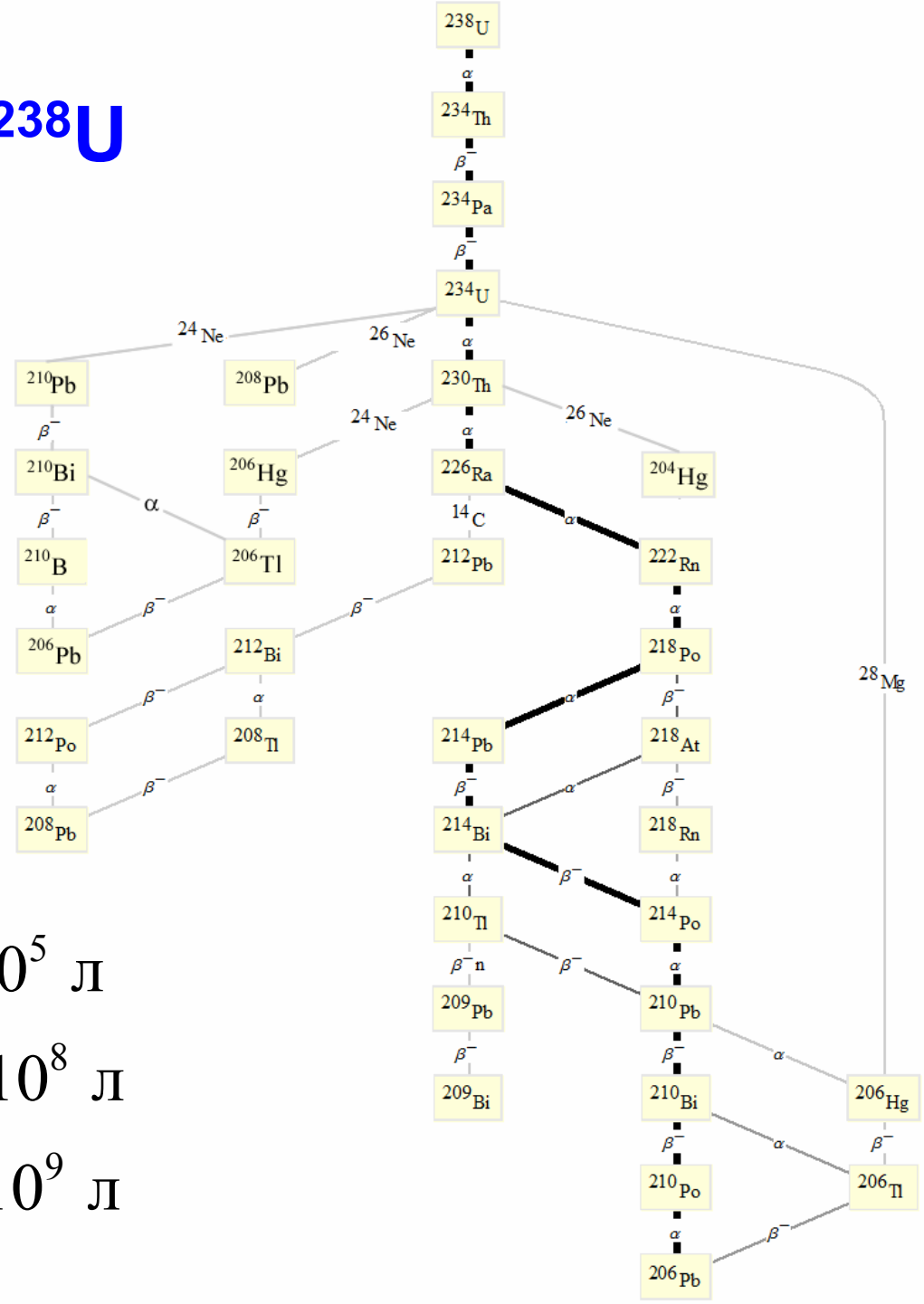
Очевидные отступления от правильной последовательности атомных весов элементов, расположенных соответственно их химическим свойствам, указывают на то, что даже у устойчивых элементов не следует ожидать однозначной связи зарядов с их массой.

Изотопы хлора.

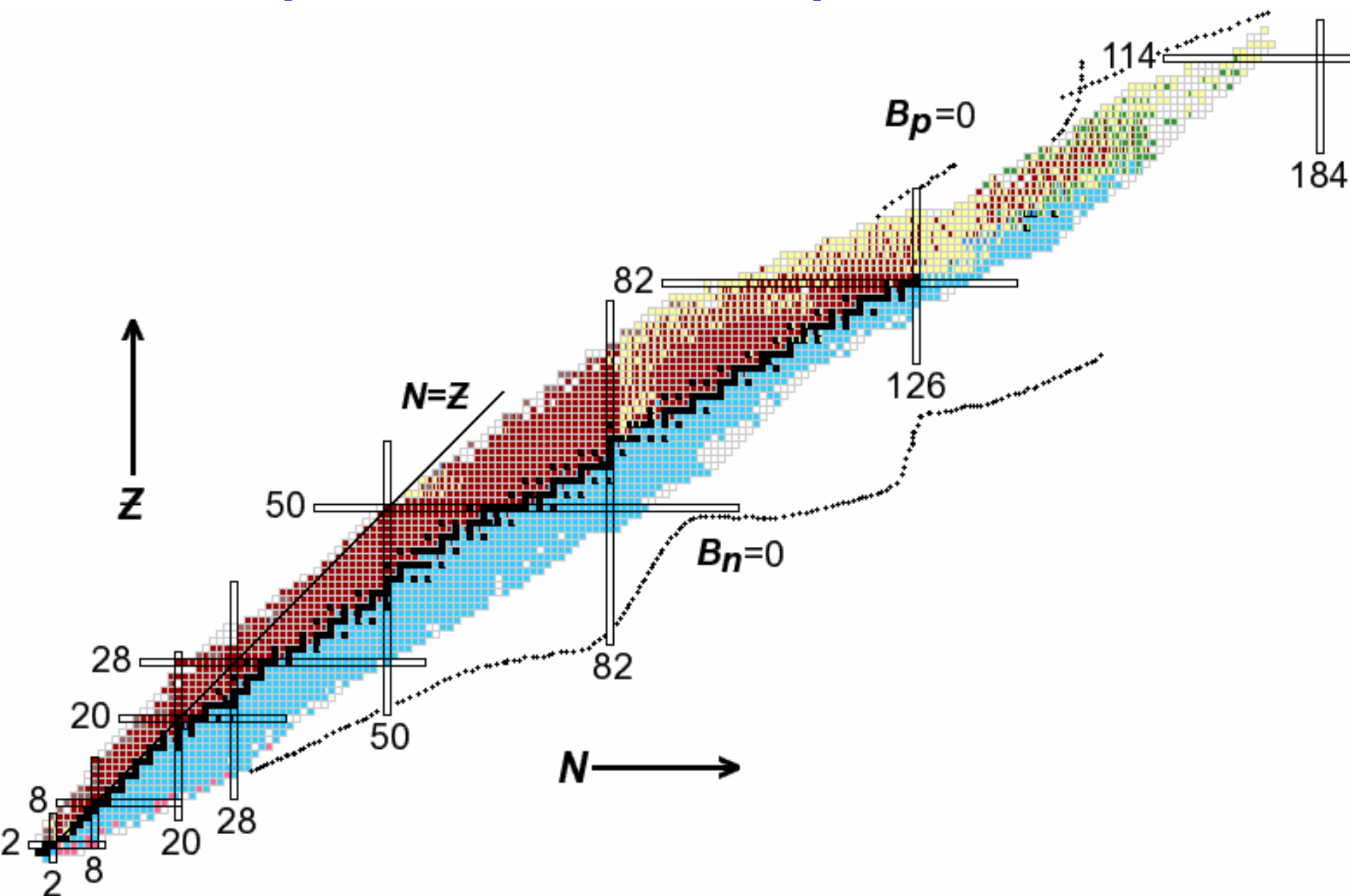
1922 г. Ф. Астон. Нобелевская премия по химии

За открытие большого количества стабильных изотопов и изучение их свойств.

Распад изотопа ^{238}U


$$^{234}\text{U} \quad 0,0054\% \quad 2,4 \cdot 10^5 \text{ л}$$
$$^{235}\text{U} \quad 0,72\% \quad 7,04 \cdot 10^8 \text{ Л}$$
$$^{238}\text{U} \quad 99,27\% \quad 4,47 \cdot 10^9 \text{ л}$$

N-Z диаграмма атомных ядер



Деление ядер. История

1934 г. — Э. Ферми, облучая уран тепловыми нейтронами, обнаружил среди продуктов реакции радиоактивные ядра.

1939 г. — О. Ган и Ф. Штрассман обнаружили среди продуктов реакций барий.

Л. Мейтнер и О. Фриш впервые объявили, что под действием нейтронов происходило деление урана.

Н. Бор и Дж. Уилер дали количественную интерпретацию деления ядра, введя параметр деления.

Я. Френкель разработал капельную теорию деления ядер медленными нейтронами.

Л. Сцилард, Э. Вигнер, Э. Ферми, Дж. Уилер, Ф. Жолио-Кюри, Я. Зельдович, Ю. Харитон обосновали возможность протекания в уране цепной ядерной реакции деления.

Сцилард в 1934 г. Выдвинул идею цепной ядерной реакции.

1940 г. — Г. Флеров и К. Петржак открыли явление спонтанного деления ядер ^{235}U .

Деление ядер

С 1934 г. Э.Ферми стал применять нейтроны для бомбардировки атомов. С тех пор количество устойчивых или радиоактивных ядер, полученных путем искусственного превращения, возросло до многих сотен, и почти все места периодической системы заполнились изотопами.

Атомы, возникающие во всех этих ядерных реакциях, занимали в периодической системе то же место, что и бомбардированный атом, или соседние места. Поэтому произвело большую сенсацию доказательство Ганом и Штрассманом в 1938 г. того, что при обстреле нейтронами последнего элемента периодической системы — урана — происходит распад на элементы, которые стоят в средних частях периодической системы. Здесь выступают различные виды распада. Возникающие атомы в большинстве своем неустойчивы и тотчас же распадаются дальше; у некоторых время полураспада измеряется секундами, так что Ган должен был применить аналитический метод Кюри для продления такого быстрого процесса. Важно отметить, что стоящие перед ураном элементы, протактиний и торий, также обнаруживают подобный распад под действием нейтронов, хотя для того, чтобы распад начался, требуется более высокая энергия нейтронов, чем в случае урана. Наряду с этим в 1940 г. Г. Н. Флеров и К. А. Петржак обнаружили спонтанное расщепление уранового ядра с самым большим из известных до тех пор периодом полураспада: около $2 \cdot 10^{15}$ лет; этот факт становится явным благодаря освобождающимся при этом нейтронам. Так явилась возможность понять, почему «естественная» периодическая система заканчивается тремя названными элементами. Теперь стали известны трансурановые элементы, но они настолько неустойчивы, что быстро распадаются.

Расщепление урана посредством нейтронов дает теперь возможность того использования атомной энергии, которое уже многим мерещилось, как «мечта Жюль Верна».

Типы радиоактивного распада ядер

Тип радиоактивности ядер	Тип испускаемых частиц	Год открытия	Авторы открытия
Радиоактивность атомных ядер	Излучение, вызвавшее потемнение фотопластинок	1896	A. Becquerel
Альфа-распад	${}^4\text{He}$	1898	E. Rutherford
β^- -распад	$e^- \bar{\nu}$	1898	E. Rutherford
β^+ -распад	$e^+ \nu$	1934	I. et F. Joliot-Curie
е-захват	ν	1938	L. Alvarez
Гамма-распад	γ -квант	1900	P. Villard
Ядерная изомерия	γ , е-захват, β^+ , β^- , деление	1921	O. Hahn
Спонтанное деление	Два осколка сравнимой массы	1940	Г.Н. Флеров, К.А. Петржак
Двойной β -распад	$e^- e^- 2\bar{\nu}_e$	1950	M.G. Ingram, J.H. Reynolds
Протонная радиоактивность	p	1981	S. Hofmann
Кластерная радиоактивность	${}^{14}\text{C}$	1984	H. Rose, G. Jones, Д.В. Александров
Двухпротонная радиоактивность	2p	2002	J. Giovinazzo, B. Blank et al. M.Pfutzner, E.Badura et al.

Нобелевские лауреаты по физике. Ядерная физика

1903 г. — **А. Беккерель**

За открытие радиоактивности.

— **П. Кюри и М. Склодовская-Кюри**

За исследования радиоактивности.

1927 г. — **Ч. Вильсон**

За создание метода, делающего видимыми траектории заряженных частиц с помощью конденсации пара.

1935 г. — **Дж. Чедвик**

За открытие нейтрона.

1936 г. — **К. Андерсон**

За открытие позитрона.

1938 г. — **Э. Ферми**

За демонстрацию существования новых радиоактивных элементов, полученных с помощью нейтронного облучения, и за открытие реакций, вызванных медленными нейтронами.

1939 г. — **Э. Лоуренс**

За изобретение и создание циклотрона и за результаты, полученные на нем, в особенности связанные с искусственными радиоактивными элементами.

1945 г. — **В. Паули**

За открытие принципа Паули.

1948 г. — **П. Блэккетт**

За усовершенствование камеры Вильсона и открытия, сделанные с её помощью в области ядерной физики и космических лучей.

Нобелевские лауреаты по физике. Ядерная физика

1949 г. — **Х. Юкава**

За предсказание существования мезонов на основе теоретических работ по ядерным силам.

1950 г. — **С. Пауэлл**

За создание фотографического метода исследования ядерных процессов и открытие мезонов, сделанное с помощью этого метода.

1951 г. — **Дж. Кокрофт и Э. Уолтон**

За пионерскую работу по трансмутации атомных ядер с помощью искусственно ускоренных атомных частиц.

1952 г. — **Ф. Блох и Э. Парселл**

За создание новых методов точных ядерных магнитных измерений и связанные с ними открытия.

1954 г. — **В. Боте**

За метод совпадений и сделанные с его помощью открытия.

1959 г. — **Э. Сегре и О. Чемберлен**

За открытие антипротона.

1961 г. — **Р. Хофштадтер**

За пионерские исследования рассеяния электронов атомными ядрами и открытия, связанные со структурой нуклона.

— **Р. Мёссбауэр**

За исследования в области резонансного поглощения гамма-излучения и открытия в этой связи эффекта, носящего его имя.

Нобелевские лауреаты по физике. Ядерная физика

1963 г. — **Э. Вигнер**

За вклад в теорию атомного ядра и элементарных частиц, прежде всего, за открытие и применение фундаментальных принципов симметрии.

— **М. Гепперт-Майер и Г. Йенсен**

За разработку оболочечной модели атомного ядра.

1967 г. — **Г. Бете**

За вклад в теорию ядерных реакций, и особенно за открытие источников энергии звезд.

1975 г. — **О. Бор, Б. Моттельсон и Дж. Рейнуотер**

За открытие связи между коллективным и индивидуальным движением частиц в атомном ядре и создание на базе этой связи теории структуры атомного ядра.

1983 г. — **У. Фаулер**

За теоретические и экспериментальные исследования ядерных процессов важных при образовании химических элементов во Вселенной.

1994 г. — **Б. Брокхаус**

За создание нейтронной спектроскопии.

— **К. Шулл**

За создание метода нейтронной дифракции.

1995 г. — **Ф. Райнес**

За экспериментальное обнаружение нейтрино.

Нобелевские лауреаты по химии. Ядерная физика

1908 г. — **Э. Резерфорд**

За исследования по превращению элементов и химии радиоактивных веществ.

1911 г. — **М. Склодовская-Кюри**

За открытие элементов радия и полония, изучение свойств радия, получение радия в металлическом состоянии и осуществление экспериментов, связанных с радием.

1921 г. — **Ф. Содди**

За вклад в химию радиоактивных веществ и за исследование процессов образования и природы изотопов.

1922 г. — **Ф. Астон**

За сделанное им с помощью им же изобретенного масс-спектрографа открытие большого количества стабильных изотопов и формулирование правила целых чисел.

1935 г. — **Ф. Жолио-Кюри, И. Жолио-Кюри**

За открытие искусственной радиоактивности и синтез новых радиоактивных элементов.

1943 г. — **Д. Хевеши**

За использование изотопов как индикаторов при изучении химических процессов.

1944 г. — **О. Ган**

За открытие деления ядер тяжелых атомов.

1951 г. — **Э. Макмиллан, Г. Сиборг**

За открытия в области химии трансурановых элементов.

1960 г. — **У. Либби**

За метод использования углерода-14 для определения возраста в археологии, геологии, геофизике и других науках.

1991 г. — **Р. Эрнст**

За вклад в развитие метода ЯМР-спектроскопии высокого разрешения.

Благодарю за внимание!