

Микромир и Вселенная 2019

Природа материи

2 этапа развития физики

Классическая физика

Механика. Термодинамика. Электричество. Магнетизм

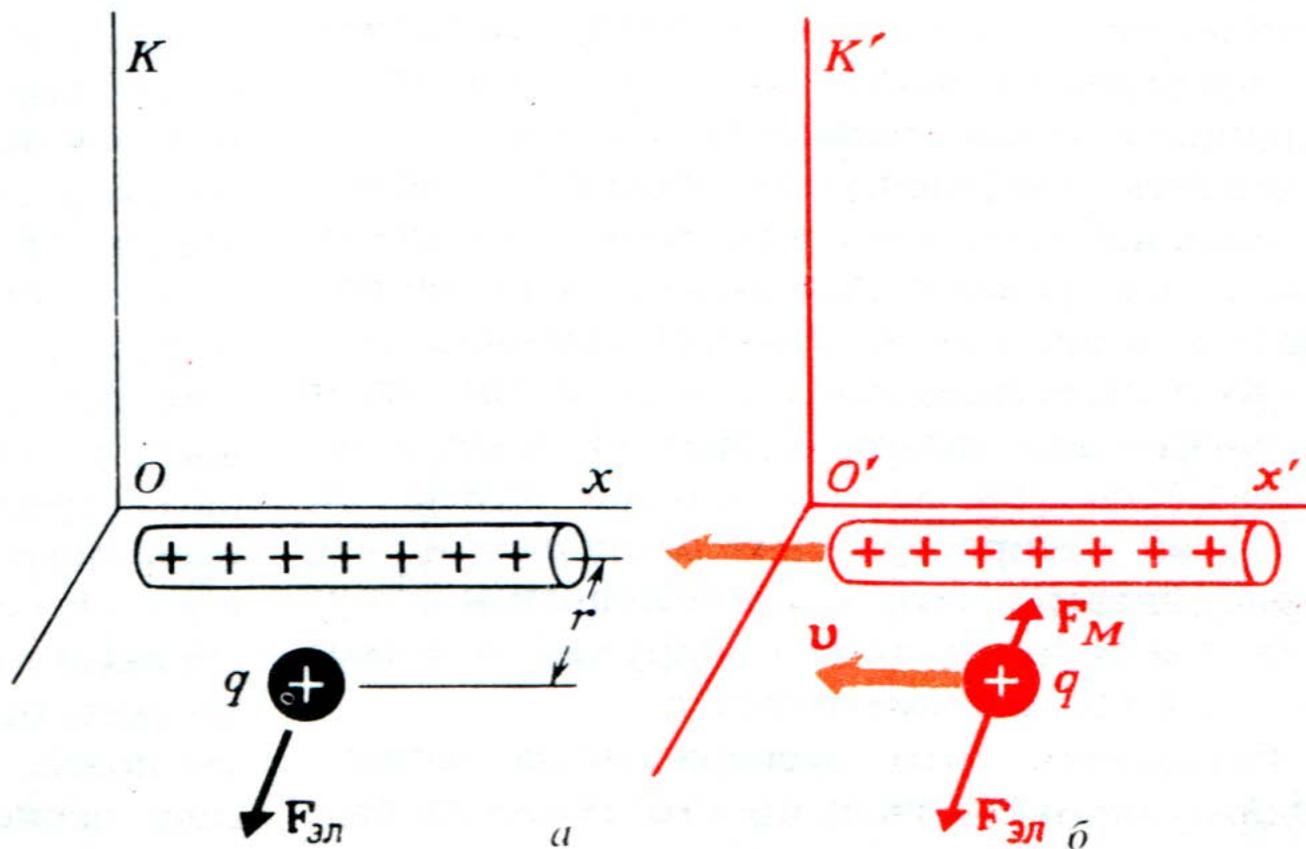
XX век

Современная физика.

Квантовая физика. Релятивистская физика

Классическая физика	Релятивистская физика $c = 3 \cdot 10^{10}$ см/сек
Квантовая физика $h = 4,1 \cdot 10^{-15}$ эВ/сек	Релятивистская квантовая физика

Преобразования Галилея и электромагнитные явления



Основываясь на принципе относительности классической механики, наблюдатели в системах отсчета K и K' приходят к разным результатам для результирующей силы, действующей на заряд q . Результирующая сила, действующая на заряд q в системе K' меньше силы, действующей в системе K .

Принцип относительности Галилея не выполняется в движущейся с постоянной скоростью системе зарядов и токов.

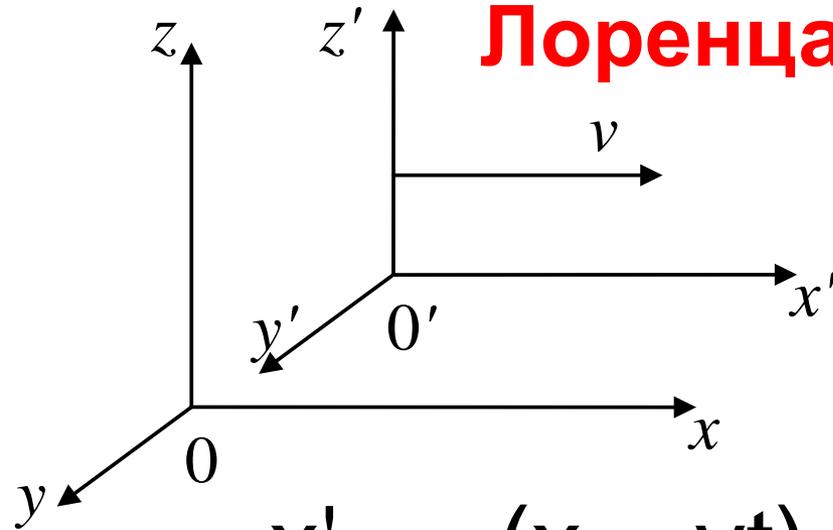
1638 г.

Преобразования Галилея

$$\begin{aligned}x' &= x - vt, \\y' &= y, \\z' &= z, \\t' &= t\end{aligned}$$

1904 г.

Преобразования Лоренца



$$\begin{aligned}x' &= \gamma(x - vt), \\y' &= y, \\z' &= z, \\t' &= \gamma(t - \beta x/c) \\ \beta &= \frac{v}{c}, \quad \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \beta^2}}\end{aligned}$$

1905 г. Постулаты Эйнштейна



Альберт Эйнштейн
1879 – 1955

$$v = \frac{v_1 + v_2}{1 + \frac{v_1 v_2}{c^2}}$$

1. Все физические законы одинаковы во всех инерциальных системах отсчета, движущихся относительно друг друга поступательно и равномерно.

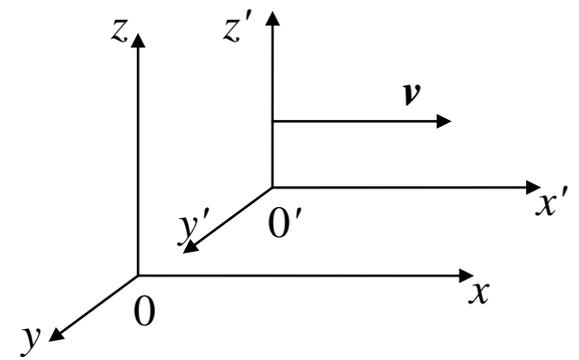
2. Скорость света в пустоте одинакова с точки зрения всех наблюдателей независимо от движения источника света относительно наблюдателя.

Четырехмерное пространство-время

К концу XIX века в физике возникла сложная ситуация. Классическая механика подтверждалась во всех экспериментах. Были многочисленные подтверждения теории электромагнетизма. Стало ясно, что свет представляет собой электромагнитные волны, описываемые уравнениями Максвелла. Считалось, что свет распространяется в особой среде, которая получила название эфира. Однако описание свойств эфира наталкивалось на многочисленные противоречия. Для его обоснования приходилось вводить противоречащие друг другу предположения.

1905 г. Создав теорию относительности, А. Эйнштейн отказался от механистической модели эфира и объединил две великие теории классической физики. Возникло новое понимание понятий пространства и времени. Мы живем не в трехмерном пространстве, в котором независимо измеряется время. Пространственные и временные координаты связаны и образуют **четырёхмерное пространство-время.**

Замедление времени



Интервал времени, измеренный в движущейся системе отсчета S' , длиннее интервала времени в покоящейся системе отсчета S .

$$t' = t \cdot \gamma = \frac{t}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$$

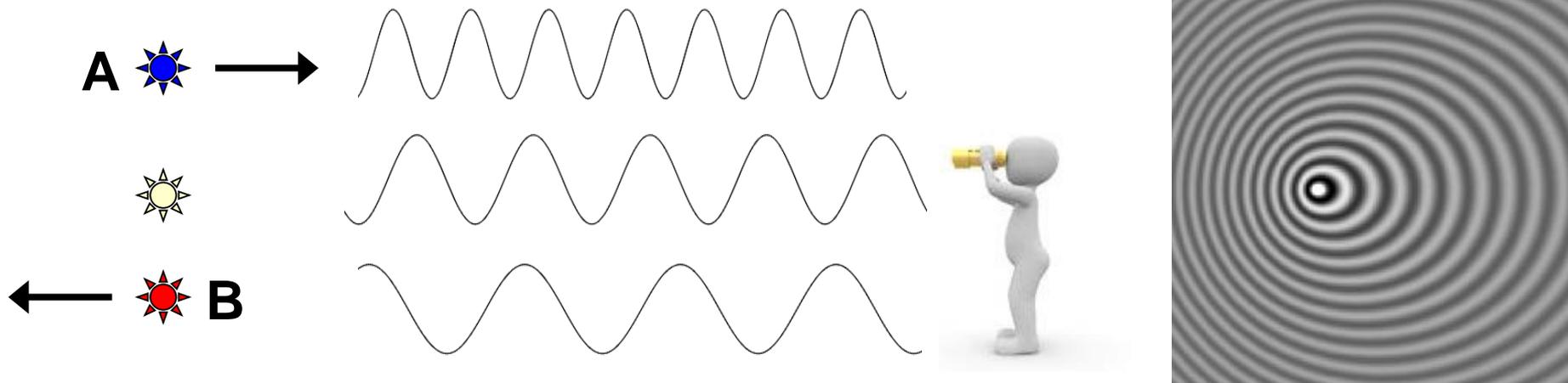
Сокращение длины

Размер линейки, движущейся параллельно своей оси в системе отсчета S' , короче размера линейки в покоящейся системе отсчета S .

$$l' = \frac{l}{\gamma} = l \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$$

1842 г. Эффект Доплера

Во всех инерциальных системах отсчета скорость света в вакууме постоянна и равна c . Существует ли различие в световых сигналах от неподвижного и движущегося источников? **Да.** Оно проявляется в эффекте Доплера. Свет, приходящий к наблюдателю от источника **A**, движущегося к наблюдателю, будет приходить с меньшей длиной волны (синее смещение). Свет, приходящий к наблюдателю от источника **B**, удаляющегося от наблюдателя, будет приходить с большей длиной волны (красное смещение).



Физика XX века



Альберт Эйнштейн
1879 – 1955

$$E = mc^2$$

Специальная теория
относительности

Классическая и релятивистская динамики

$$E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2}$$

$$p = mv$$

τ_0 - время жизни частицы
в системе покоя

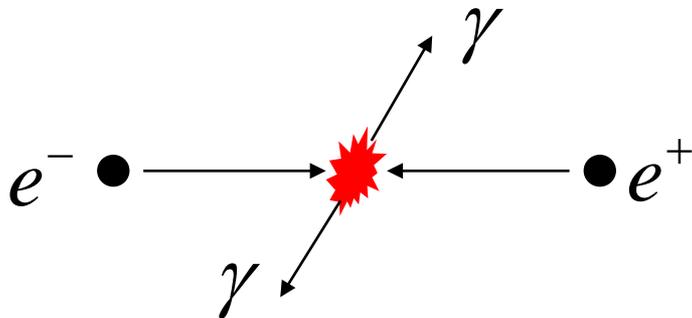
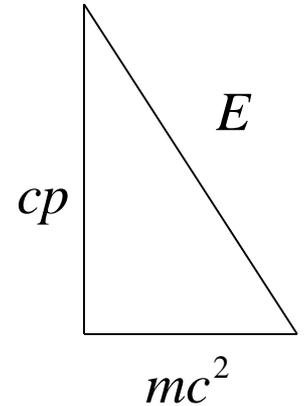
$$E^2 = c^2 p^2 + m^2 c^4$$

$$E_{\text{кин}} = E - mc^2$$

$$p = \frac{mc\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

$$t = \frac{t_0}{\sqrt{1-\beta^2}}$$

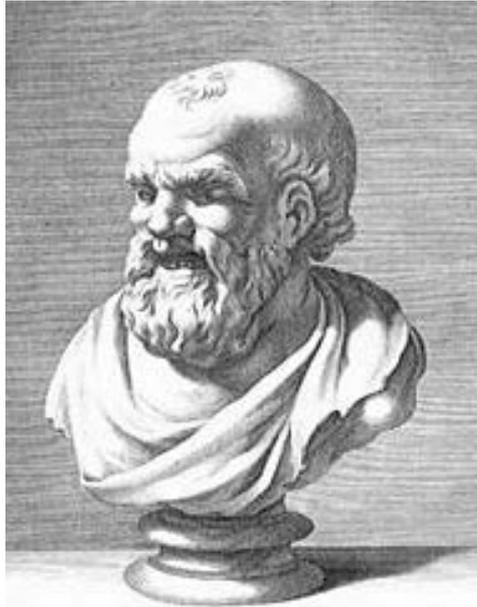
- время жизни частицы,
движущейся со скоростью β .



Частицы рождаются и умирают



Атом Демокрита



Демокрит
460 – 360 до н.э.

Проблема конечной и бесконечной делимости материи. Демокрит считал, что в процессе деления материи неизбежно достигается предел, дальше которого деление невозможно. Эти конечные частицы материи были названы Демокритом **атомами**. Он описал материю как систему атомов в пустоте. В результате столкновений между атомами может происходить их сцепление и образование различных веществ. Разные вещества образуются как из различных атомов, так и их последовательных комбинаций.

Химические элементы

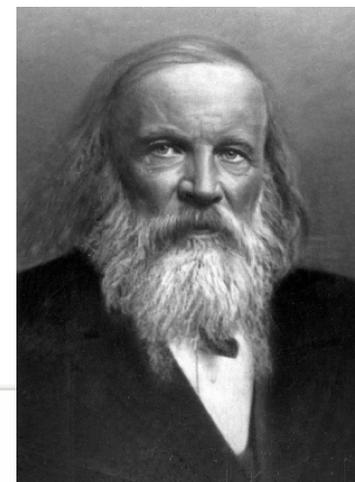
Одна из первых работ Лавуазье была посвящена выяснению вопроса, можно ли Воду превратить в Землю. Лавуазье принадлежит заслуга окончательного опровержения теории флогистона. Он показал, что горение не является реакцией разложения, в результате которой выделяется флогистон, а наоборот, является реакцией соединения горючего вещества с кислородом воздуха. Лавуазье заложил основы современной систематики химических элементов. Лавуазье показал в результате многочисленных реакций, что воздух – смесь двух газов, кислорода и азота. Лавуазье показал, что продуктом горения водорода является чистая вода. Согласно атомистической теории химический элемент рассматривается как вид атомов, имеющих определенные химические свойства.



Антуан Лавуазье
1743 – 1794

Периодическая система элементов

1869 г. Д. И. Менделеев



1834 – 1907

1H							2He		
3Li	4Be	5B	6C	7N	8O	9F	10Ne		
11Na	12Mg	13Al	14Si	15P	16S	17Cl	18Ar		
19K	20Ca	21Sc	22Ti	23V	24Cr	25Mn	26Fe	27Co	28Ni
29Cu	30Zn	31Ga	32Ge	33As	34Se	35Br	36Kr		
37Rb	38Sr	39Y	40Zr	41Nb	42Mo	43Tc	44Ru	45Rh	46Pd
47Ag	48Cd	49In	50Sn	51Sb	52Te	53I	54Xe		
55Cs	56Ba	La-Lu	72Hf	73Ta	74W	75Re	76Os	77Ir	78Pt
79Au	80Hg	81Tl	82Pb	83Bi	84Po	85At	86Rn		
87Fr	88Ra	Ac-Lr	104Rf	105Db	106Sg	107Bh	108Hs	109Mt	110Ds
111Rg	112Cn	113Nh	114Fl	115Mc	116Lv	117Ts	118Og		

Лантаноиды

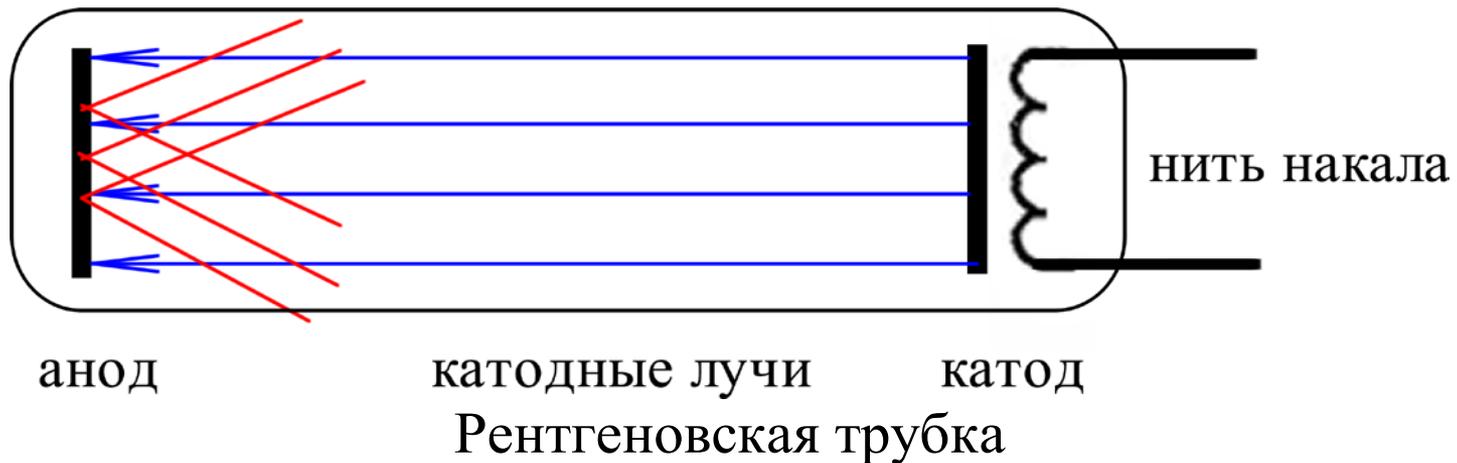
57La	58Ce	59Pr	60Nd	61Pm	62Sm	63Eu	64Gd	65Tb	66Dy	67Ho	68Er	69Tm	70Yb	71Lu
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

Актиноиды

89Ac	90Th	91Pa	92U	93Np	94Pu	95Am	96Cm	97Bk	98Cf	99Es	100Fm	101Md	102No	103Lr
------	------	------	-----	------	------	------	------	------	------	------	-------	-------	-------	-------

1895 г. Рентгеновские лучи

1895 г. В. Рентген открыл X-лучи, впоследствии названные его именем. Рентген обнаружил, что когда катодные лучи падают на стекло трубки или на мишень, внутри трубки возникает излучение, которое проникает через непрозрачные для обычного света материалы, воздействует на флюоресцирующие материалы и фотопластины.



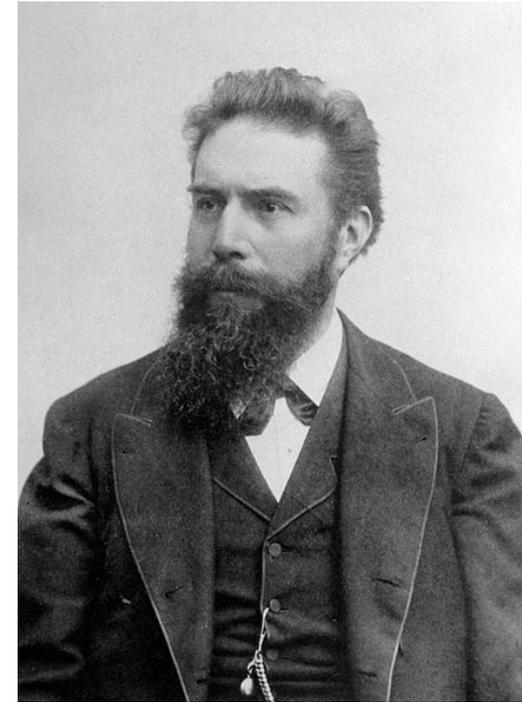
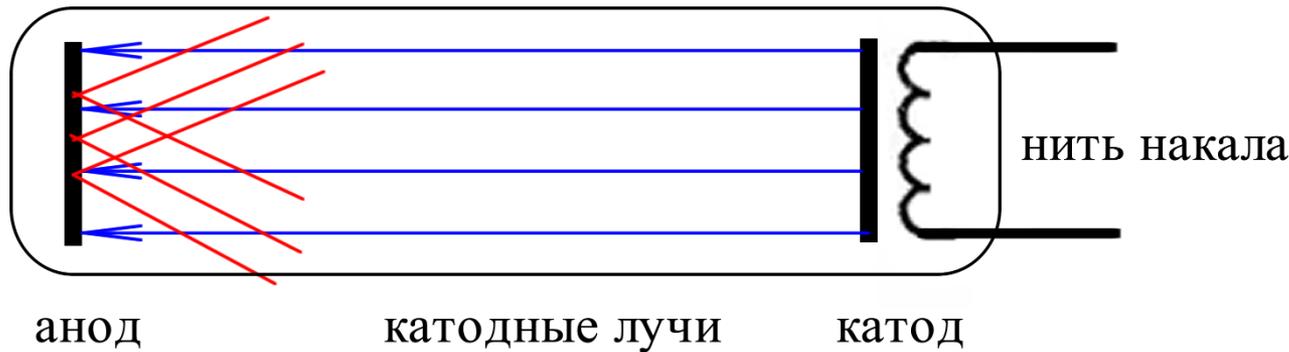
Длина волны рентгеновского излучения $3 \cdot 10^{-9} - 10^{-10}$ м.

Длина волны видимого излучения $4 \cdot 10^{-7} - 8 \cdot 10^{-7}$ м.

История атомного ядра

1895 г.

В. Рентген открыл X-лучи, позже названные его именем



Вильгельм Рентген
1845 – 1923

Нобелевская премия по физике

1901 г. - В. Рентген.

За открытие лучей, названных его именем

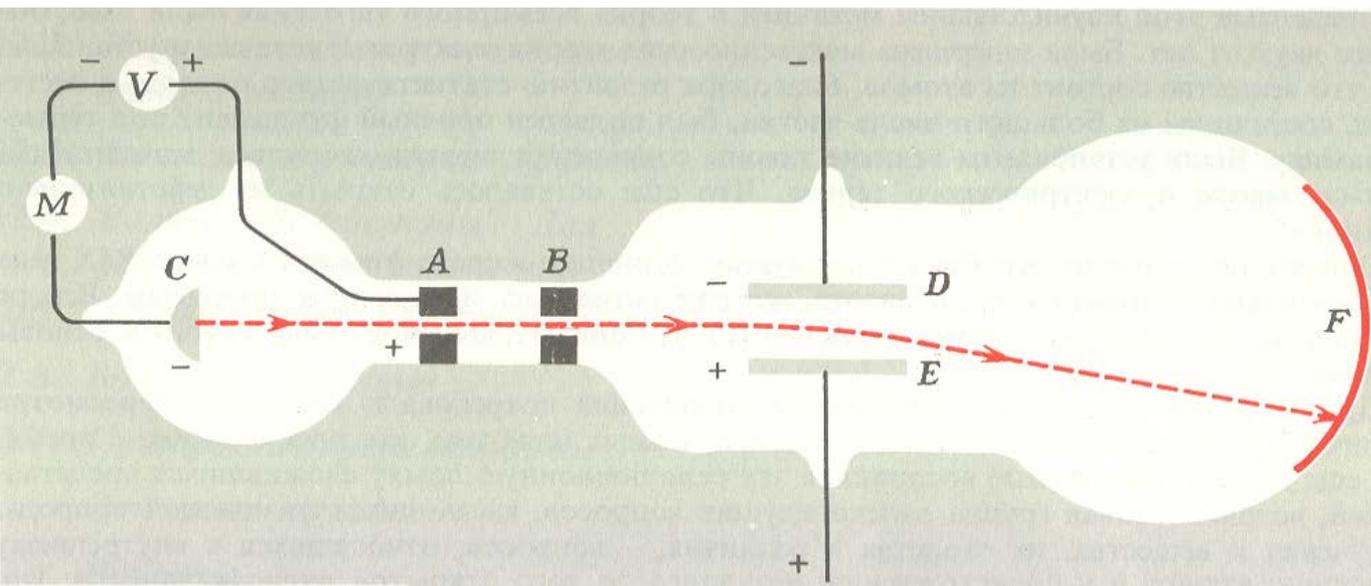
Дж. Дж. Томсон

1897 Электрон

1904 Модель атома



Дж. Дж. Томсон
1856 - 1940



Нобелевская премия по физике

1906 г. – Дж. Дж. Томсон

За большие заслуги в теоретических и экспериментальных исследованиях электрической проводимости газов

Дж. Томсон, 1898 г.: «Я считаю, что атом состоит из большого числа... корпускул [т.е. электронов]... В нормальном атоме это собрание корпускул образует систему, которая электрически нейтральна. Хотя отдельные корпускулы ведут себя подобно отрицательным ионам, однако, когда они собраны в нейтральном атоме, отрицательный эффект уравновешивается чем-то, что заставляет пространство, в котором находятся корпускулы, действовать так, как если бы оно обладало зарядом положительного электричества, равным по величине сумме отрицательных зарядов корпускул».



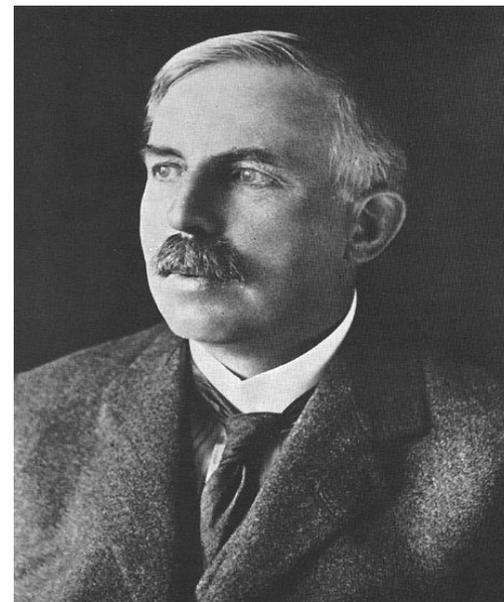
Дж. Дж. Томсон
1856 - 1940



Дж. Дж. Томсон
1856 - 1940

Дж. Томсон, 1904 г.: «Мы предполагаем, что атом состоит из некоторого числа [отрицательных] корпускул, движущихся внутри сферы с однородной положительной электризацией... Корпускулы располагаются по ряду концентрических оболочек. Постепенное изменение свойств, которое имеет место при перемещении вдоль горизонтальных рядов [периодической] системы элементов, иллюстрируется свойствами, которыми обладают эти группы корпускул».

Э. Резерфорд, 1936 г.: «Это было в 1897 г., когда из экспериментов, проведенных в основном нашим руководителем Дж. Дж. Томсоном, вытекало, что так называемые катодные лучи Крукса состоят из потока частиц очень малой массы, движущихся с очень большой скоростью. Я полагаю, что мы вправе приписать преимущественную роль в этом открытии Дж. Дж. Томсону, поскольку он был первым, кто отклонил эти частицы как в электрическом, так и в магнитном полях, и первым понял, что электрон должен быть составной частью всех атомов, а также придумал методы определения числа электронов в атоме»



Эрнест Резерфорд
1871 - 1937

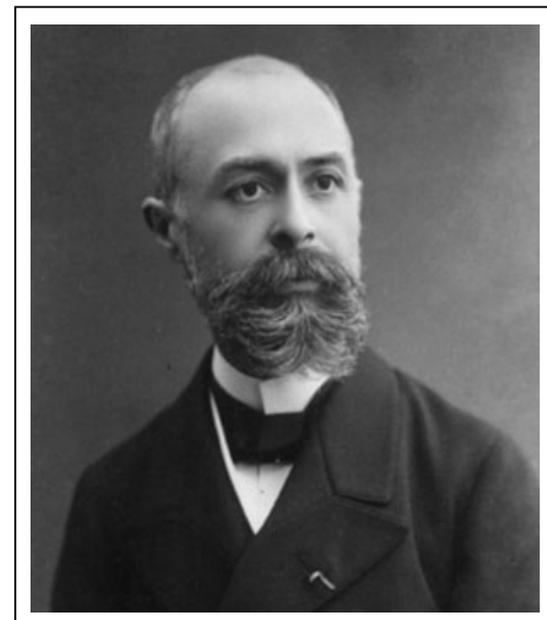
Из выступлений А. Беккереля на заседании Парижской академии наук

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».



Antoine Henri Becquerel
(1852–1908)

Радиоактивность

1898 г.

Мария и Пьер Кюри выделили и изучили радиоактивные элементы радий Ra ($Z=88$) и полоний Po ($Z=84$).

Нобелевская премия по физике

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

Нобелевская премия по химии

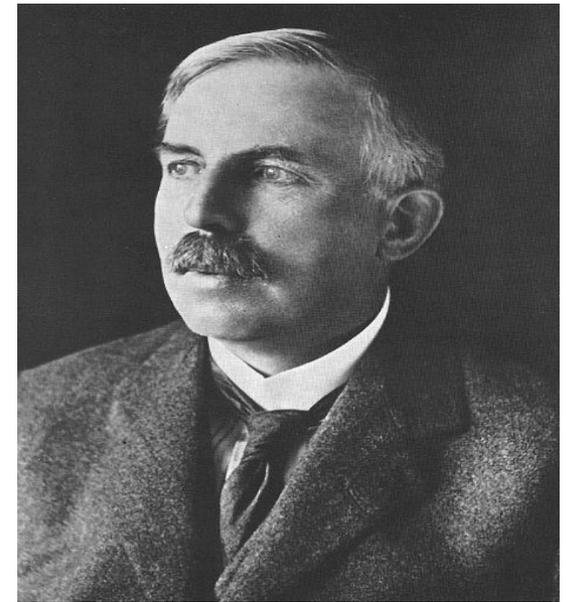
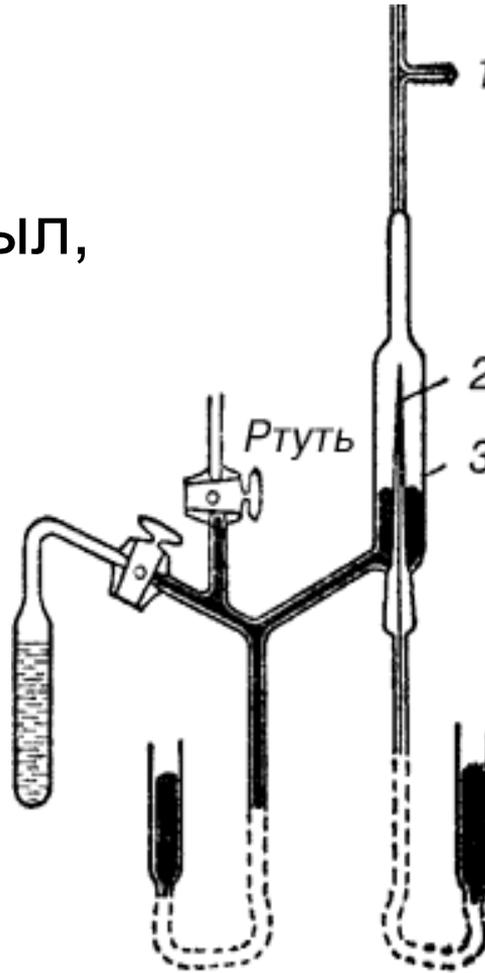
1911 г. – М. Кюри. За выдающиеся заслуги в развитии химии: открытие элементов радия и полония, выделение радия и изучение природы и соединений этого замечательного элемента



Мария и Пьер Кюри

1899 г.

Э. Резерфорд открыл, что уран излучает положительно заряженные α -частицы и отрицательно заряженные β -частицы.



Эрнест Резерфорд
1871 - 1937

Нобелевская премия по химии

1908 г. - Э. Резерфорд

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

1900 г.

П. Виллард открыл гамма-лучи при распаде изотопов урана.



**П. Виллард
1860 - 1934**

Классификация электромагнитных волн

<i>Название</i>	<i>Длина волны, м</i>	<i>Частота, Гц</i>
радиоволны	$3 \cdot 10^5 - 3$	$10^3 - 10^8$
микроволны	$3 - 3 \cdot 10^{-4}$	$10^8 - 10^{12}$
инфракрасное излучение	$3 \cdot 10^{-3} - 8 \cdot 10^{-7}$	$10^{11} - 4 \cdot 10^{14}$
видимый свет	$8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$	$4 \cdot 10^{14} - 8 \cdot 10^{14}$
ультрафиолетовое излучение	$4 \cdot 10^{-7} - 3 \cdot 10^{-9}$	$8 \cdot 10^{14} - 10^{17}$
рентгеновское излучение	$3 \cdot 10^{-9} - 10^{-10}$	$10^{17} - 3 \cdot 10^{18}$
гамма-излучение	$< 10^{-10}$	$> 3 \cdot 10^{18}$

1911 г. Опыты по рассеянию α -частиц

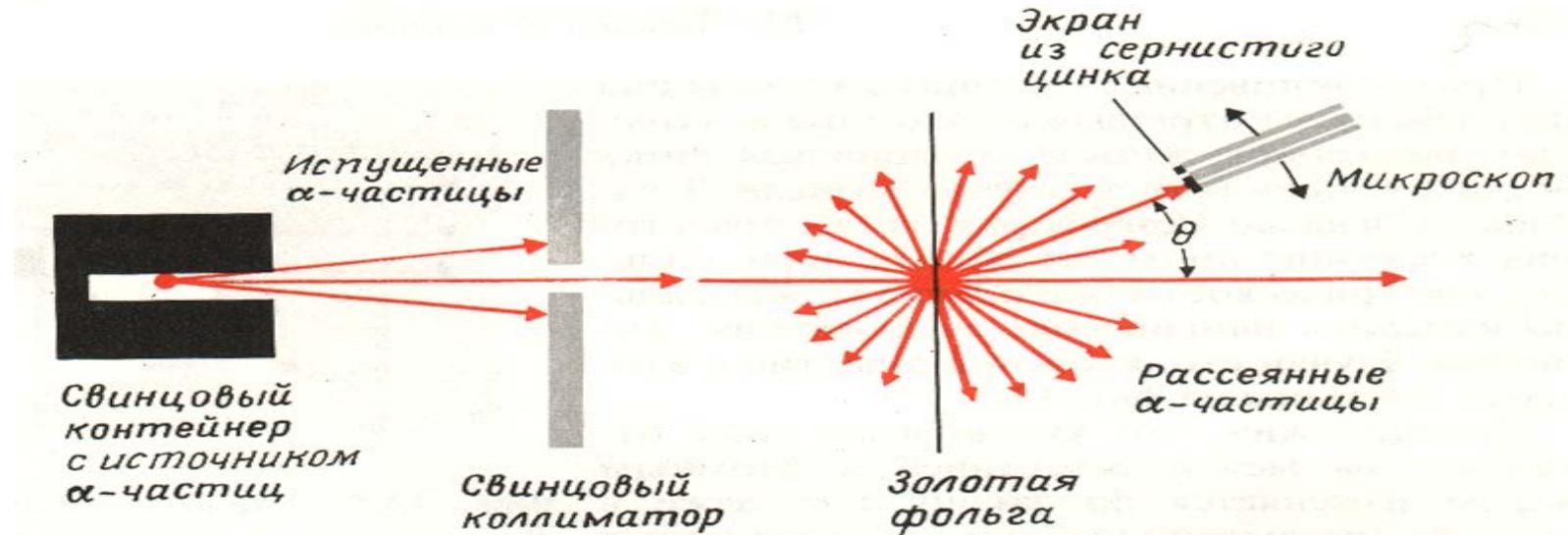
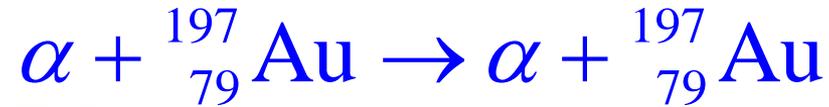
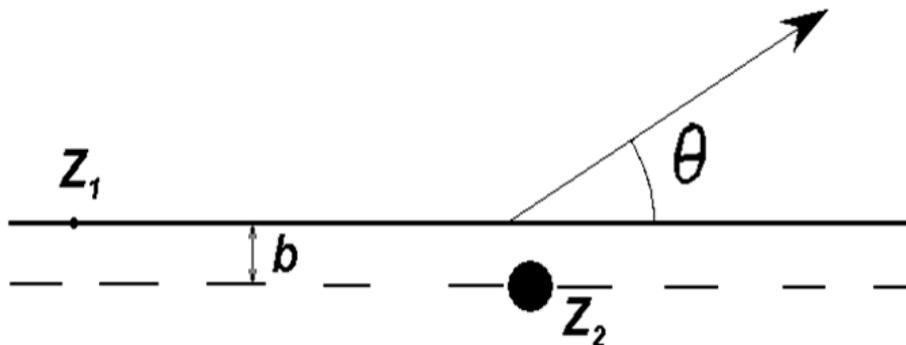


Схема эксперимента, в котором исследовалось рассеяние альфа-частиц

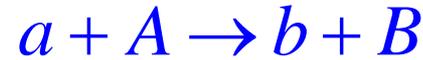


$$\operatorname{tg} \frac{\theta}{2} = \frac{Z_1 Z_2 e^2}{2bE}$$

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

Из опытов по рассеянию α -частиц следовало, что масса атома практически полностью сосредоточена в небольшой центральной части атома – атомном ядре.

Сечение реакции σ и число событий N



$$\frac{dN(\theta, \varphi)}{d\Omega} = j \cdot s \cdot n \cdot l \cdot \frac{d\sigma(\theta, \varphi)}{d\Omega}$$

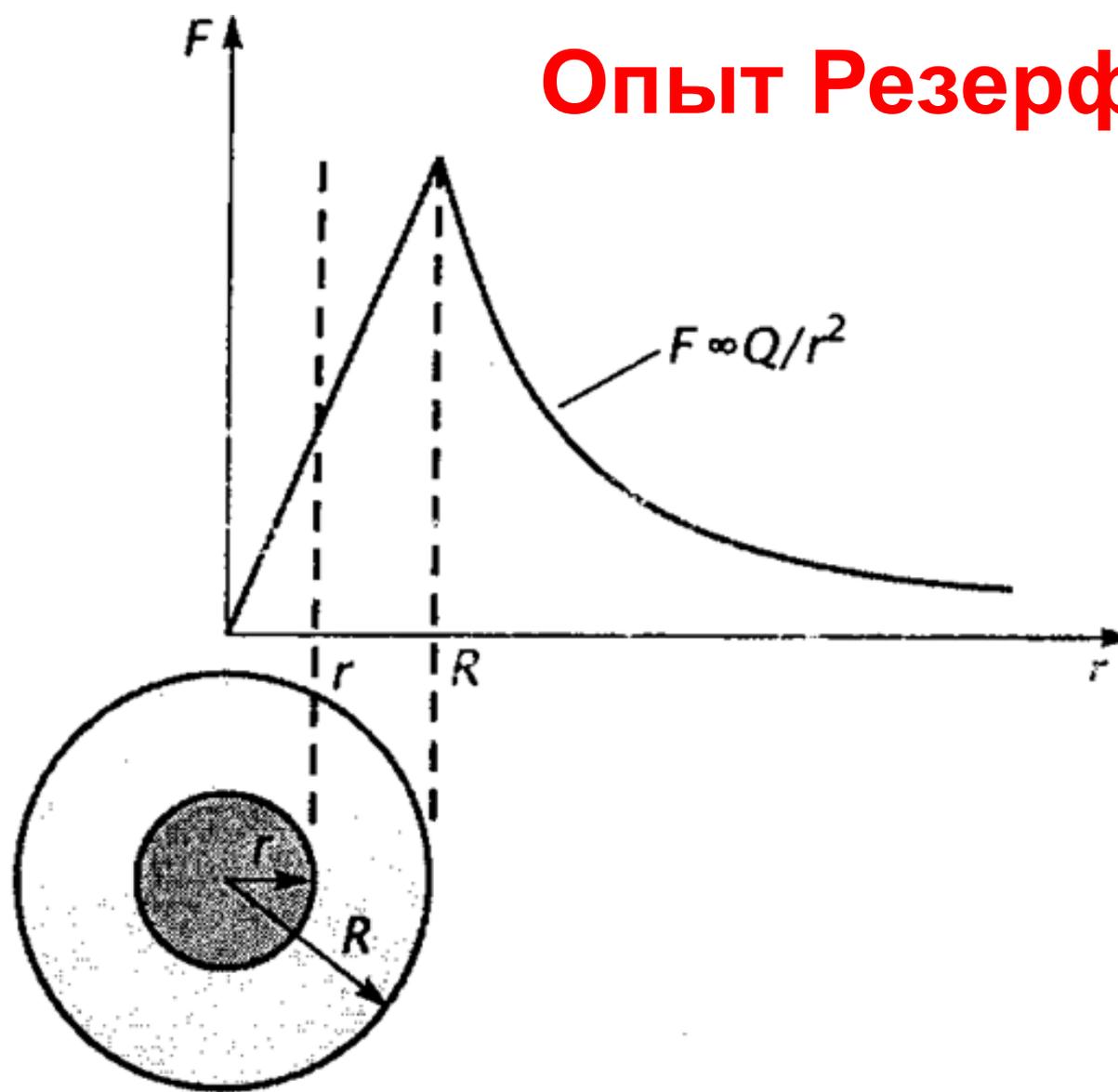
$$N = j \cdot n \cdot l \cdot s \cdot \sigma$$

- N – число событий в секунду.
- j – поток частиц a через 1 см^2 поверхности мишени.
- n – число частиц b в 1 см^3 мишени.
- s – площадь мишени в см^2
- l – толщина мишени
- σ – сечение реакции

$$\left| \frac{N}{\text{сек}} \right| = \left| \frac{j}{\text{сек} \times \text{см}^2} \right| \left| \frac{n}{\text{см}^3} \right| \left| \text{см} \right| \left| \text{см}^2 \right| \left| \text{см}^2 \right|$$

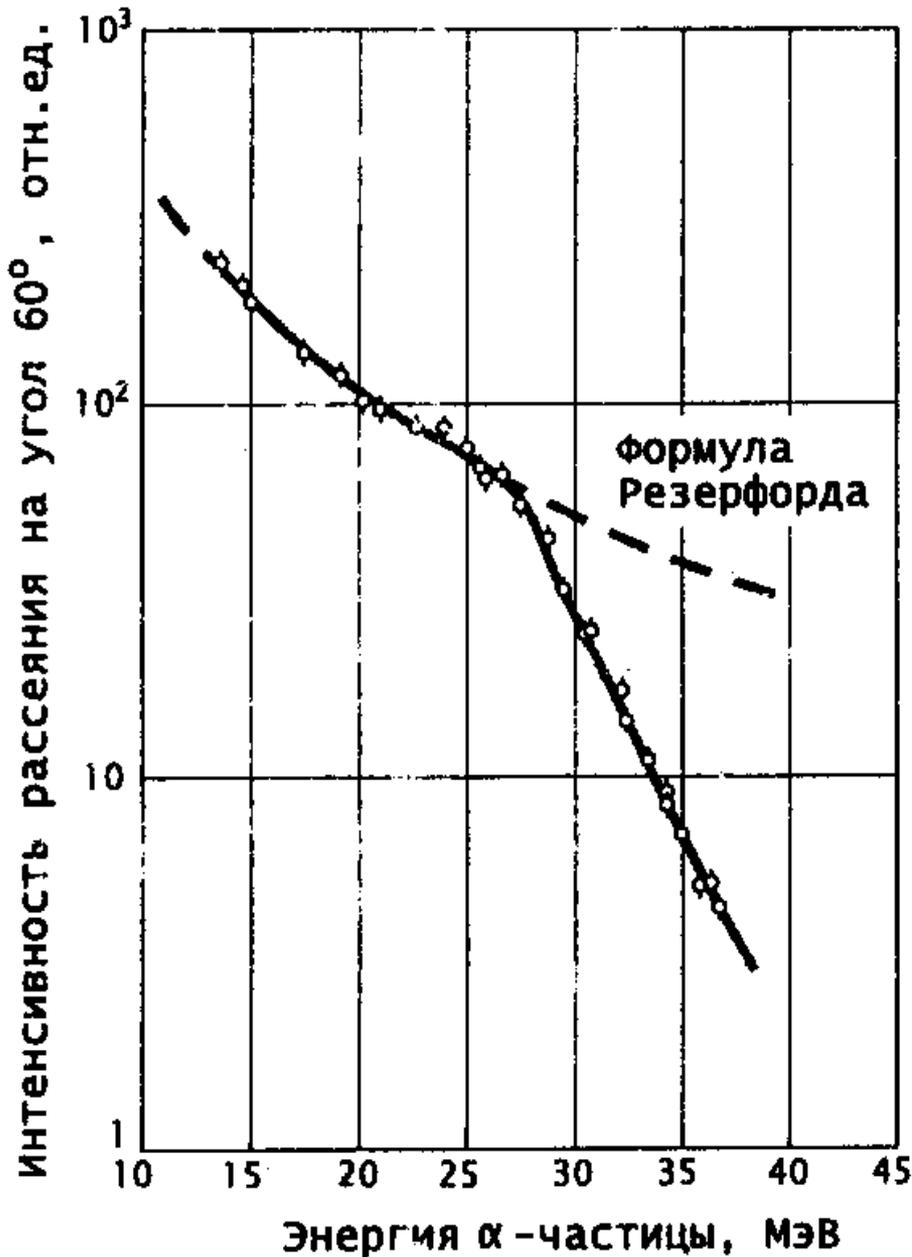
$N \qquad j \qquad n \qquad l \quad s \quad \sigma$

Опыт Резерфорда



Зависимость силы, действующей на точечный заряд, от расстояния r до центра однородно заряженной сферы радиусом R .

Размер атомного ядра

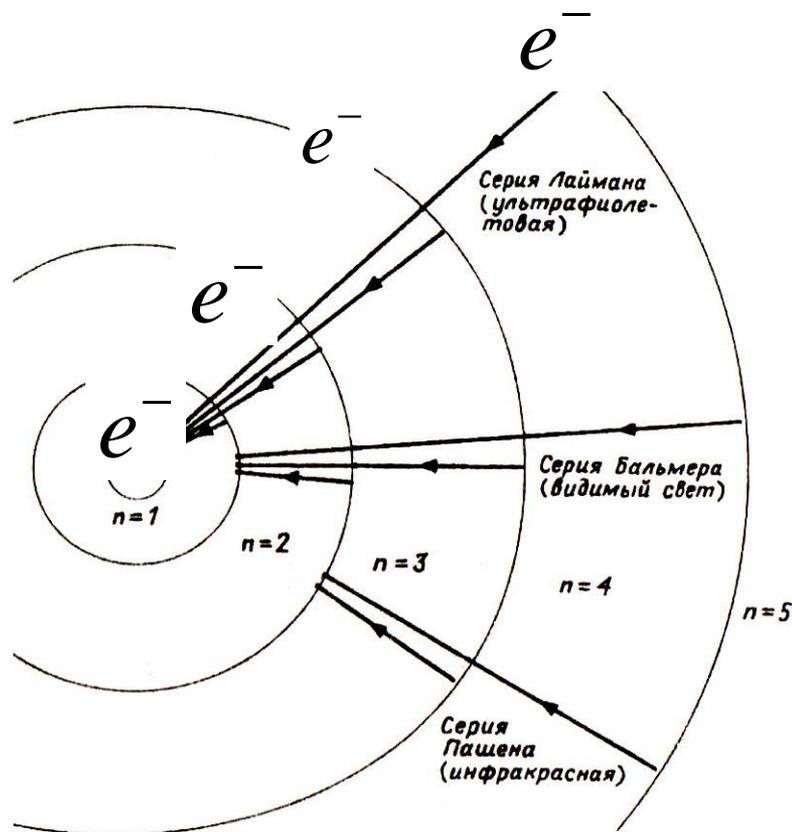


Бомбардирующие свинцовую мишень α -частицы рассеиваются в соответствии с формулой Резерфорда, если их энергия не превышает 27 МэВ. При больших энергиях α -частица настолько приближается к ядру Pb, что между нуклонами α -частицы и ядра Pb возникает взаимодействие посредством ядерных сил, и интенсивность рассеяния падает по сравнению с предсказываемой формулой Резерфорда.

$$R(\text{ядра}) \approx 1,3 \cdot A^{1/3} \cdot 10^{-13} \text{ см}$$

$$R(\text{Pb}) \approx 7 \text{ фм}$$

Модель атома Бора



Нильс Бор
1885 - 1962

Нобелевская премия по физике

1922 г. - Н. Бор.

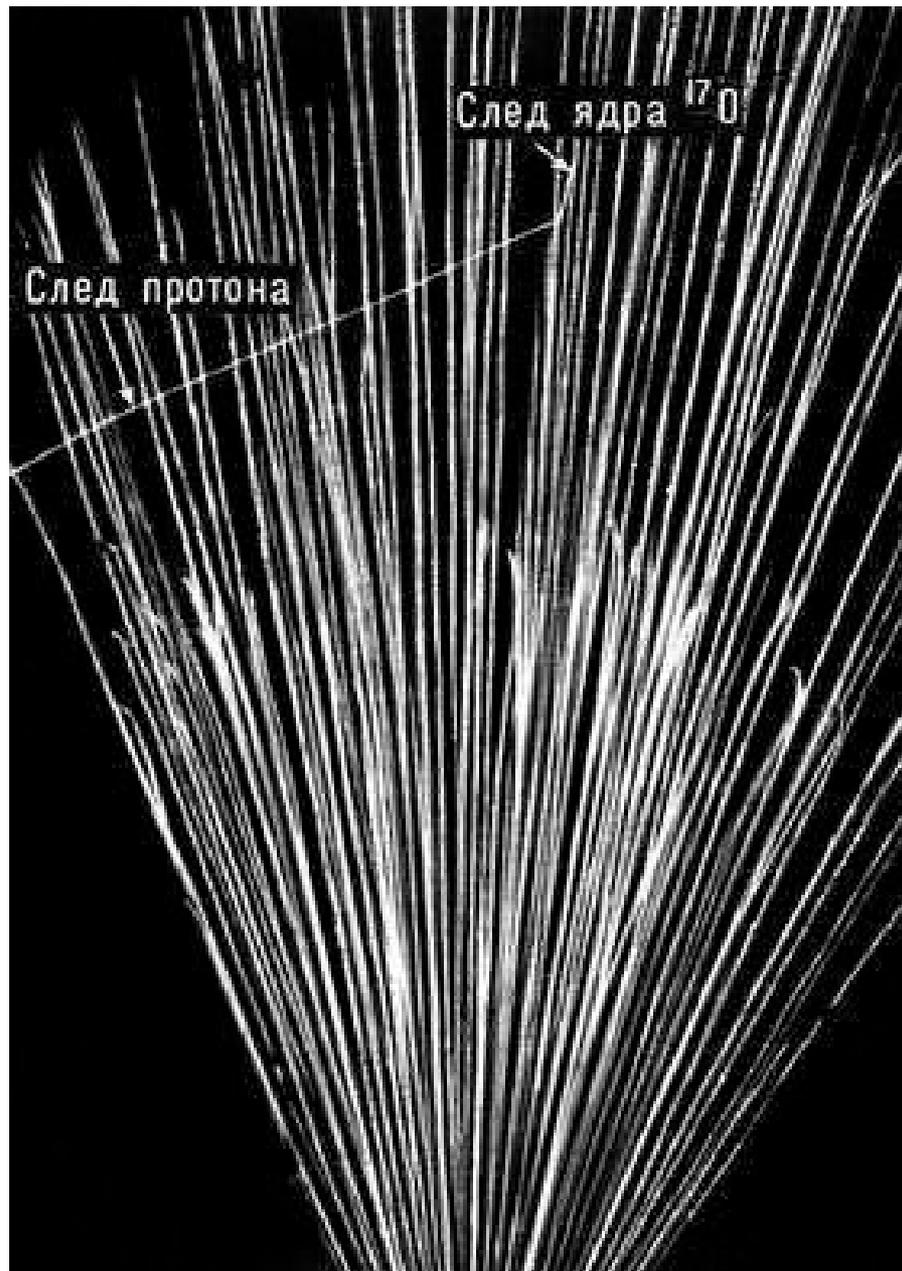
За работы по исследованию структуры атомов и их излучения

Постулаты Бора

1. Электрон равномерно вращается вокруг атомного ядра по круговой орбите под действием кулоновских сил в соответствии с законами Ньютона.
2. Разрешенными орбитами электрона являются только те, для которых момент импульса электрона равен $n\hbar$.
3. При движении электрона по стационарной орбите атом не излучает энергию.
4. При переходе с орбиты с энергии E_i на другую орбиту с энергией E_f ($E_i > E_f$) излучается фотон, имеющий энергию $h\nu = E_i - E_f$.

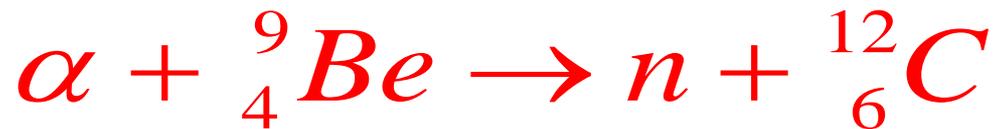
1919 г.

Э. Резерфорд осуществил первую искусственную ядерную реакцию $^{14}\text{N}(\alpha, p)^{17}\text{O}$ и доказал наличие в атомном ядре протонов.

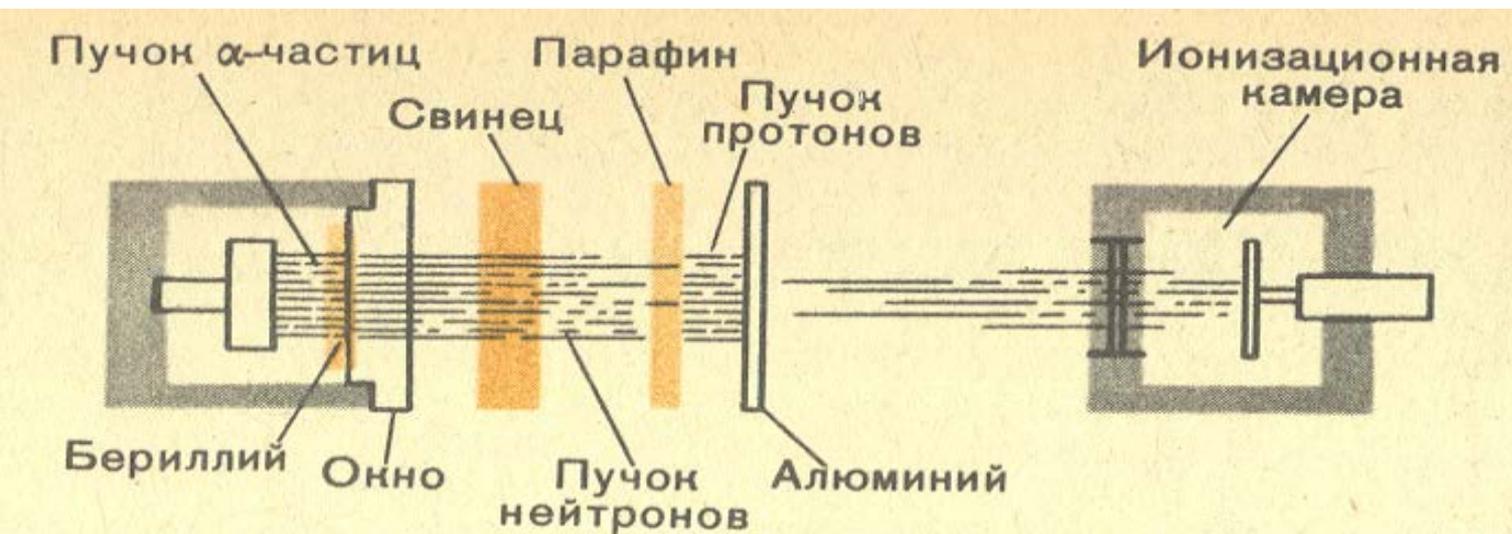


Открытие нейтрона

1932 г.



Дж. Чадвик
1891 - 1974



Нобелевская премия по физике

1935 г. – Дж. Чедвик

За открытие нейтрона

Д. Иваненко, 1932 г.: «Объяснение доктором Дж. Чадвиком таинственного излучения бериллия очень привлекательно для физиков-теоретиков. Возникает вопрос: нельзя ли допустить, что нейтроны играют также важную роль и в структуре ядер, считая все ядерные электроны «упакованными» либо в α -частицы, либо в нейтроны? Конечно, отсутствие теории ядер делает это предположение далеко не окончательным, но может быть, оно покажется не таким уж неправдоподобным, если мы вспомним, что электроны, проникая в ядра, существенно изменяют свои свойства — теряют, так сказать, свою индивидуальность, например, свой спин и магнитный момент. Наибольший интерес представляет вопрос, насколько нейтроны можно рассматривать как элементарные частицы (чем-то подобными протонам или электронам). Нетрудно подсчитать число α -частиц, протонов и нейтронов, имеющих в каждом ядре, и получить таким образом представление об угловом моменте ядра (полагая угловой момент нейтрона равным $1/2$). Любопытно, что в ядрах бериллия нет свободных протонов, а есть только α -частицы и нейтроны».

Атомное ядро



Атомное ядро состоит из протонов и нейтронов.

Z – заряд ядра, число протонов в ядре

N – число нейтронов в ядре

$A = N + Z$ – массовое число



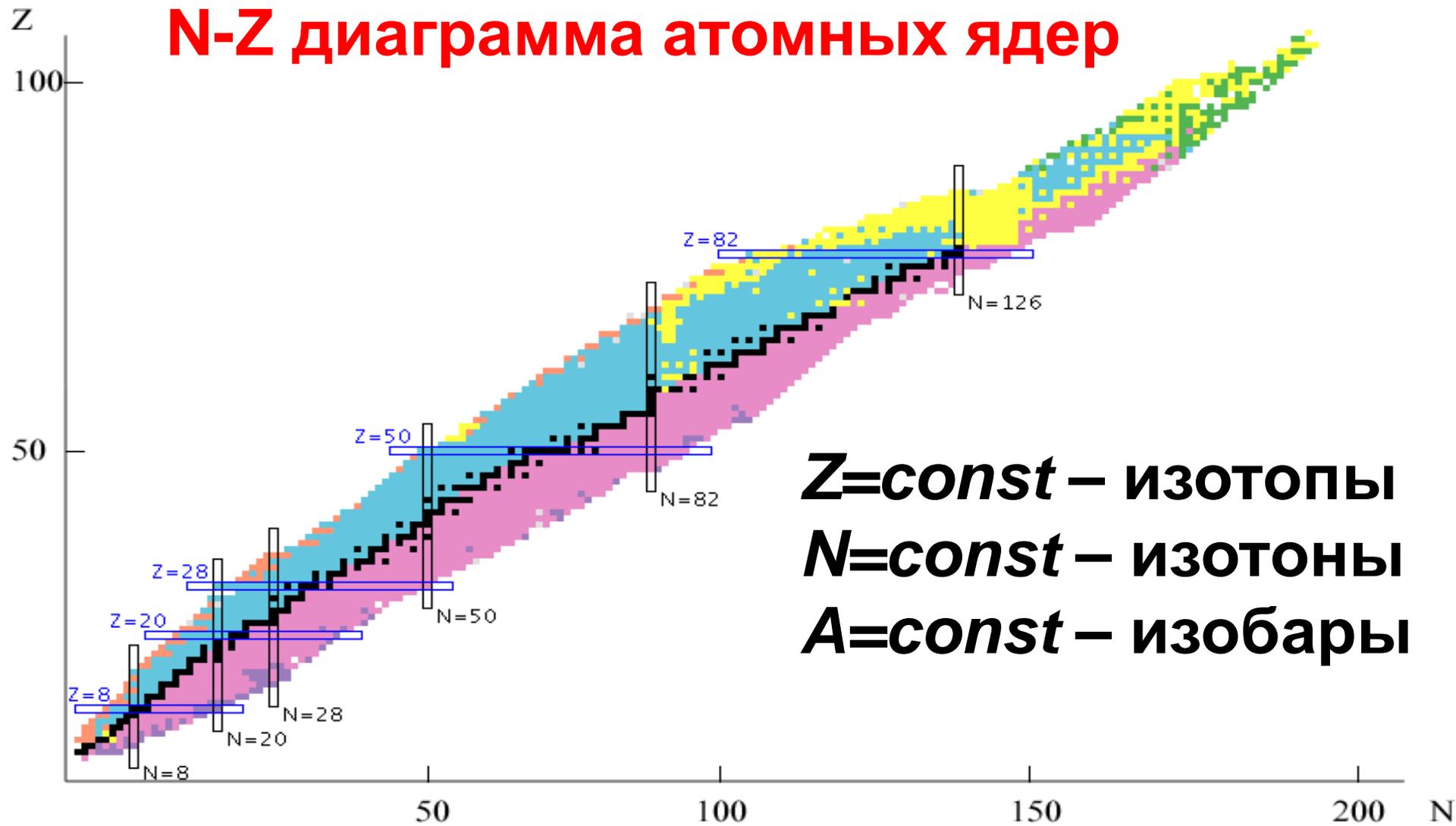
$$Z = 82$$

$$N = 126$$

$$A = 208$$

Ядра с одним и тем же значением Z , но с разными значениями A называются **изотопами**. Различные изотопы данного элемента обозначают, приписывая к символу химического элемента верхний индекс — массовое число A .

N-Z диаграмма атомных ядер



$Z=const$ – изотопы
 $N=const$ – изотоны
 $A=const$ – изобары

Стабильные ядра группируются вблизи долины стабильности

$$Z = \frac{A}{1.98 + 0,015A^{2/3}}$$

Виды радиоактивности

- **α -распад** – испускание ядрами α -частиц,
- **β -распад** – испускание (или поглощение) лептонов,
- **γ -распад** – испускание γ -квантов,
- **спонтанное деление** – распад ядра на два осколка сравнимой массы.

К более редким видам радиоактивного распада относятся испускание ядрами одного или двух протонов, а также испускание **кластеров** – лёгких ядер от ^{12}C до ^{32}S . Во всех видах радиоактивности (кроме гамма-радиоактивности) изменяется состав ядра – число протонов Z , массовое число A или то и другое одновременно.



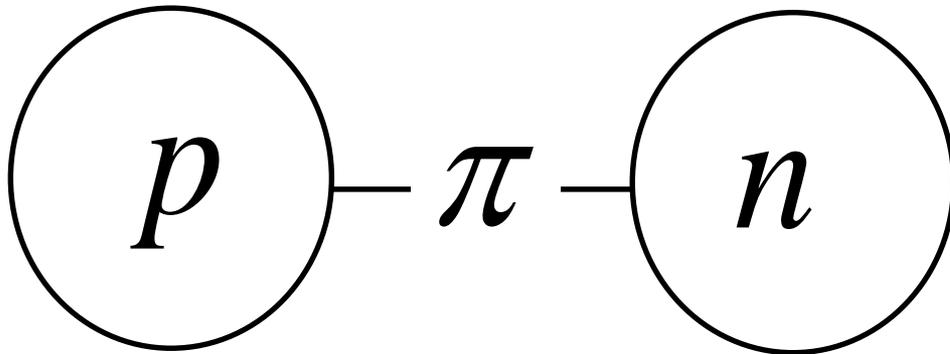
Исаак Ньютон
1642 – 1727

Мельчайшие частицы материи слепляются в результате сильнейшего притяжения, образуя частицы большего размера, но уже менее склонные к притяжению; многие из этих частиц могут опять слепляться, образуя ещё большие частицы с ещё меньшим притяжением друг к другу и так далее в разных последовательностях, пока эта прогрессия не закончится на самых больших частицах, от которых зависят уже и химические реакции и цвет естественных тел, и, которые образуют, наконец, тела ощутимых размеров. Если так, то в природе должны существовать посредники, помогающие частицам вещества близко слепляться друг с другом за счет сильного притяжения. Обнаружение этих посредников и есть задача экспериментальной философии.

Что удерживает протоны и нейтроны в атомном ядре

1935 г.

Х. Юкава разработал теорию ядерного взаимодействия и предсказал мезоны – кванты ядерного поля.



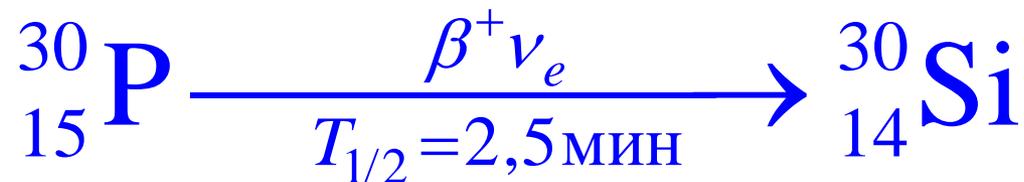
Хидэки Юкава
1907 - 1981

Нобелевская премия по физике

1949 г. – Х. Юкава

За предсказание существования мезонов на основе теоретической работы по ядерным силам

Реакции под действием α -частиц





Джон Кокрофт
1897-1967



Томас Уолтон
1903-1995

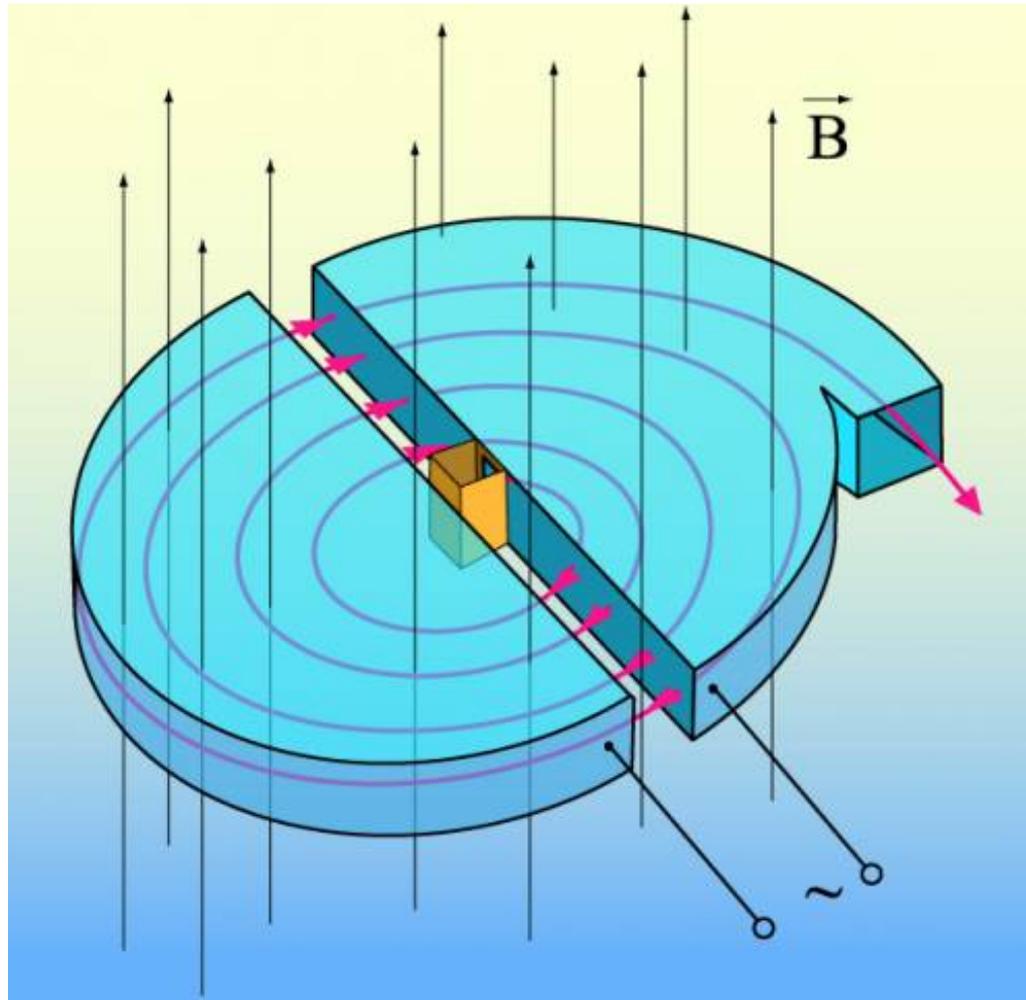
1932 г.

Джон Кокрофт и Томас Уолтон пучком протонов расщепили ядра бора и лития

Ускорители

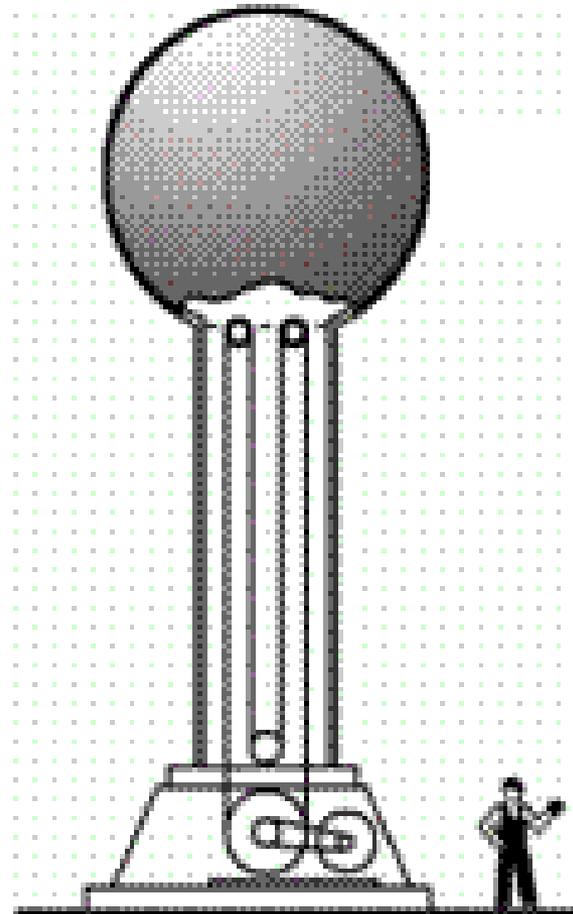
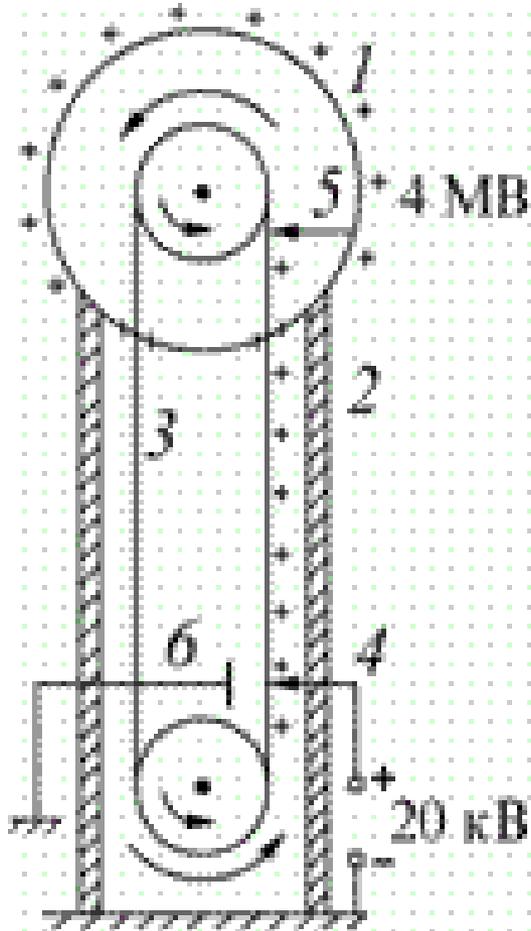
1929 г.

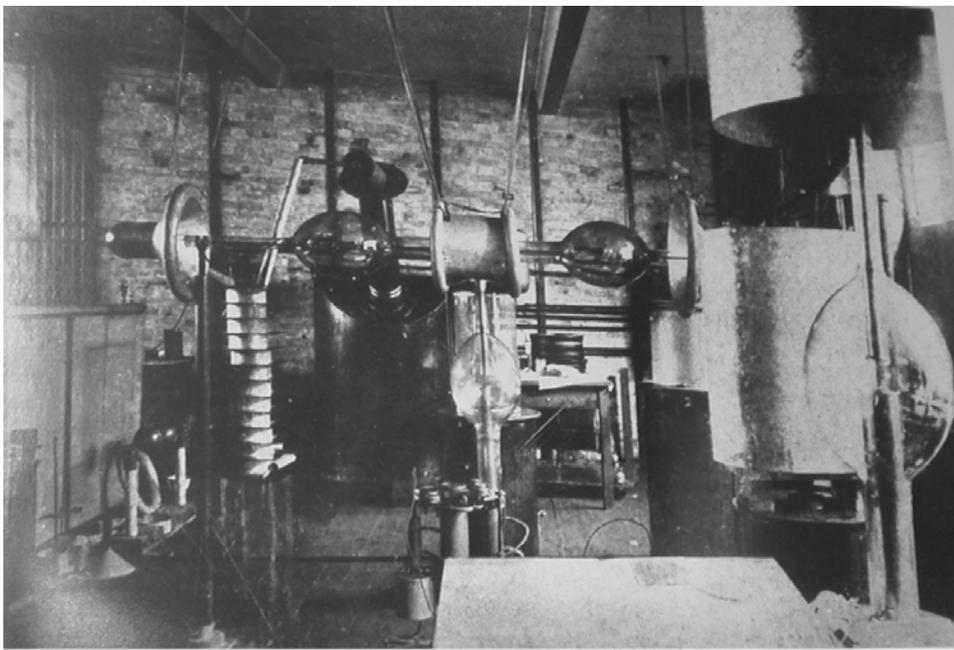
Э. Лоуренс предложил идею циклотрона



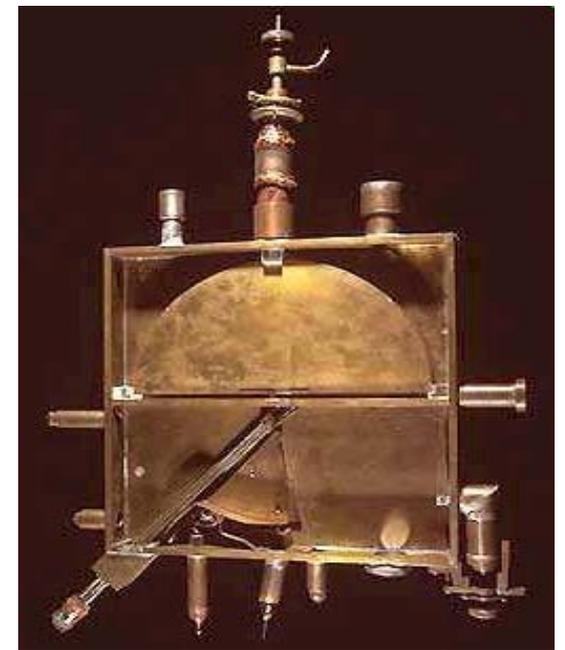
Ускорители

1931 г. Роберт Ван де Грааф создал электростатический ускоритель (генератор Ван де Граафа)





Ускоритель Кокрофта-Уолтона (1930 г.)



Циклотрон Э. Лоуренса (1929 г.)



Камера Вильсона (1912 г.)



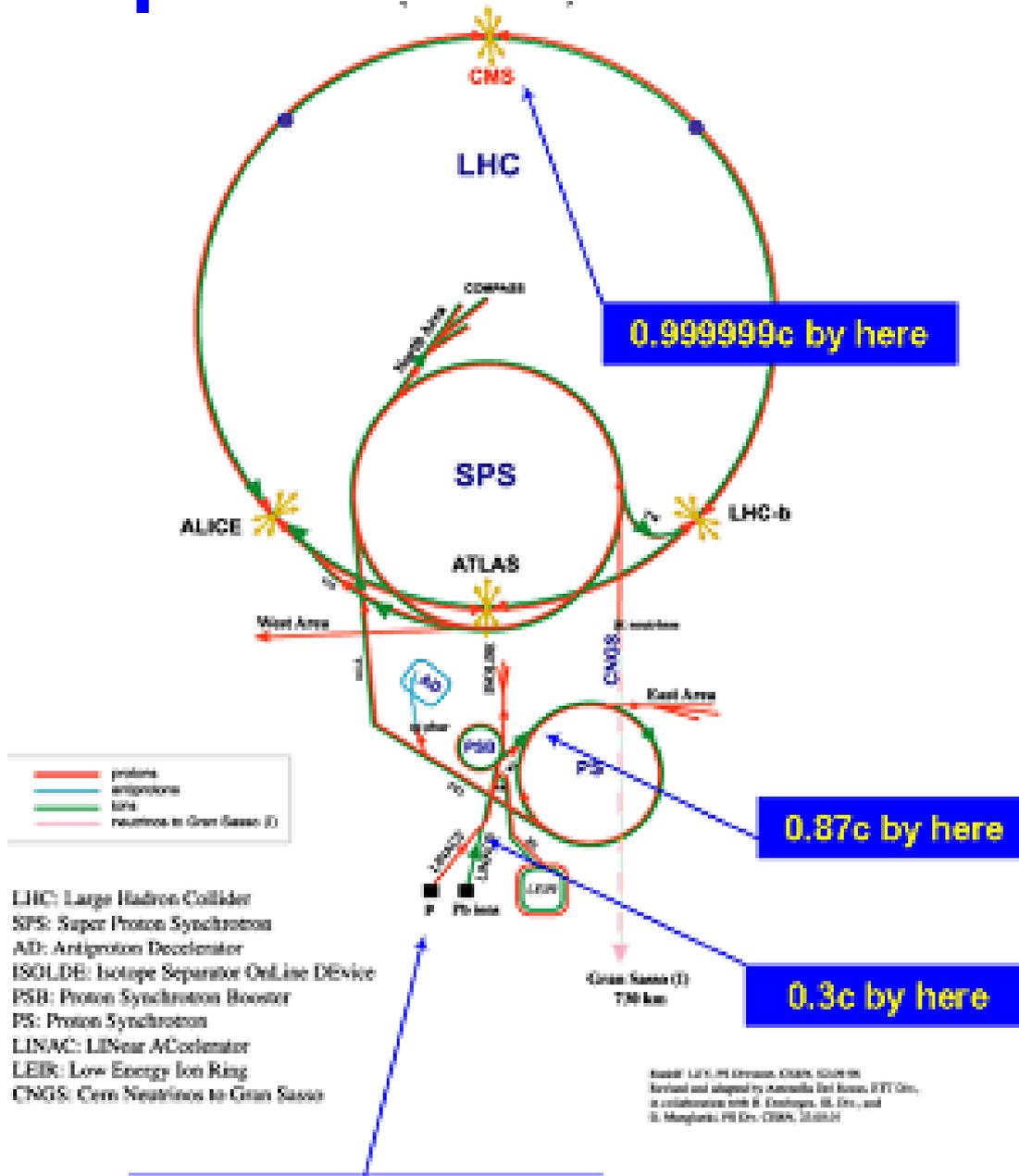
Масс-спектрограф Ф. Астона (1919 г.)

CERN - ЦЕРН

Европейская организация ядерных исследований



Ускорительный комплекс ЦЕРН





Длина тоннеля – 27 км

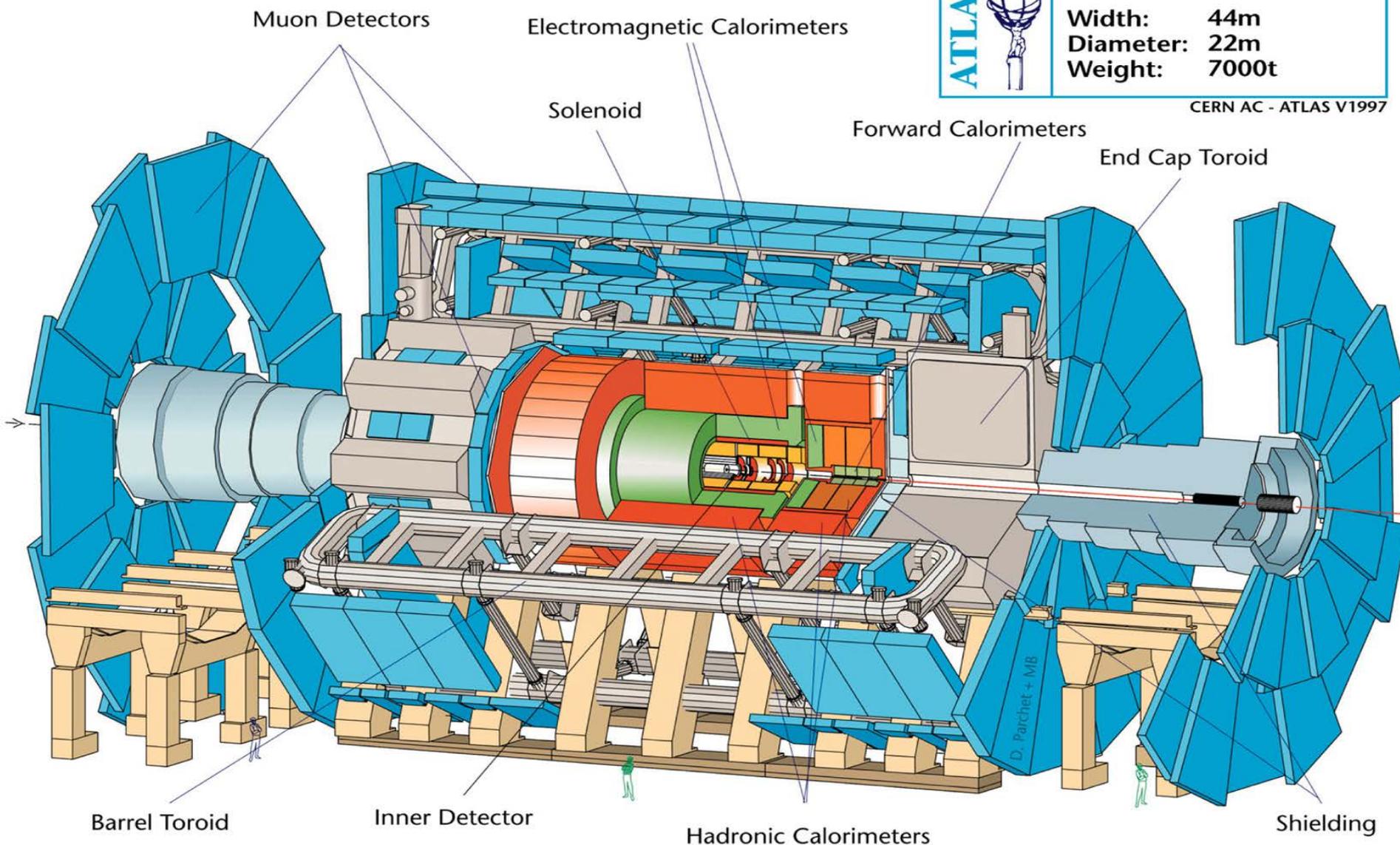
Детектор ATLAS



Detector characteristics

Width: 44m
Diameter: 22m
Weight: 7000t

CERN AC - ATLAS V1997



Muon Detectors

Electromagnetic Calorimeters

Solenoid

Forward Calorimeters

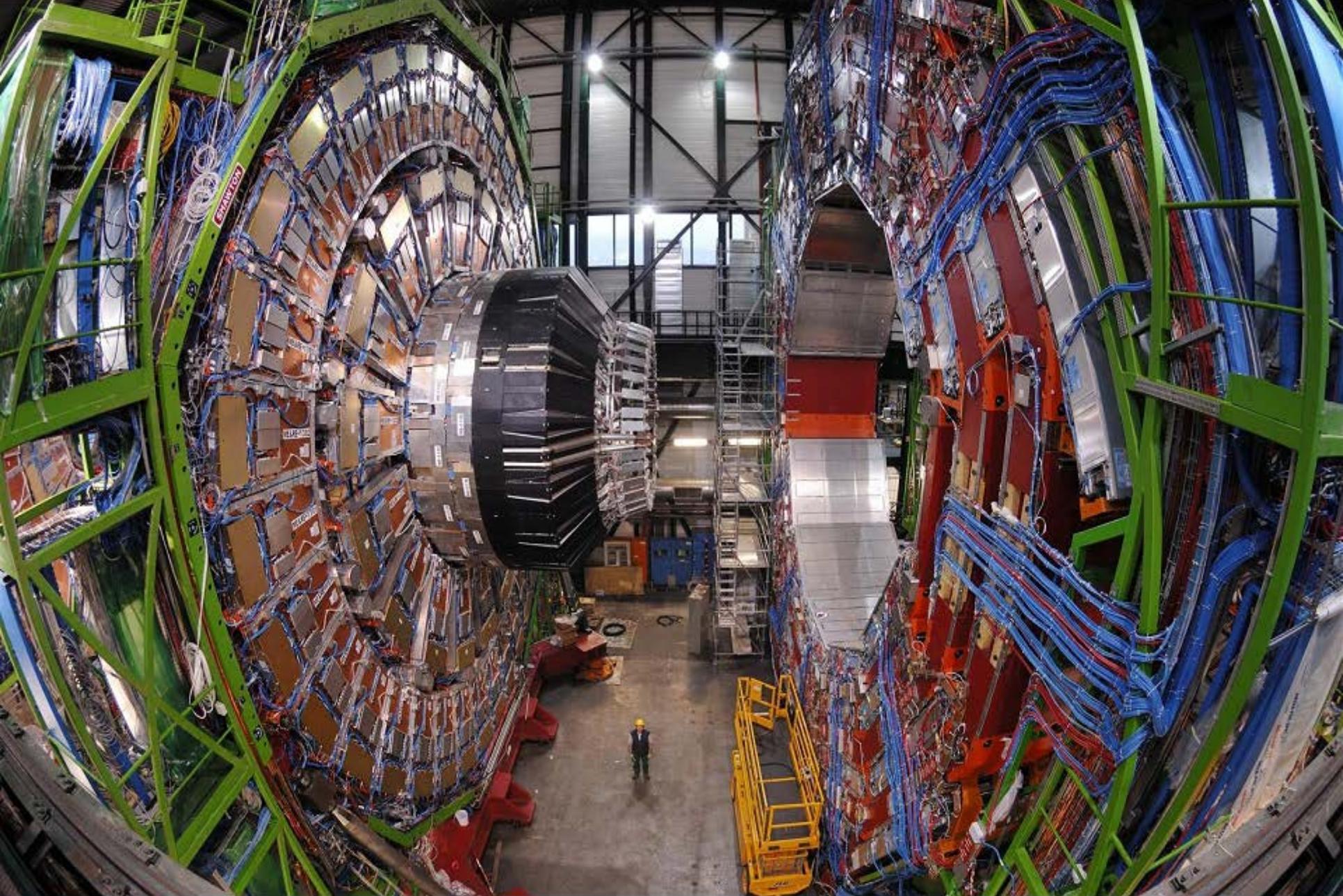
End Cap Toroid

Barrel Toroid

Inner Detector

Hadronic Calorimeters

Shielding



CMS

Courtesy CMS/CERN

Рождение частиц

