



# Микромир и Вселенная 2018

# Природа материи

# 2 этапа развития физики

**Классическая физика**

Механика. Термодинамика. Электричество. Магнетизм

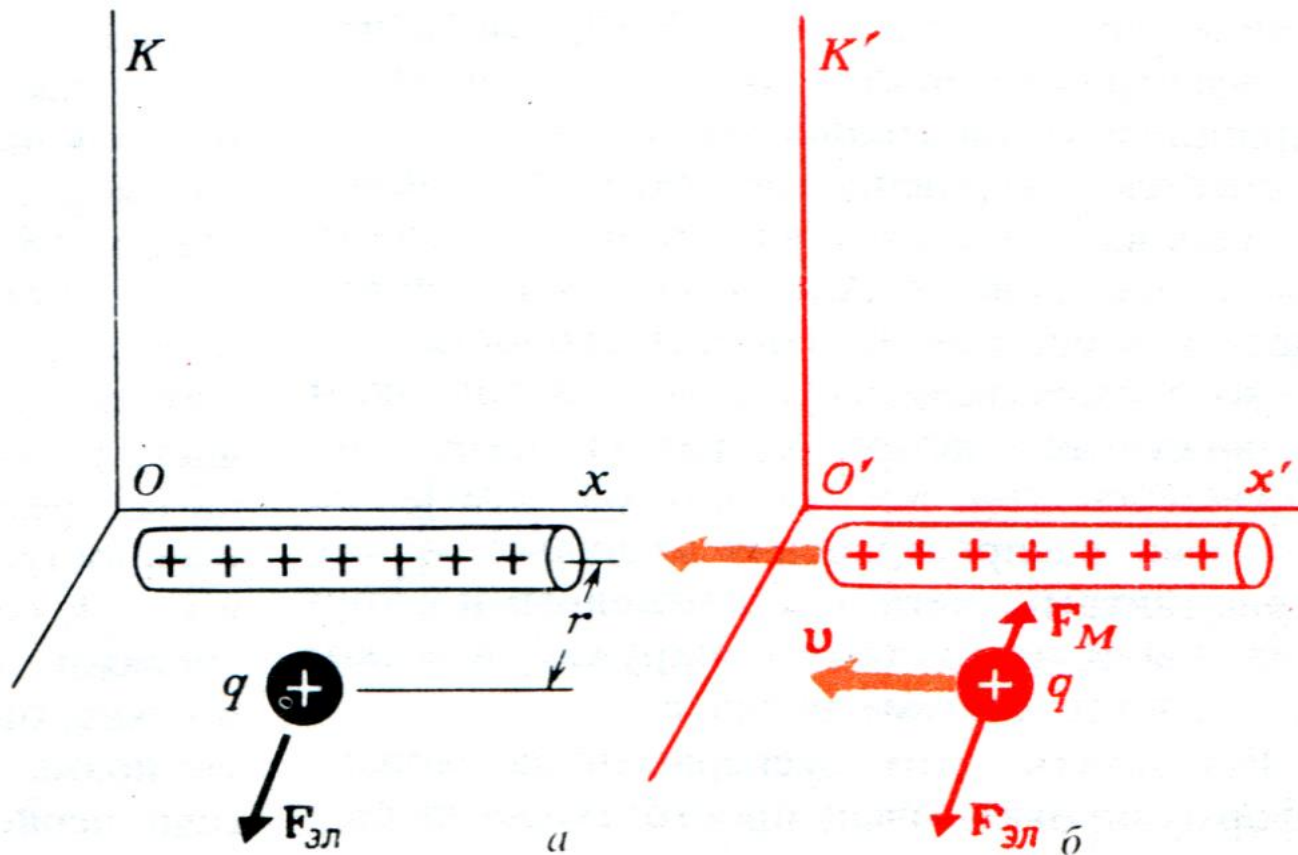
**XX век**

**Современная физика.**

Квантовая физика. Релятивистская физика

Классическая физика	Релятивистская физика <b><math>c = 3 \cdot 10^{10}</math> см/сек</b>
Квантовая физика <b><math>h = 4,1 \cdot 10^{-15}</math> эВ/сек</b>	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.**

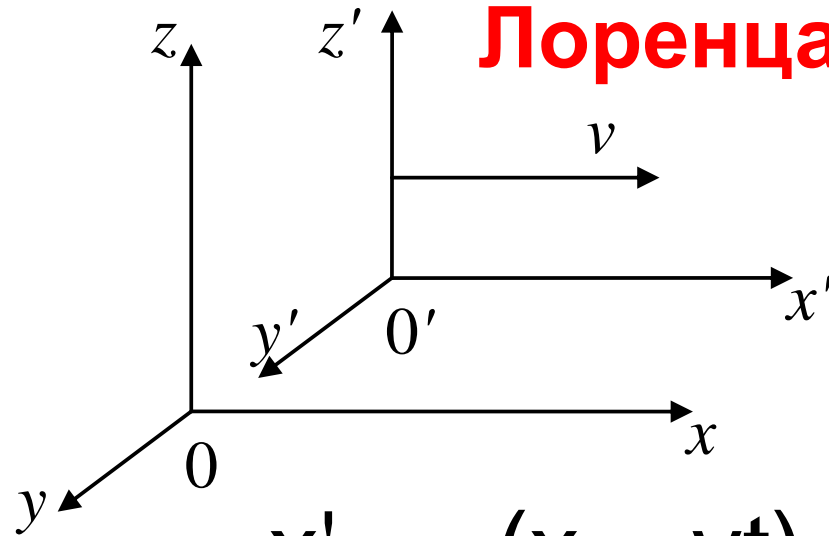
1638 г.

# 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.

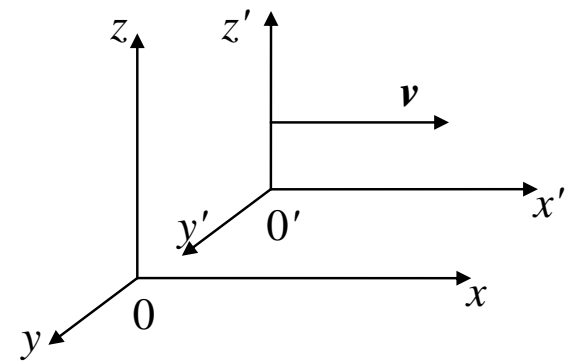
# Четырехмерное пространство-время

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

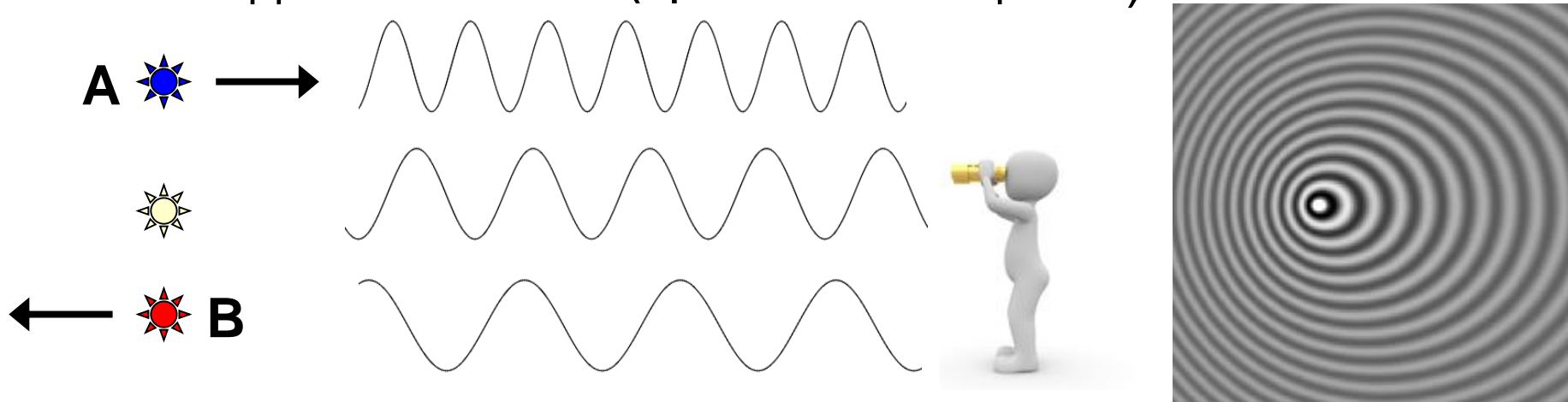
Размер линейки, движущейся параллельно своей оси в системе отсчета  $S'$ , короче размера линейки в покоящейся системе отсчета  $S$ .

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



# 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

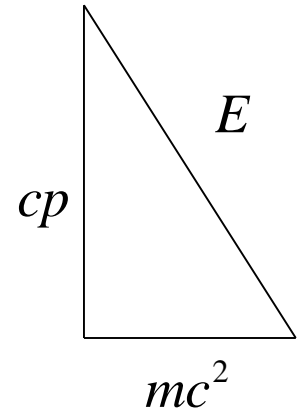
$$E^2 = c^2 p^2 + m^2 c^4$$

$$E_{\text{кин}} = \frac{mv^2}{2}$$

$$E_{\text{кин}} = E - mc^2$$

$$p = mv$$

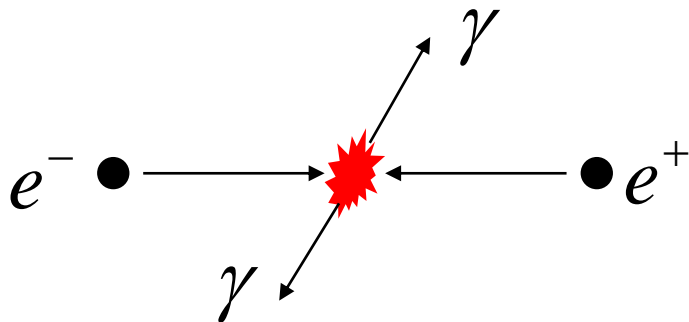
$$p = \frac{mc\beta}{\sqrt{1-\beta^2}}$$



$\tau_0$  - время жизни частицы  
в системе покоя

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

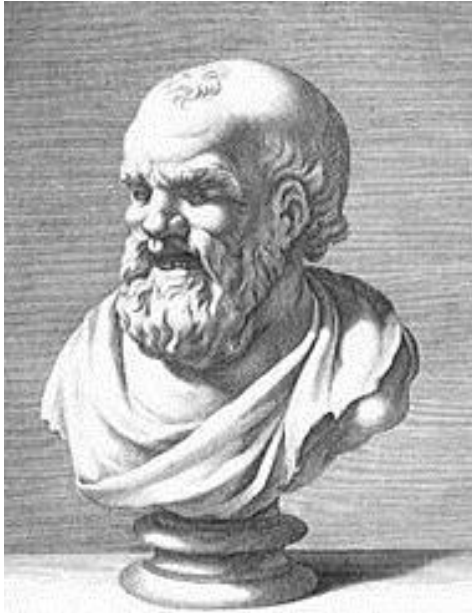
- время жизни частицы,  
движущейся со скоростью  $\beta$ .



# 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



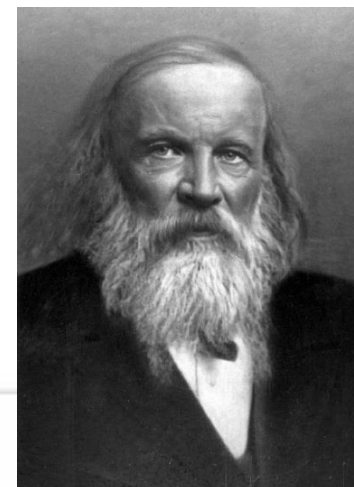
Антуан Лавуазье  
1743 – 1794

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.



# 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
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	------

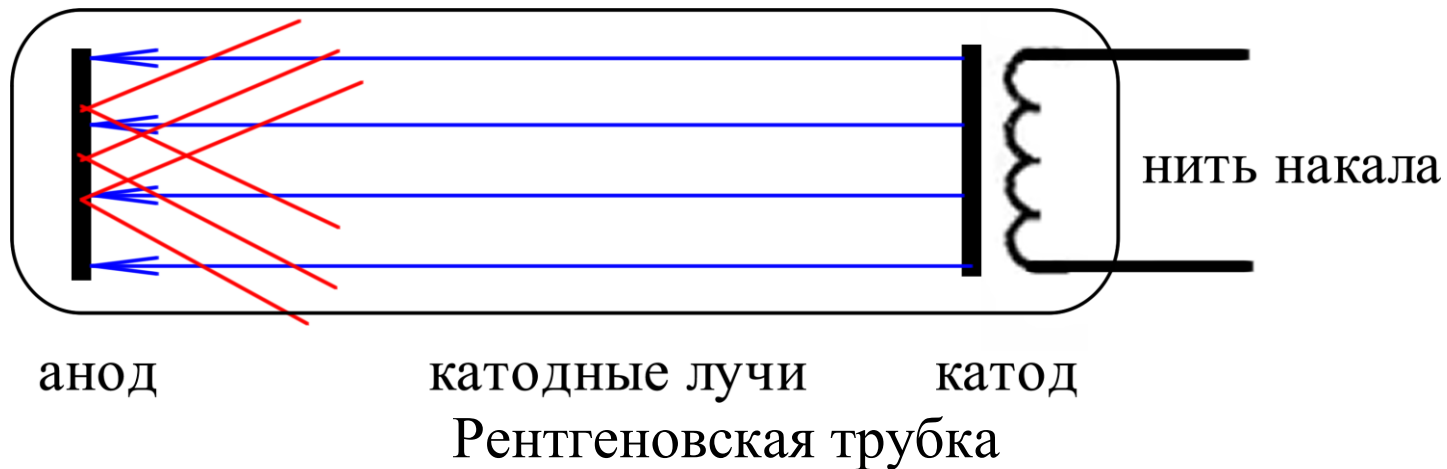
Актиноиды

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



# 1895 г. Рентгеновские лучи

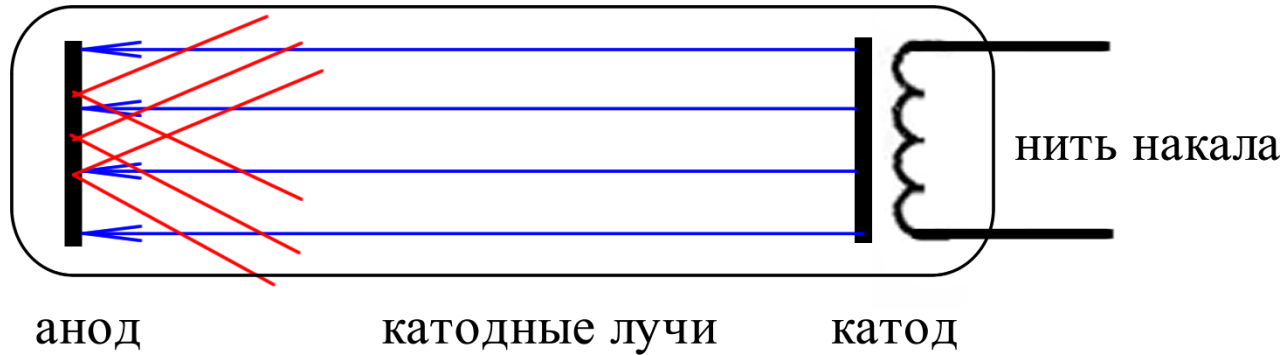
1895 г. В. Рентген открыл X-лучи, впоследствии названные его именем. Рентген обнаружил, что когда катодные лучи падают на стекло трубки или на мишень, внутри трубки возникает излучение, которое проникает через непрозрачные для обычного света материалы, воздействует на флюоресцирующие материалы и фотопластины.



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

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

# 1895 г. Рентгеновские лучи



Вильгельм Рентген  
1845 – 1923

**Нобелевская премия по физике**

**1901 г. - В. Рентген.**

За открытие лучей, названных его именем

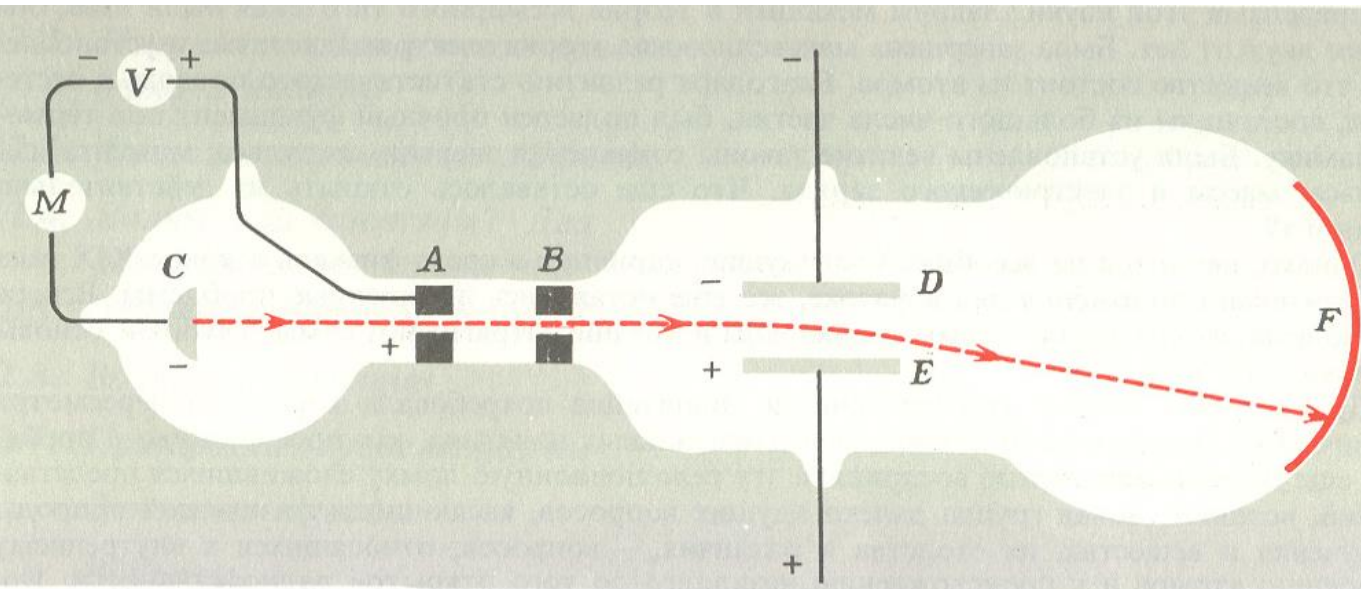
**Дж. Дж. Томсон**

**1897 Электрон**

**1904 Модель атома**



Дж. Дж. Томсон  
1856 - 1940



**Нобелевская премия по физике**

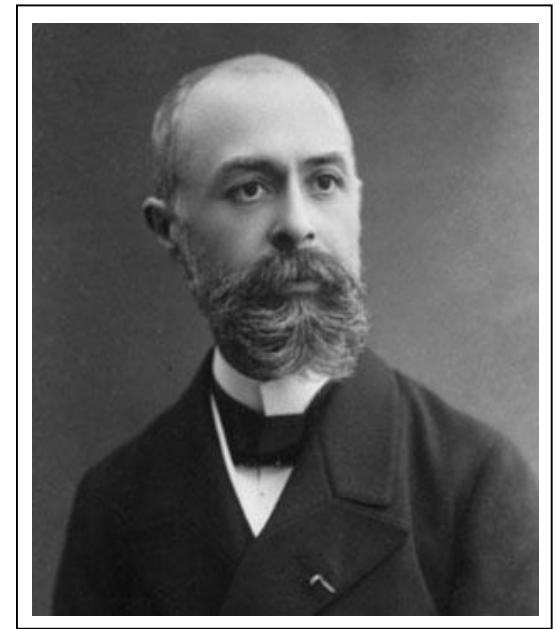
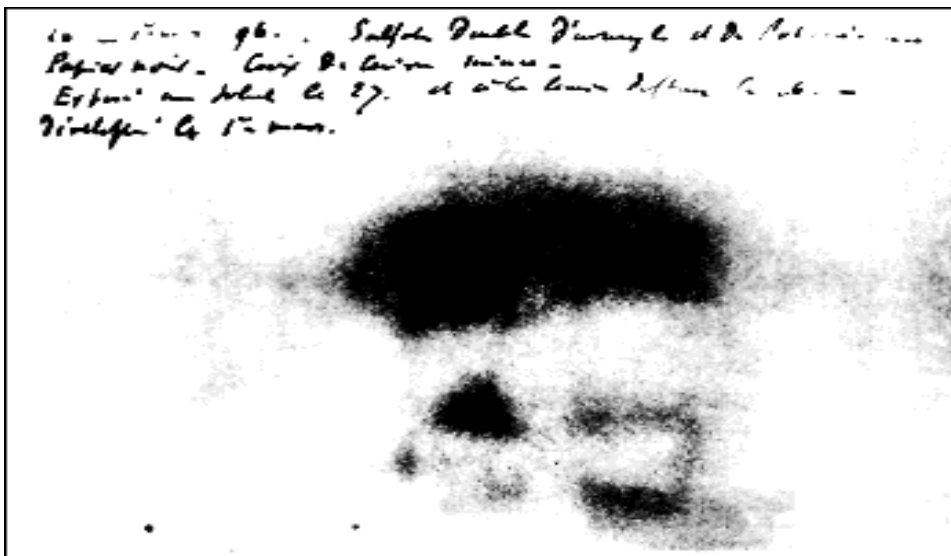
**1906 г. – Дж. Дж. Томсон**

**За большие заслуги в теоретических и экспериментальных исследованиях электрической проводимости газов**

**1896**

# **Открытие радиоактивности**

**Анри Беккерель**



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

**Нобелевская премия по физике**

**1903 г. - А. Беккерель**

**За открытие радиоактивности**

# 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**

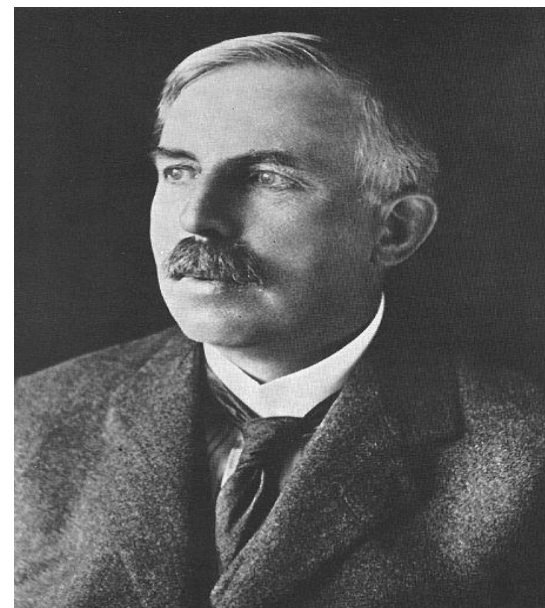
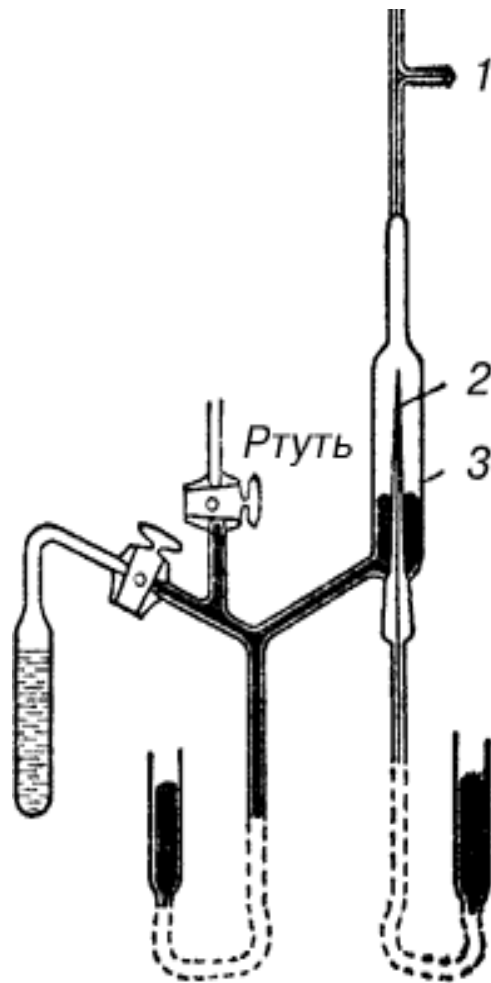
**1911 г.** – М. Кюри. За выдающиеся заслуги в развитии химии: открытие элементов радия и полония, выделение радия и изучение природы и соединений этого замечательного элемента



Мария и Пьер Кюри

**1899 г.**

Э. Резерфорд открыл, что уран излучает положительно заряженные  $\alpha$ -частицы и отрицательно заряженные  $\beta$ -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 $\alpha$ -частиц

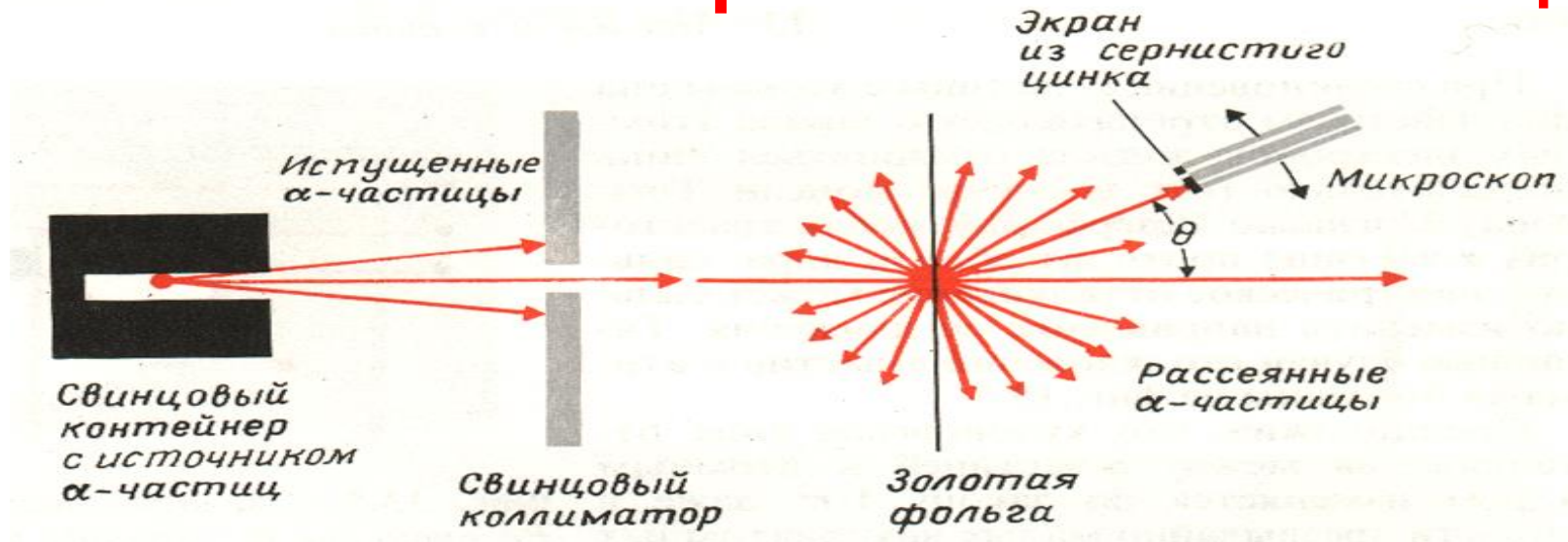
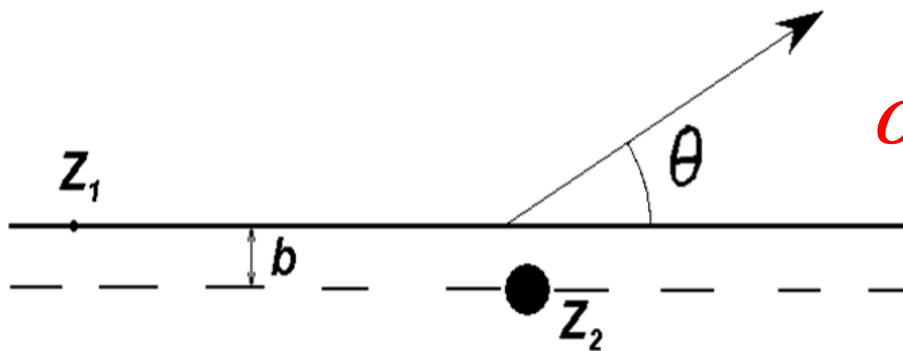
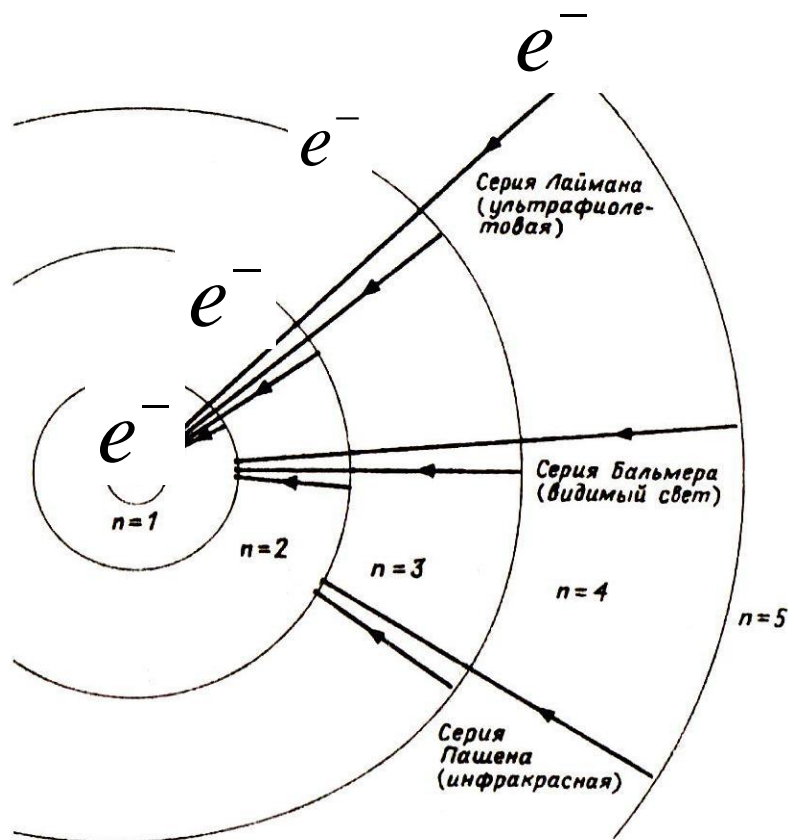


Схема эксперимента, в котором исследовалось рассеяние альфа-частиц



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

# Модель атома Бора



Нильс Бор  
1885 - 1962

**Нобелевская премия по физике**

**1922 г. - Н. Бор.**

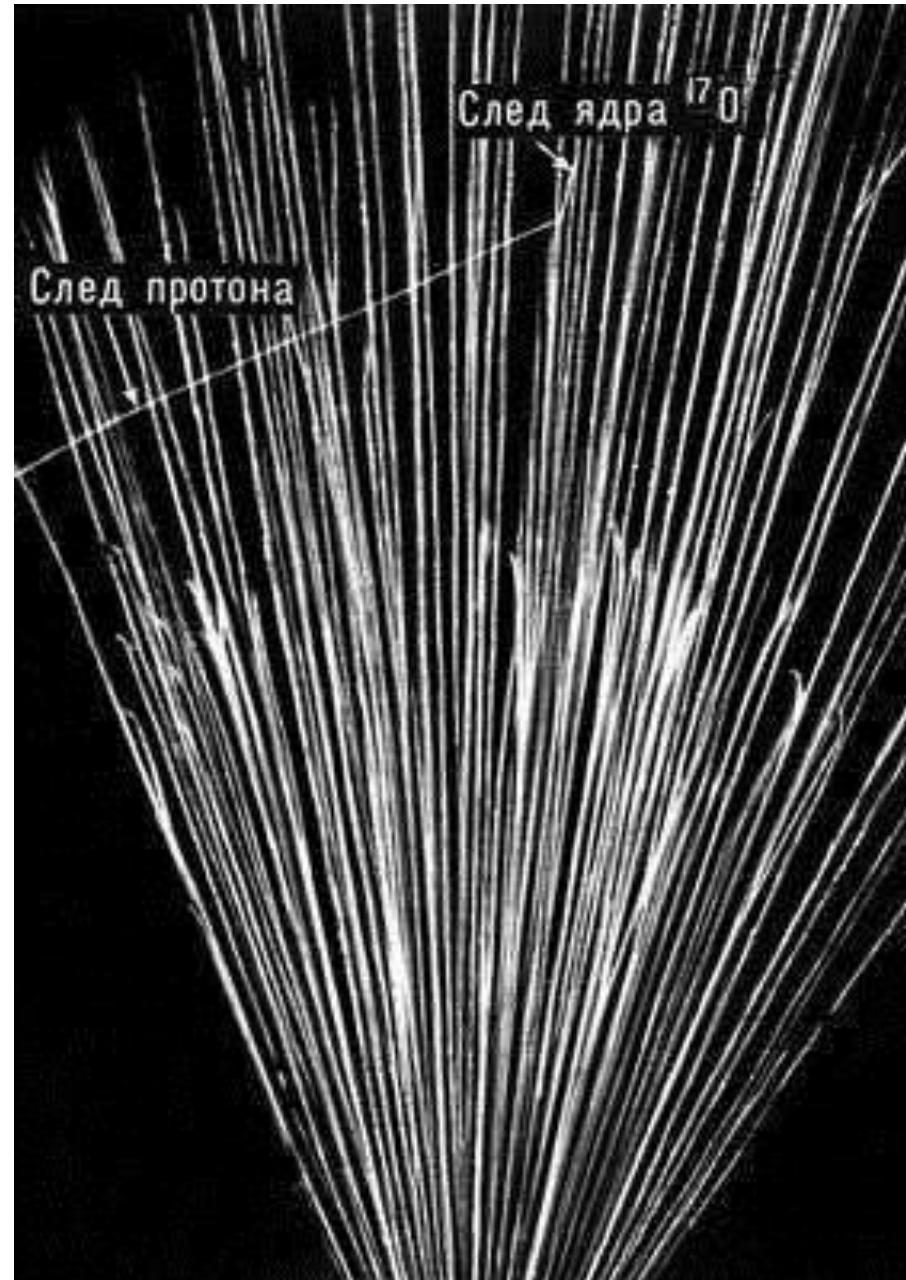
За работы по исследованию структуры атомов и их излучения

# 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  $h\nu = E_i - E_f$ .

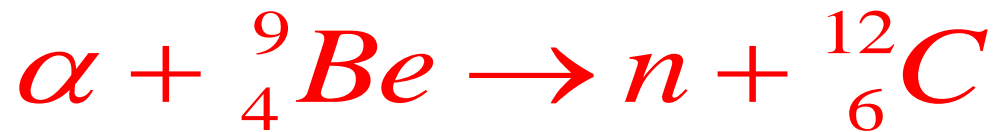
1919 г.

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

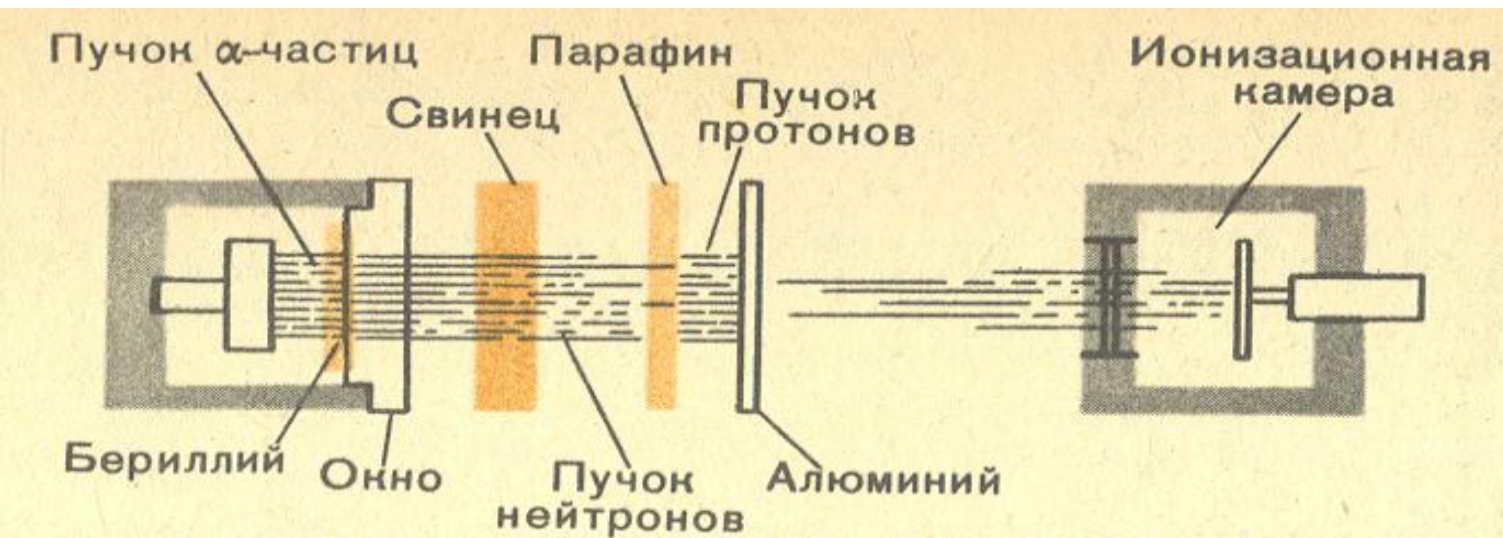


# Открытие нейтрона

1932 г.



Дж. Чадвик  
1891 - 1974



Нобелевская премия по физике

1935 г. – Дж. Чедвик

За открытие нейтрона



# 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



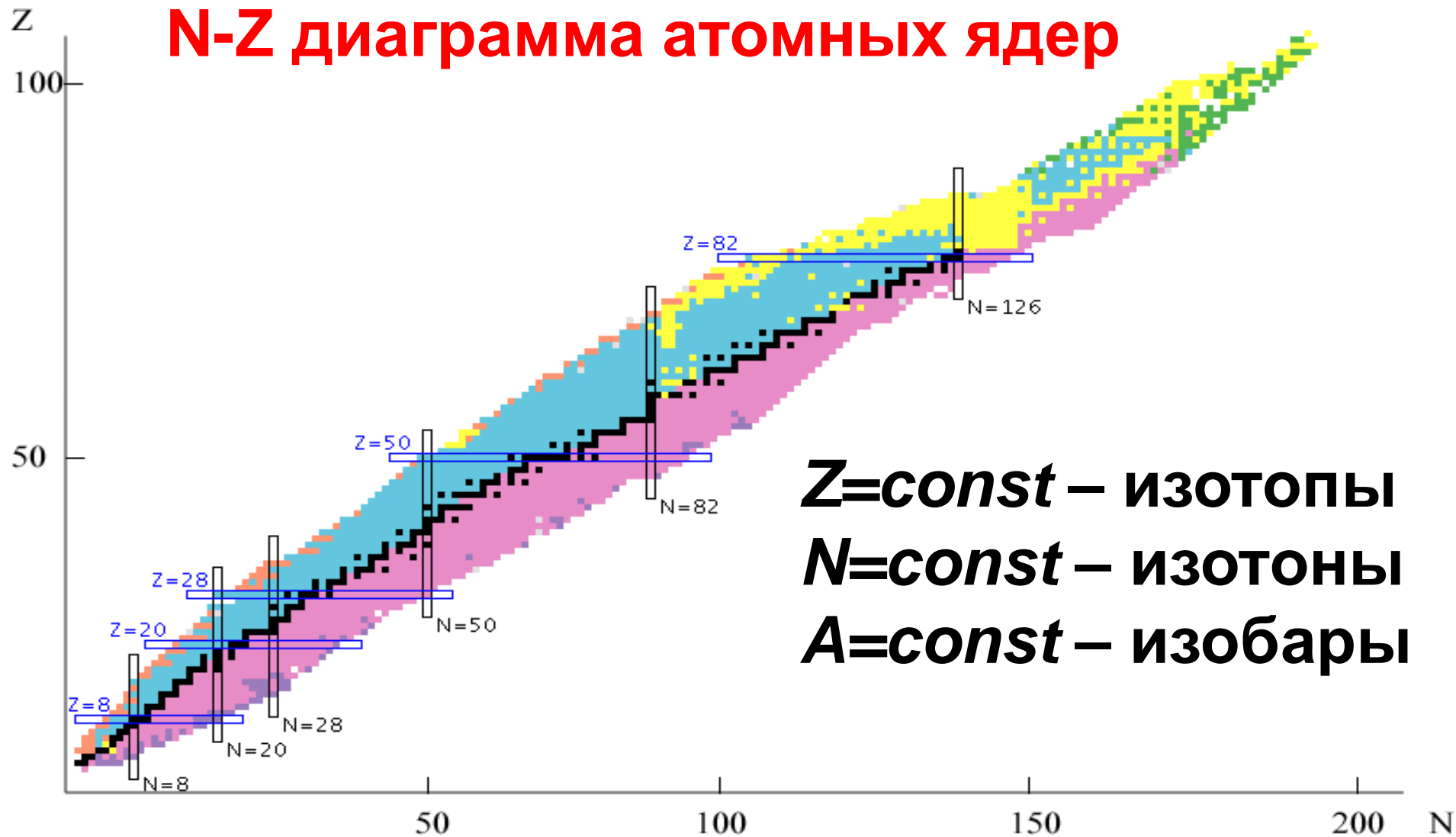
$$Z = 82$$

$$N = 126$$

$$A = 208$$

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

- **$\alpha$ -распад** – испускание ядрами  $\alpha$ -частиц,
- **$\beta$ -распад** – испускание (или поглощение) лептонов,
- **$\gamma$ -распад** – испускание  $\gamma$ -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  $^{12}\text{C}$  до  $^{32}\text{S}$ . Во всех видах радиоактивности (кроме гамма-радиоактивности) изменяется состав ядра – число протонов  $Z$ , массовое число  $A$  или то и другое одновременно.



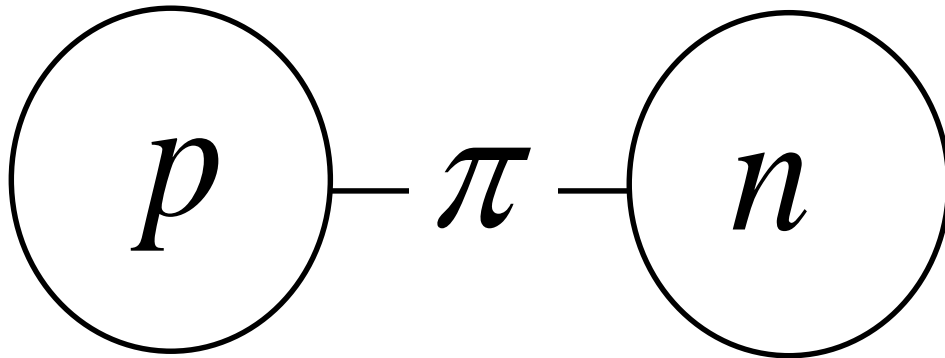
Исаак Ньютон  
1642 – 1727

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.



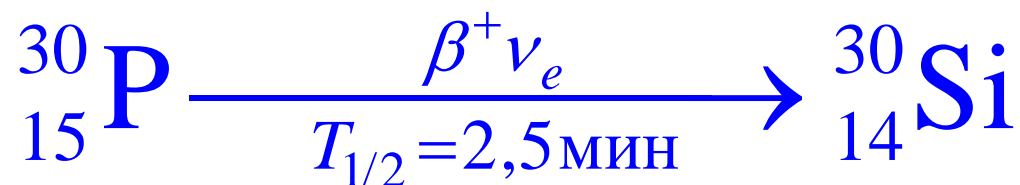
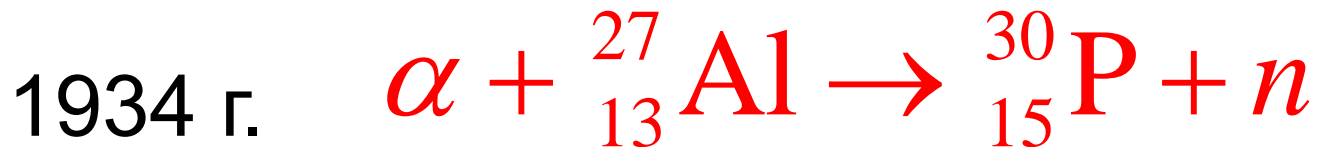
Хидэки Юкава  
1907 - 1981

**Нобелевская премия по физике**

**1949 г. – Х. Юкава**

**За предсказание существования мезонов на основе теоретической работы по ядерным силам**

# Реакции под действием $\alpha$ -частиц





Джон Кокрофт  
1897-1967



Томас Уолтон  
1903-1995

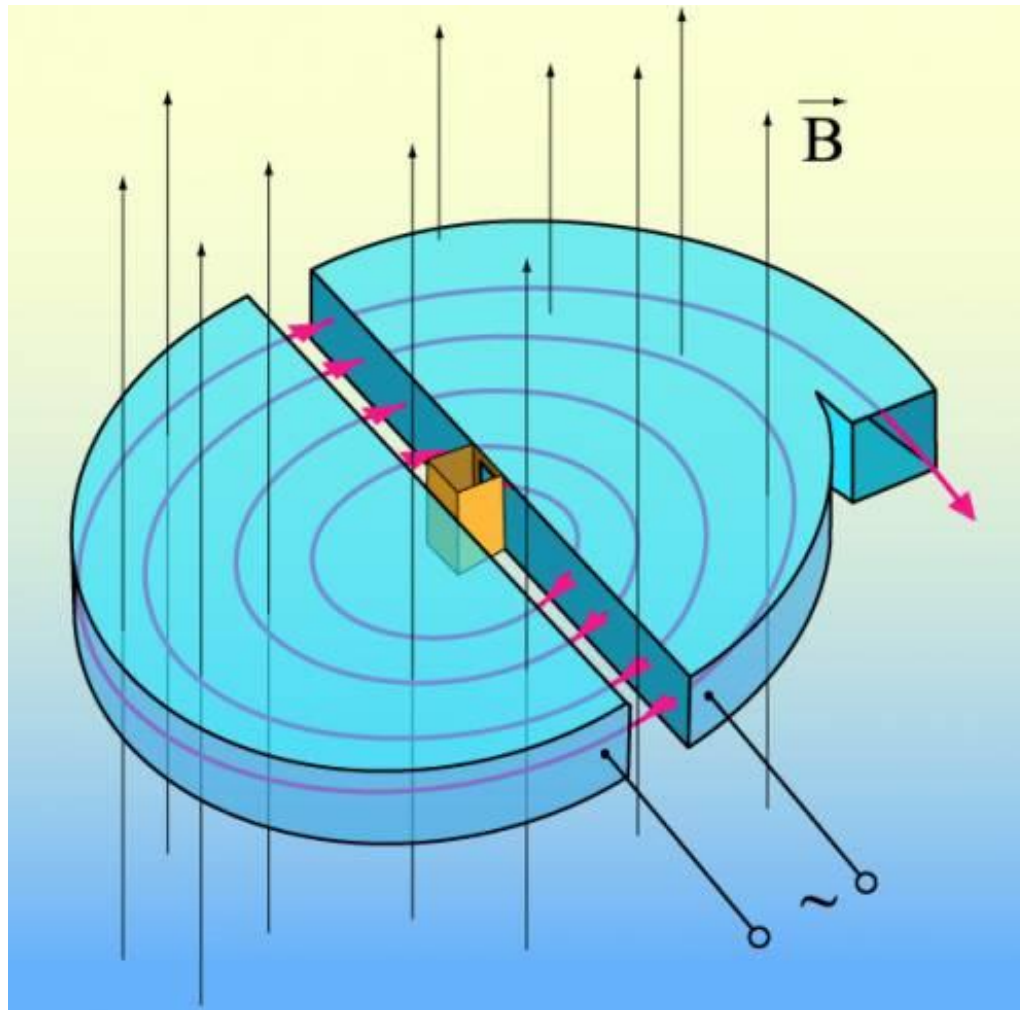
**1932 г.**

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

# Ускорители

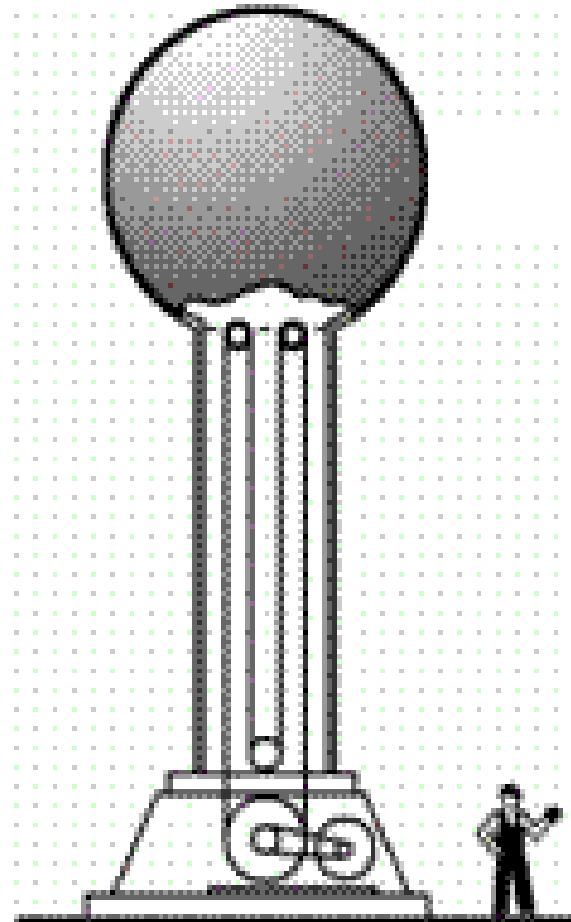
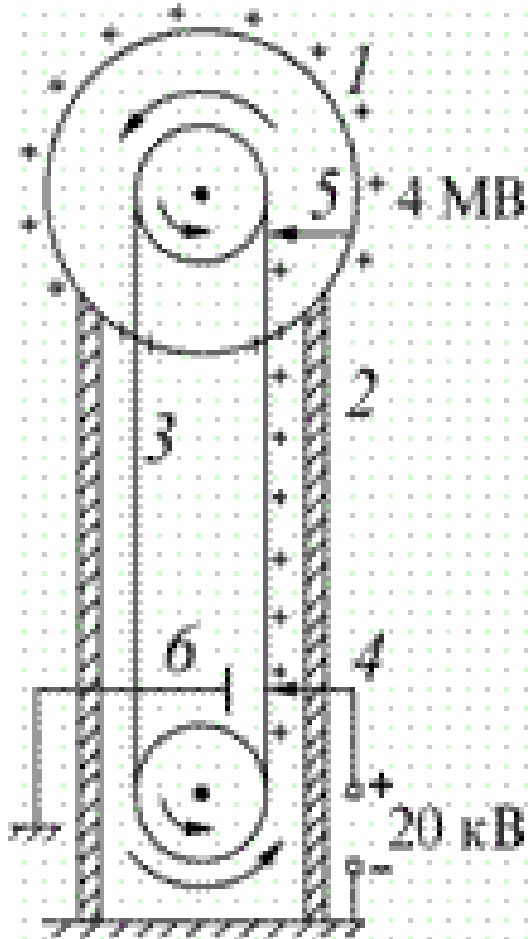
1929 г.

Э. Лоуренс предложил идею циклотрона



# Ускорители

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



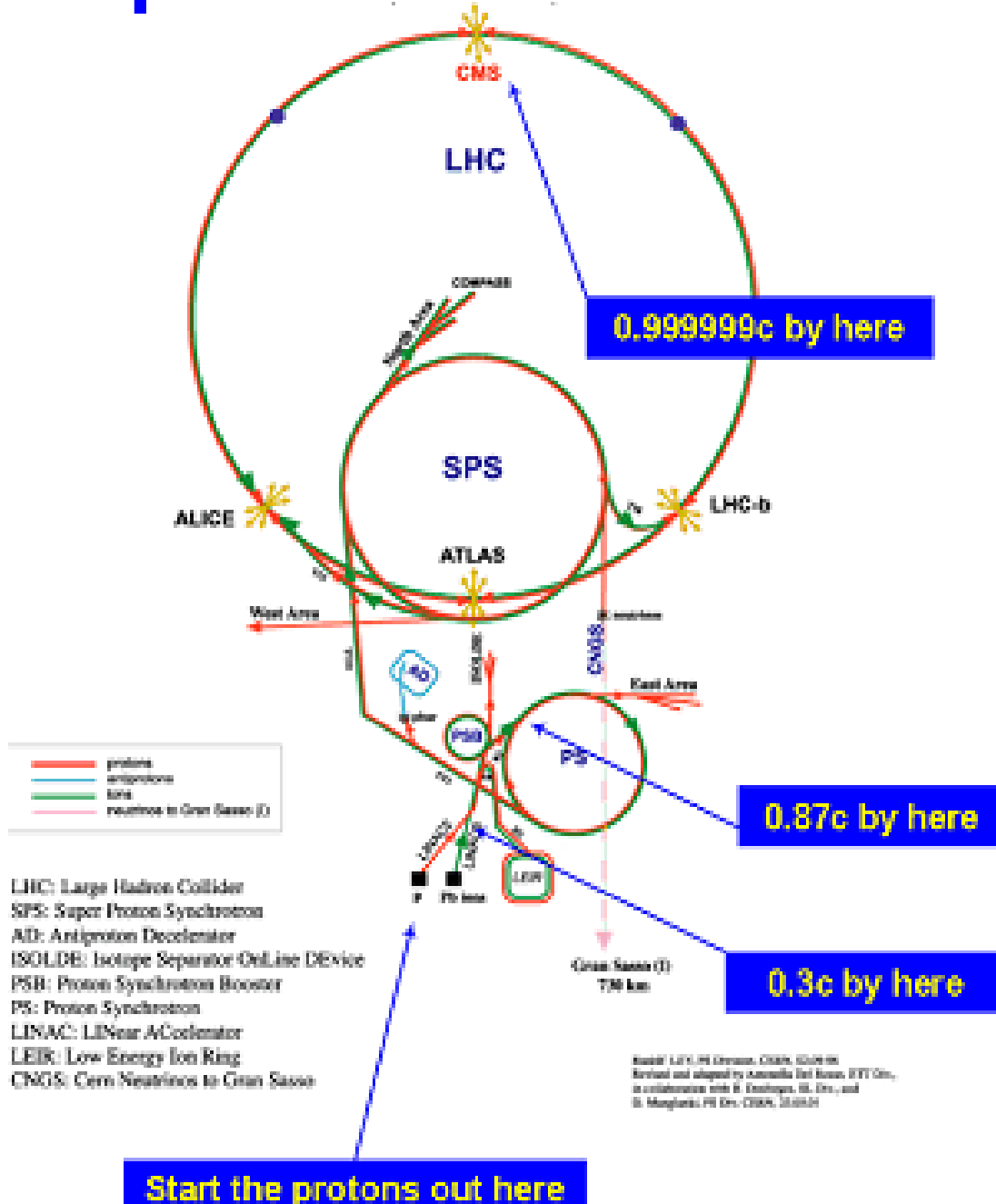


# CERN - ЦЕРН

Европейская организация ядерных исследований



# Ускорительный комплекс ЦЕРН



LHC: Large Hadron Collider  
 SPS: Super Proton Synchrotron  
 AD: Antiproton Decelerator  
 ISOLDE: Isotope Separator OnLine DEvice  
 PSB: Proton Synchrotron Booster  
 PS: Proton Synchrotron  
 LINAC: LINear ACcelerator  
 LEIR: Low Energy Ion Ring  
 CNOS: Cern Neutrinos to Gran Sasso

Based on CERN website, CERN, 2010  
 Revised and adapted by Antonella Del Boca, EFT Ctr.,  
 in collaboration with R. Eschinger, B. Dierckx, and  
 S. Moriguchi, PSI Dev. CERN, 2010/11





Длина тоннеля – 27 км



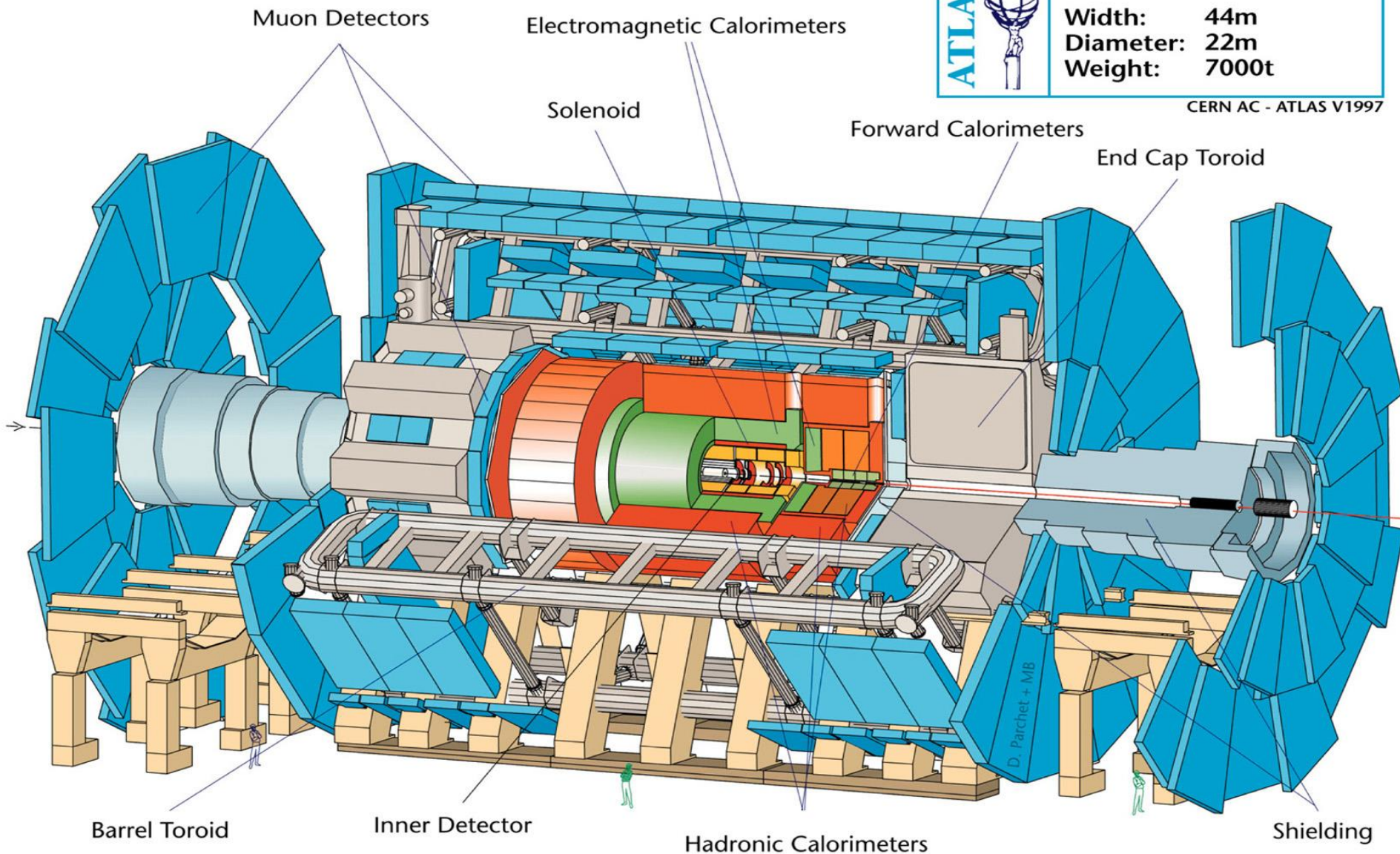
# Детектор ATLAS



## Detector characteristics

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

CERN AC - ATLAS V1997







CMS

Courtesy CMS/CERN



# Рождение частиц

