

Ядерная физика и Человек



Учебные материалы курса

"Физика атомного ядра и частиц"

- ▶ [Физика ядра и частиц. XX век](#)
- ▶ [Частицы и атомные ядра](#)
- ▶ [Шпаргалка для отличника \(Частицы и ядра\)](#)
- ▶ [Лекции Б.С. Ишханова \(2015 г.\)](#)
- ▶ [Лекции И.М. Капитонова \(2015 г.\)](#)
- ▶ [Лекции Е.В. Широкова \(2015 г.\)](#)
- ▶ [Программа курса "Физика ядра и частиц"](#)
- ▶ [Частицы и атомные ядра \(основные вопросы по курсу\)](#)
- ▶ [Обязательные вопросы для допуска к экзамену](#)
- ▶ [Семинары по физике ядра и частиц](#)
- ▶ [Частицы и атомные ядра. Семинары. Задачи](#)
- ▶ [Задачи и решения](#)
- ▶ [Описания задач общего ядерного практикума физического факультета МГУ](#)
- ▶ [Темы курсовых работ для студентов второго курса](#)

Материалы спецкурсов

- ▶ [Ядерная физика и человек \(2016 г.\)](#)
- ▶ [Мир атомных ядер](#)
- ▶ [Рождение и жизнь атомных ядер](#)
- ▶ [Ядерная физика и человек](#)
- ▶ [Микромир и Вселенная](#)
- ▶ [История атомного ядра](#)
- ▶ [Модели атомных ядер](#)
- ▶ [12 лекций по физике атомного ядра](#)
- ▶ [Ядерные реакции](#)
- ▶ [Ядерные реакции \(задачи\)](#)
- ▶ [Квантовая теория столкновений](#)
- ▶ [Фотоядерные реакции. Современный статус экспериментальных данных](#)
- ▶ [Взаимодействие фотонов и электронов с атомными ядрами](#)
- ▶ [Симметрии фотоядерных реакций](#)
- ▶ [Гигантский дипольный резонанс атомных ядер](#)
- ▶ [Ядерная резонансная флуоресценция](#)
- ▶ [Электромагнитные взаимодействия ядер](#)

Проект кафедры общей ядерной физики физического факультета МГУ

осуществляется при поддержке **НИИЯФ МГУ**.

Разное

- ▶ [Поиск по сайту](#)
- ▶ [Материалы научного семинара по ядерной физике НИИЯФ МГУ](#)
- ▶ [Что нового на сайте](#)
- ▶ [100-летие открытия атомного ядра. Резерфорд](#)
- ▶ [Нобелевские лауреаты по физике](#)
- ▶ [Хроника открытий в физике ядра и частиц](#)
- ▶ [Биографии физиков](#)
- ▶ [Фотографии физиков](#)
- ▶ [Ссылки на ресурсы по ядерной физике](#)
- ▶ [Школы, семинары, рабочие совещания, конференции](#)
- ▶ [Школы ЦЕРНа](#)
- ▶ [Физика атомного ядра и частиц в УФН](#)
- ▶ [Рефераты студентов](#)
- ▶ [Интерактивные проекты](#)
- ▶ [Физики шутят](#)
- ▶ [О сайте](#)

Справочные материалы

- ▶ [Частицы и атомные ядра. Основные понятия](#)
- ▶ [Карта атомных ядер](#)
- ▶ [Характеристики нуклида](#)
- ▶ [База данных по ядерным реакциям](#)
- ▶ [База ядерно-спектроскопических данных](#)
- ▶ [Ядерные данные \(CDFE\)](#)
- ▶ [Ядерные данные \(BNL\)](#)
- ▶ [Физика атомного ядра и частиц в Физической энциклопедии](#)
- ▶ [Обзор по физике частиц](#)
- ▶ [Таблицы частиц](#)
- ▶ [Константы и единицы измерений](#)
- ▶ [Греческий алфавит](#)

**Вселенная, в которой
мы живём**

Тайны Вселенной

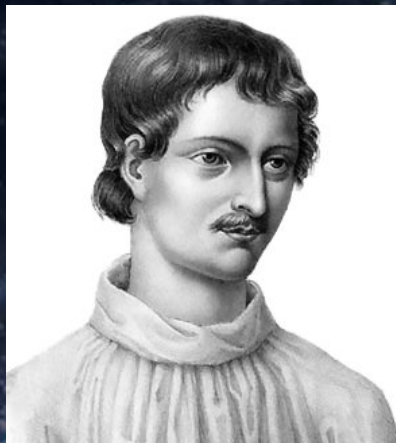
«Вполне возможно, что за гранью наших чувств находятся миры, которые мы не воспринимаем».

А. Эйнштейн.

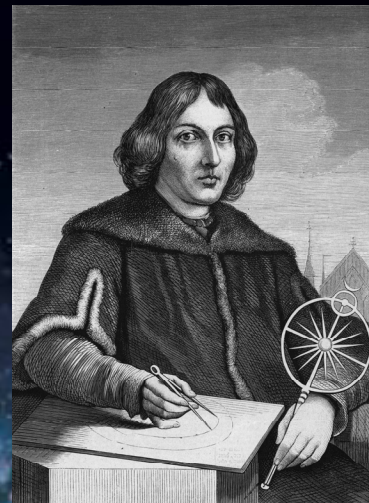
Земля



Эволюция представлений о Солнечной системе



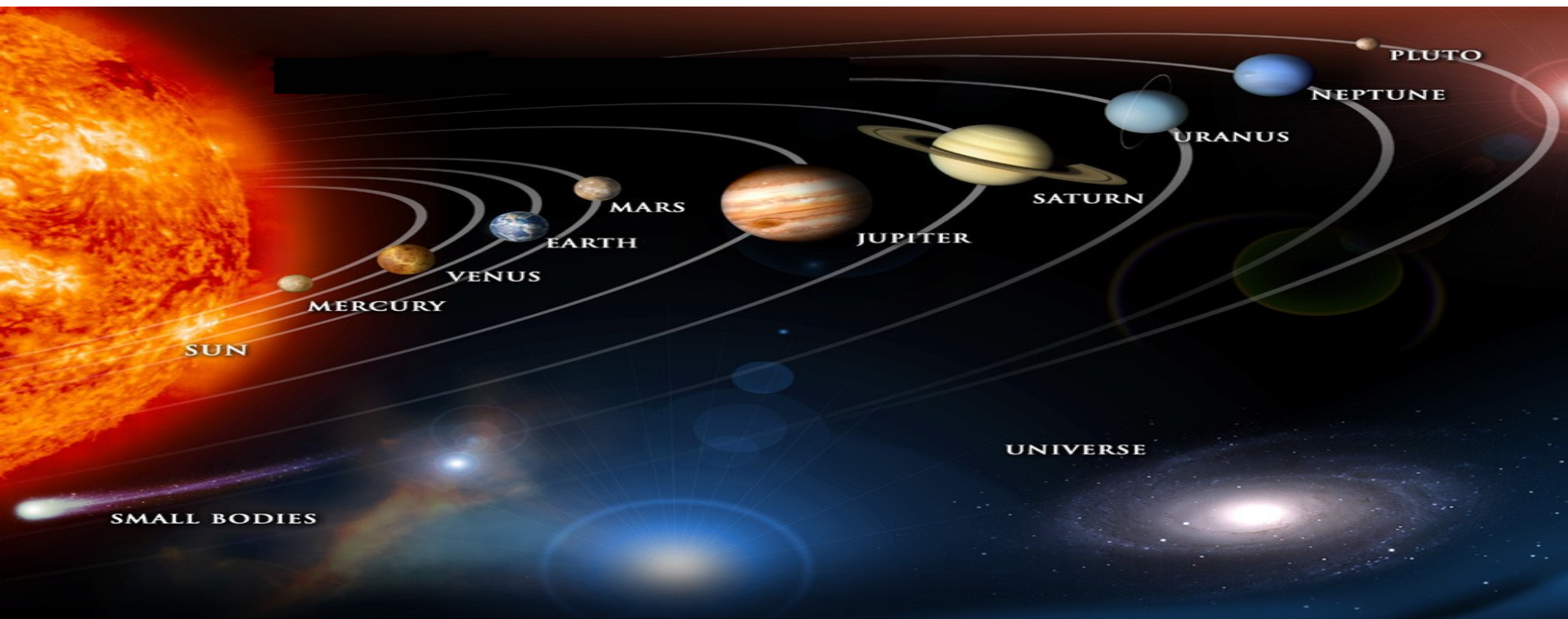
Дж. Бруно
1548 – 1600



Н. Коперник
1473 – 1573

Млечный путь

Планеты Солнечной системы



Планета	Среднее расстояние от Солнца, а.е.	Период обращения	Период вращения	Плотность, г/см ³	Диаметр, км	Масса, кг	Кол-во спутников	Температура
Меркурий	0,387	88 сут	58,6 сут	5,44	4878	$3,3 \cdot 10^{23}$	0	350
Венера	0,72	224,7 сут	243 сут	5,5	6050	$4,9 \cdot 10^{24}$	0	480
Земля	1,00	365,24 сут	24 час	5,52	12756,3	$6 \cdot 10^{24}$	1	22
Марс	1,52	687 сут	24,5 час	3,95	6780	$6,4 \cdot 10^{23}$	2	-23
Юпитер	5,2	11,9 лет	10 час	1,33	142600	$1,9 \cdot 10^{27}$	16	-150
Сатурн	9,54	29,5 лет	10,2 час	0,68	120600	$5,7 \cdot 10^{26}$	30	-180
Уран	19,18	84 года	17 час	1,26	51200	$8,7 \cdot 10^{25}$	15	-215
Нептун	30,06	164,8 лет	17,8 час	1,67	49500	$1,03 \cdot 10^{26}$	6	-217
Плутон	39,44	247,7 лет	6,4 сут	0,17	3000	$1,79 \cdot 10^{22}$	1	-223

Структура материи

- Вселенная
- Скопление галактик
- Галактики
- Звезды
- Планеты
- Молекулы
- Атомы
- Атомные ядра
- Электроны
- Протоны, нейтроны

Тёмная материя
Тёмная энергия

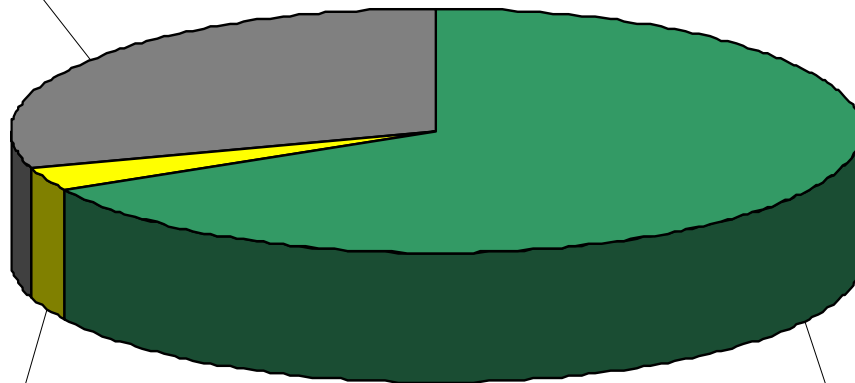
Характеристики Вселенной

БАРИОНЫ	0.02-0.05
в том числе, ЗВЁЗДЫ:	0.002-0.003
ФОТОНЫ	$4.9 \cdot 10^{-5}$
НЕЙТРИНО	$3.3 \cdot 10^{-5}$
ТЁМНАЯ МАТЕРИЯ	0.2-0.4
ТЕМНАЯ ЭНЕРГИЯ (ВАКУУМ)	0.6-0.8
ПОЛНАЯ ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА-ЭНЕРГИИ	1.02 ± 0.02

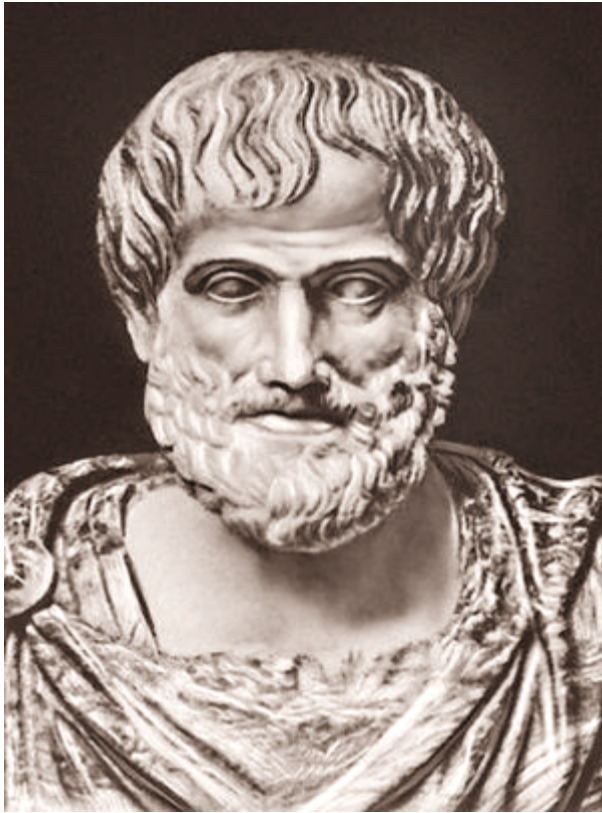
Темная
материя

Барионы

Вакуум



Аристотель



384 – 322 гг. до н.э.

Дедуктивный метод объяснения явлений природы, не предусматривающий обращения к эксперименту

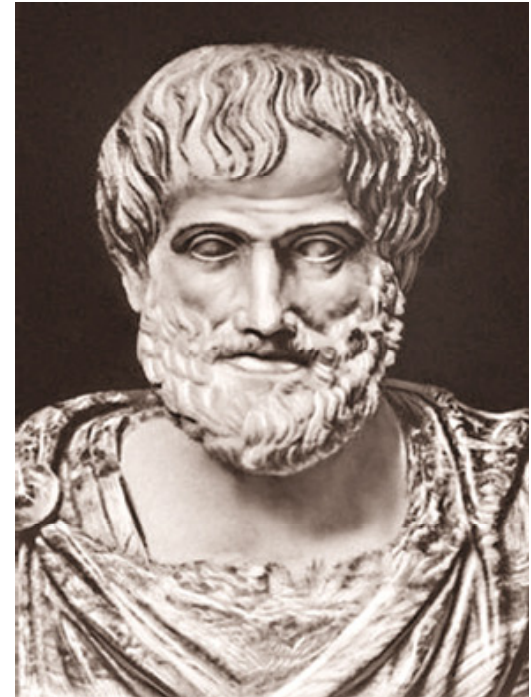


Аристотель

Основу учения Аристотеля составлял дедуктивный метод – логика абстрактного мышления, не предусматривающий обращения к эксперименту. Исходя из ряда постулатов, которые, *казалось*, находились в согласии с повседневными наблюдениями, он делал из них различные выводы о явлениях природы. Так Аристотель считал, что

- скорость падения различных тел пропорциональна весу тела,
- движение происходит, пока действует «побудительная причина (сила)» и при отсутствии этой силы оно прекращается.

Основу его модели мироздания составляло представление о том, что всё вещество состоит из четырех основных элементов – Земли, Воды, Воздуха и Огня. Согласно учению Аристотеля материя была непрерывной средой – вещество можно делить бесконечно. Впоследствии эти представления Аристотеля явились основой концепции непрерывного гравитационного и электромагнитного полей.



Аристотель
384–322 до н.э.

Атом Демокрита

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.



Демокрит
460 – 360 до н.э.

Химические элементы

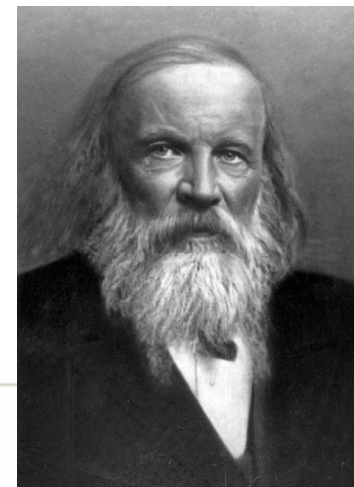
Одна из первых работ Лавуазье была посвящена выяснению вопроса, можно ли Воду превратить в Землю. Лавуазье принадлежит заслуга окончательного опровержения теории флогистона. Он показал, что горение не является реакцией разложения, в результате которой выделяется флогистон, а наоборот, является реакцией 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

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

Лантаноиды

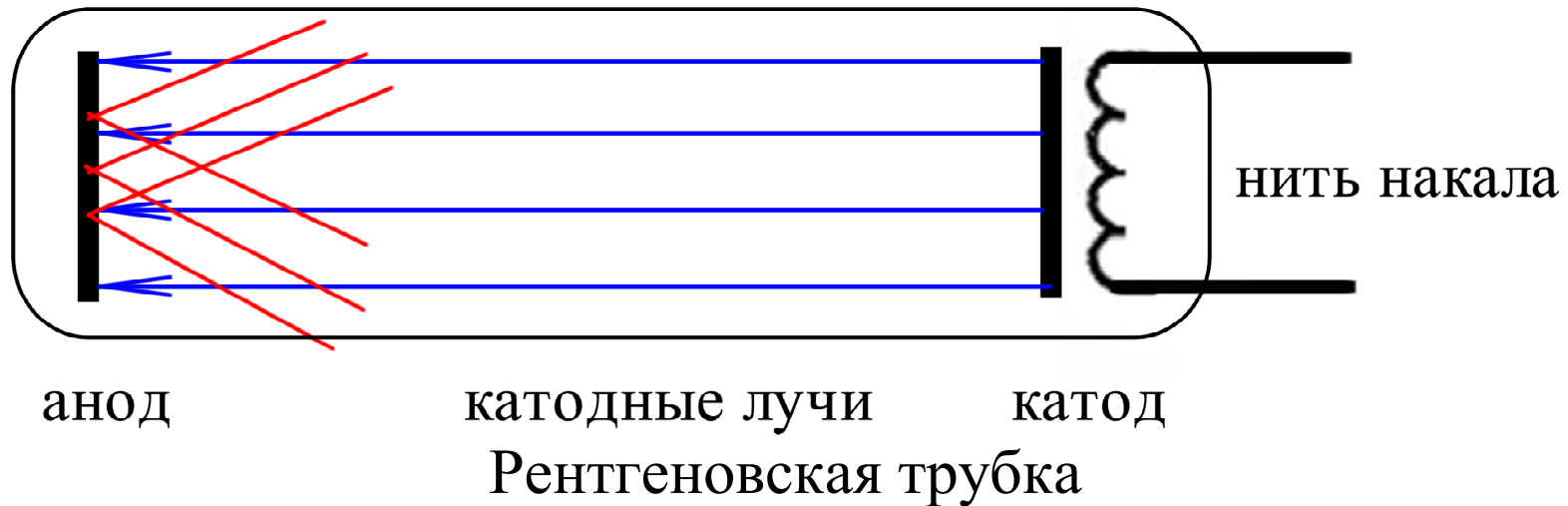
57 La	58 Ce	59 Pr	60 Nd	61 Pm	62 Sm	63 Eu	64 Gd	65 Tb	66 Dy	67 Ho	68 Er	69 Tm	70 Yb	71 Lu
--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

Актиноиды

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

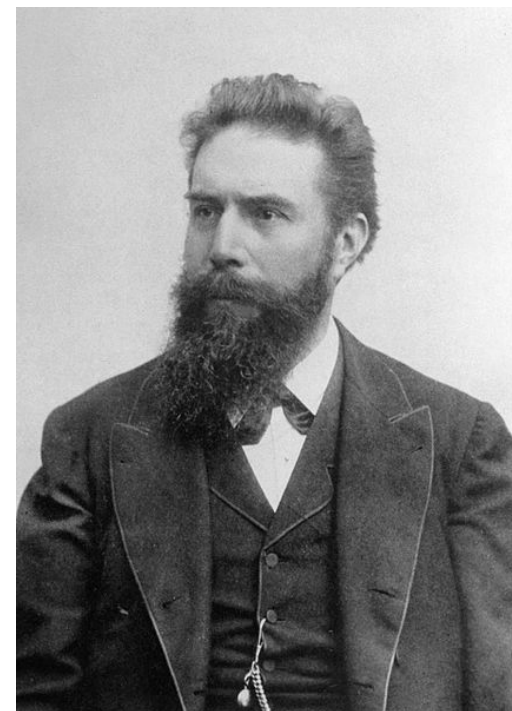
1895 г. Рентгеновские лучи

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

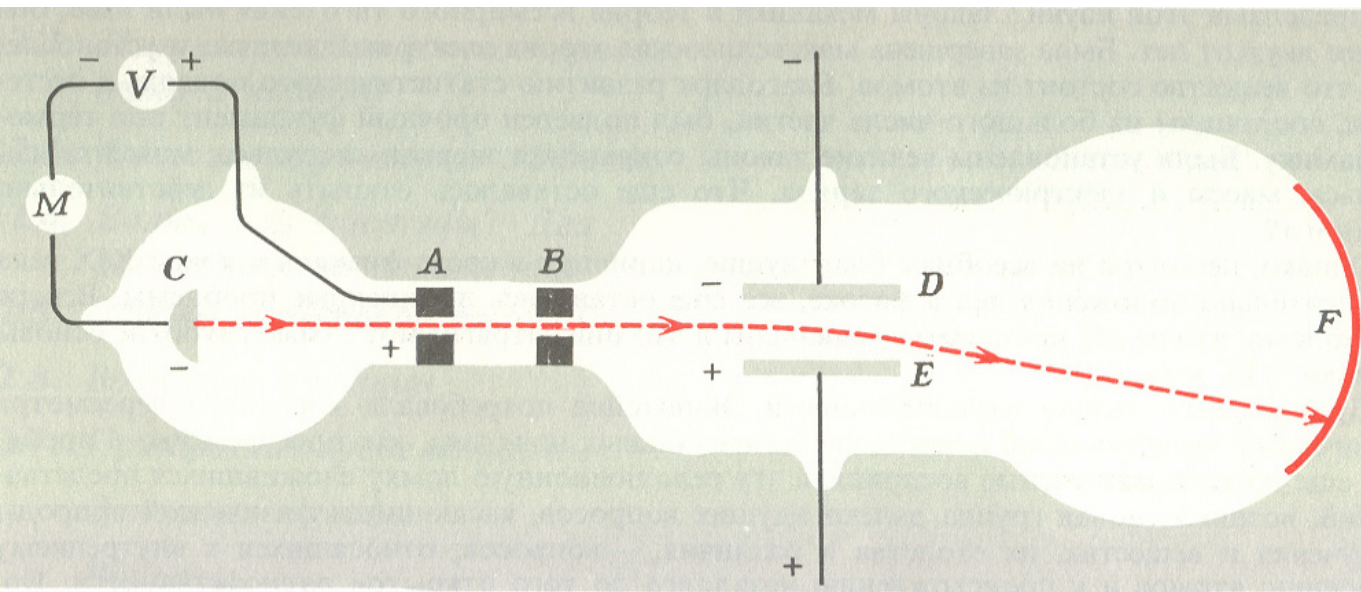
Дж. Дж. Томсон

1897 Электрон

1904 Модель атома



Дж. Дж. Томсон
1856 - 1940

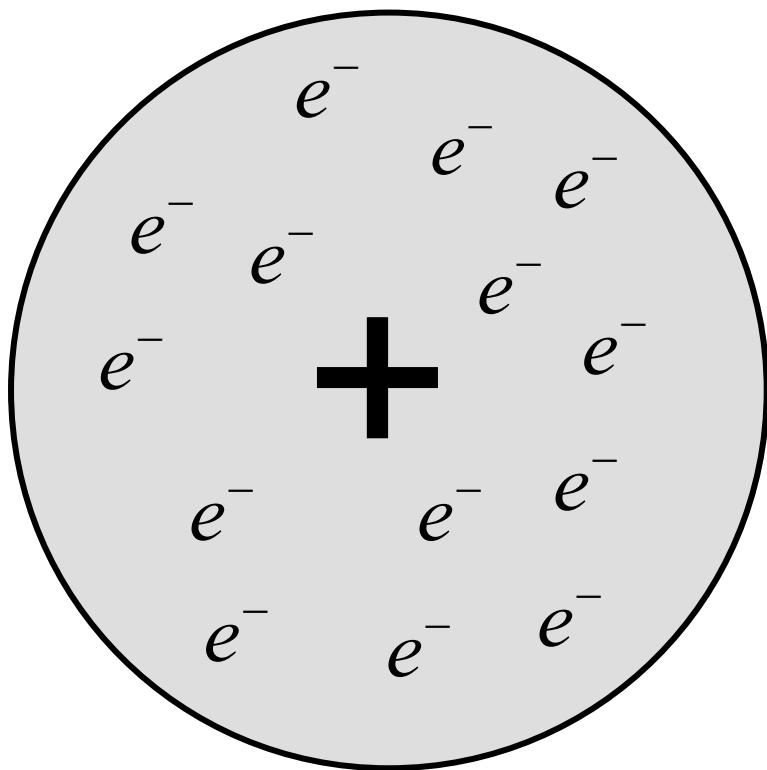


Нобелевская премия по физике

1906 г. – Дж. Дж. Томсон

За большие заслуги в теоретических и экспериментальных исследованиях электрической проводимости газов

Модель атома Томсона

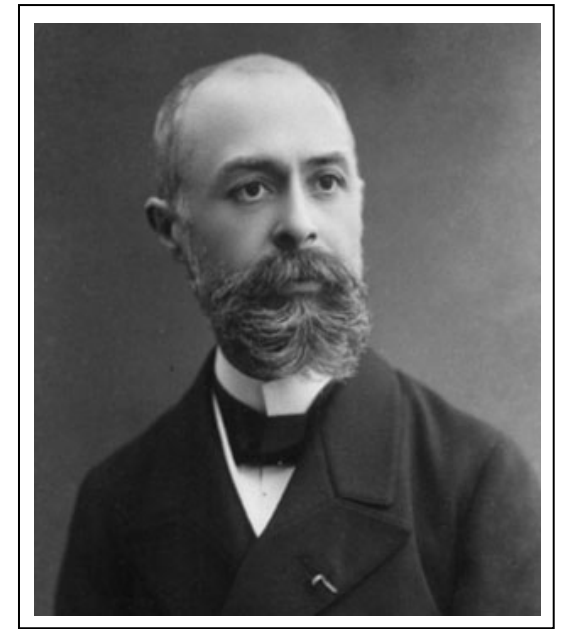
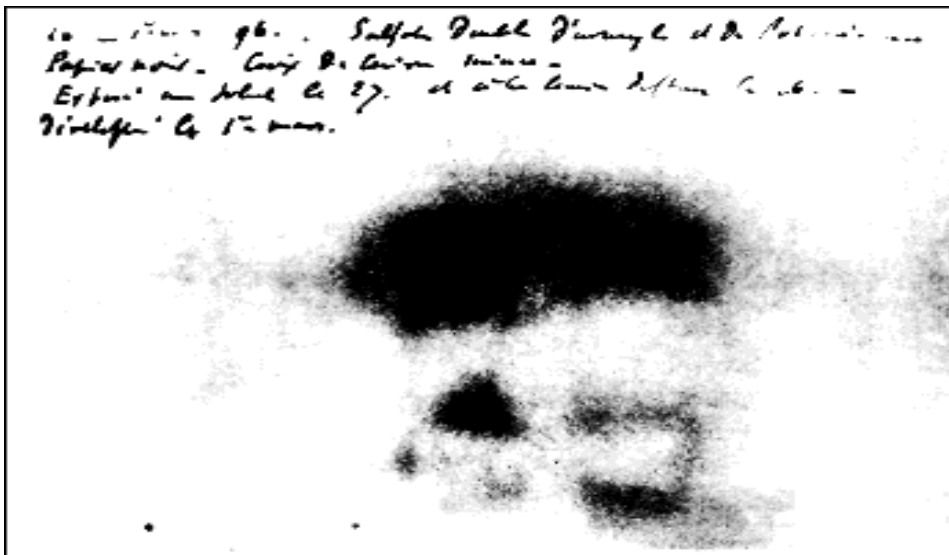


Электрон –
составная часть
атома

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

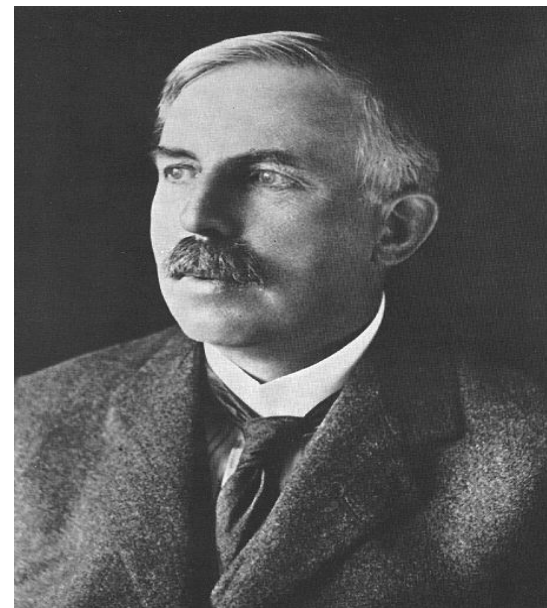
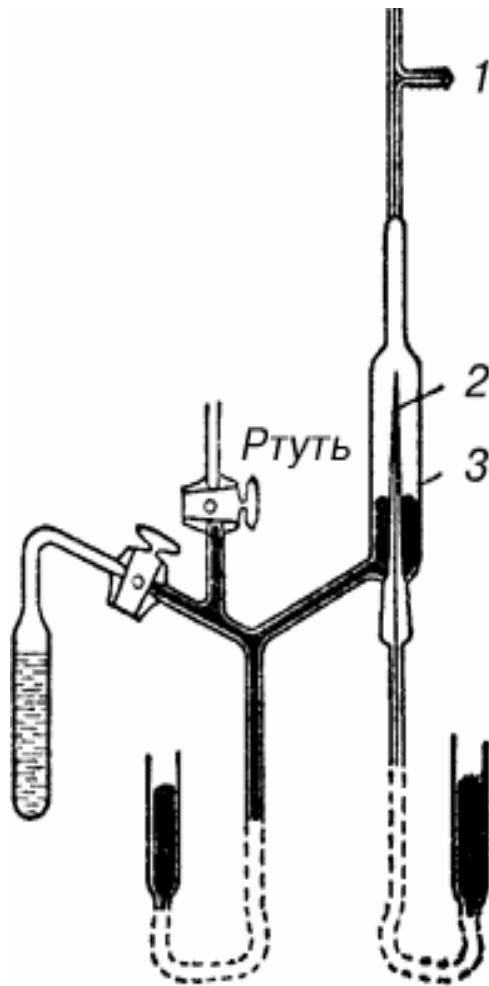
1911 г. – М. Кюри. За выдающиеся заслуги в развитии химии: открытие элементов радия и полония, выделение радия и изучение природы и соединений этого замечательного элемента



Мария и Пьер Кюри

1899 г.

Э. Резерфорд открыл, что уран излучает положительно заряженные 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

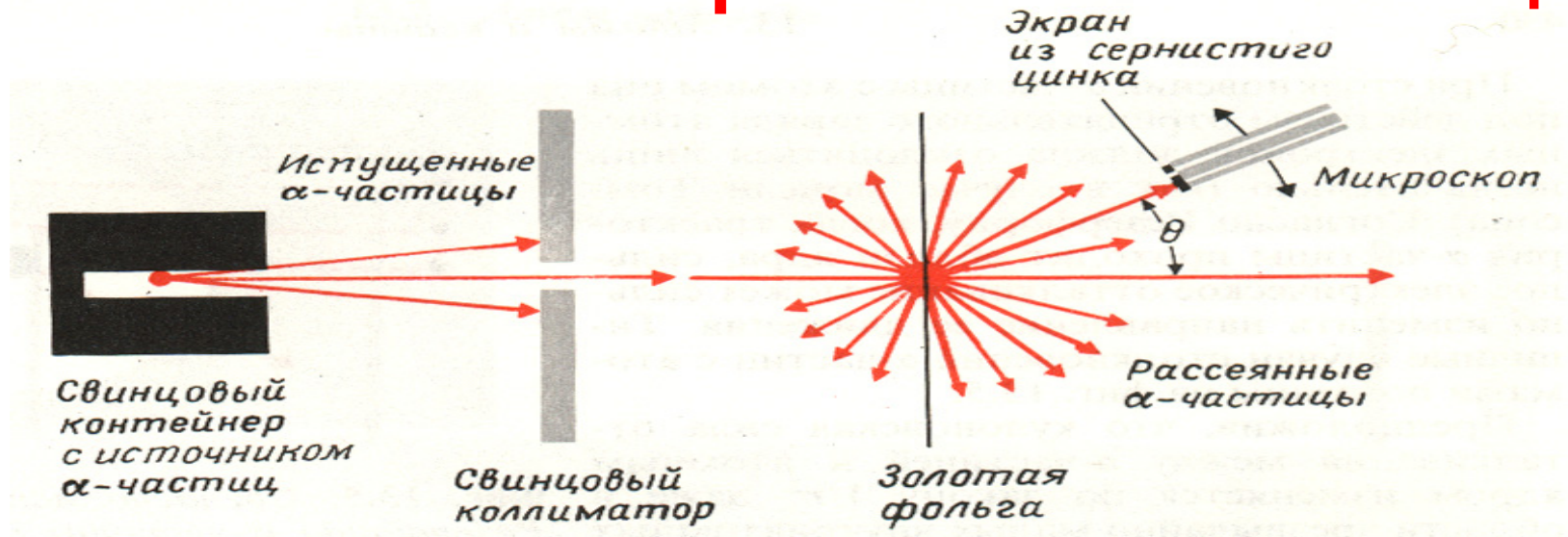
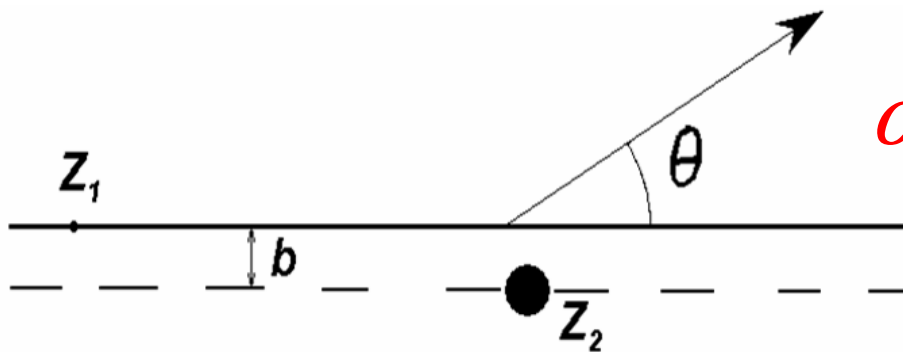


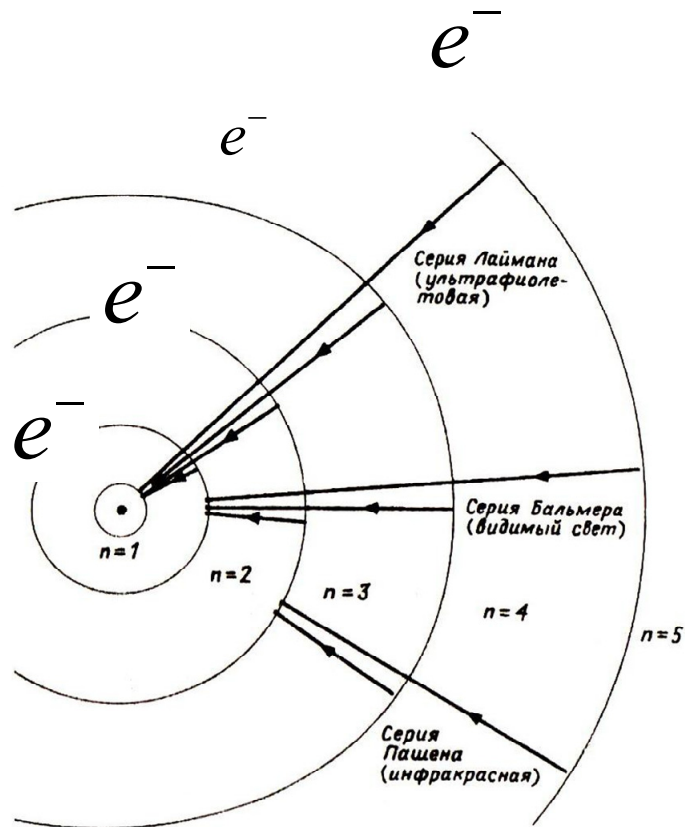
Схема эксперимента, в котором исследовалось рассеяние альфа-частиц



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

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

Модель атома Бора



Нильс Бор
1885 - 1962

Нобелевская премия по физике

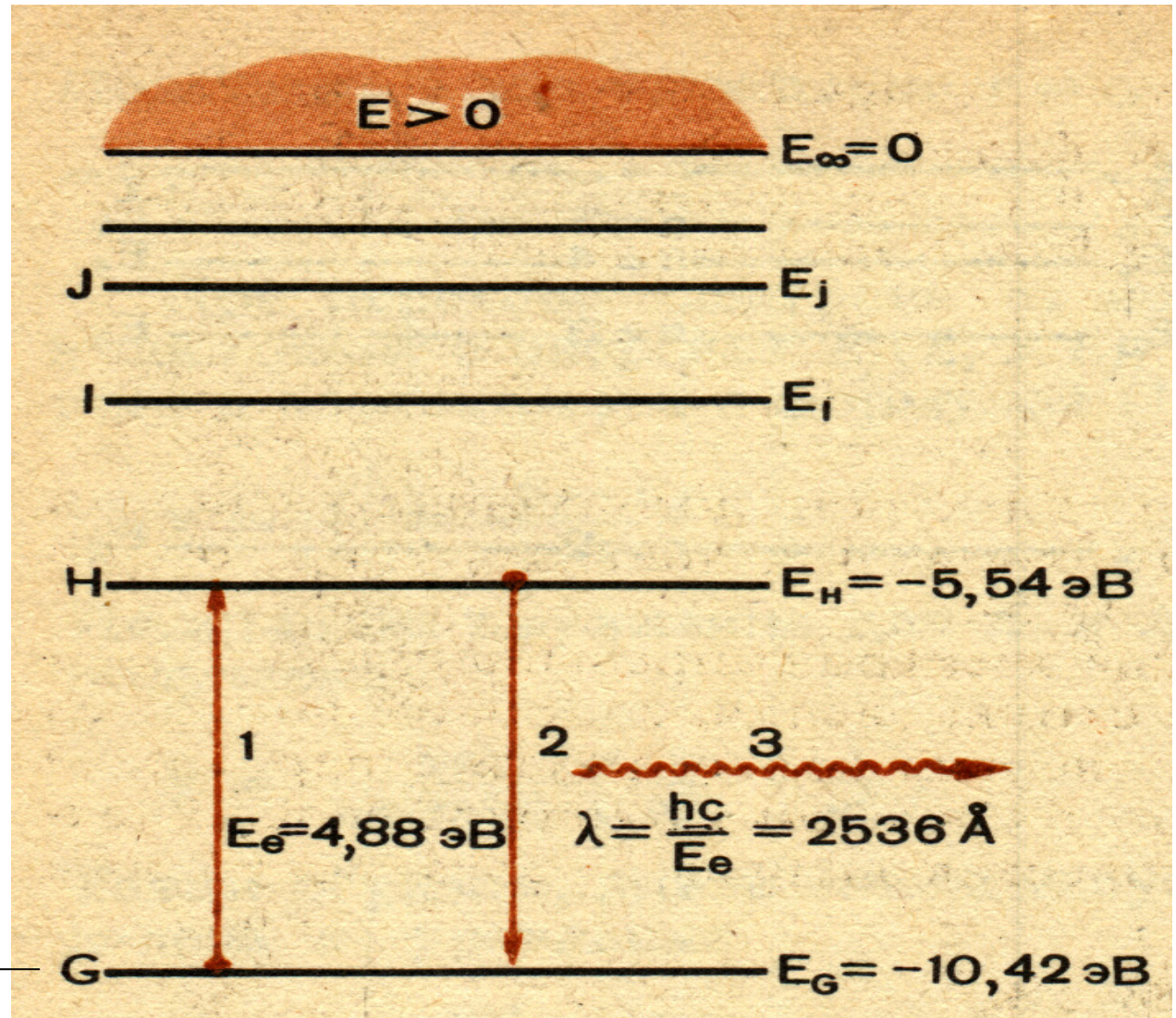
1922 г. - Н. Бор.

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 $h\nu = E_i - E_f$.

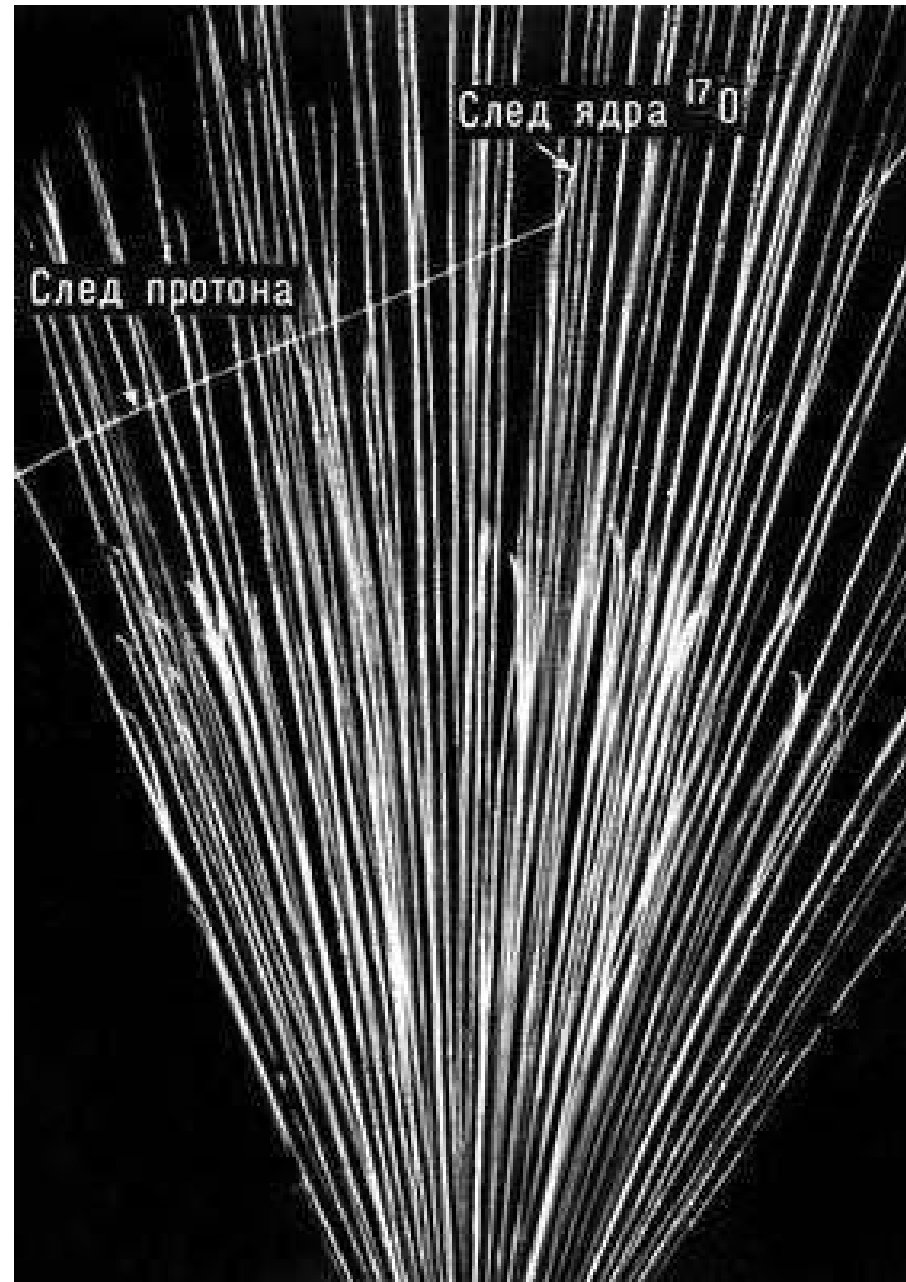
Спектр излучения и поглощения атома



Основное
состояние

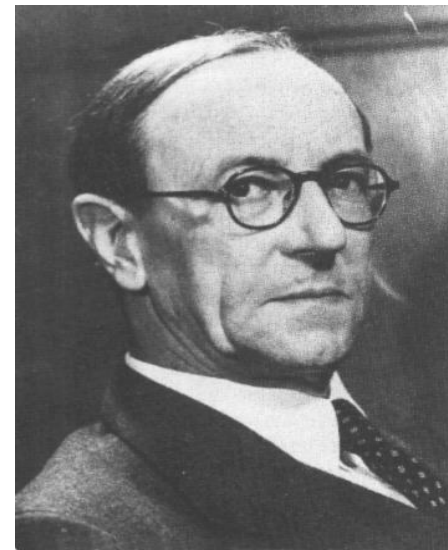
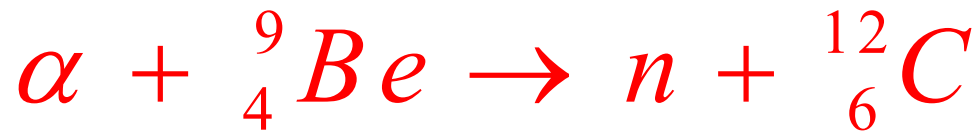
1919 г.

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

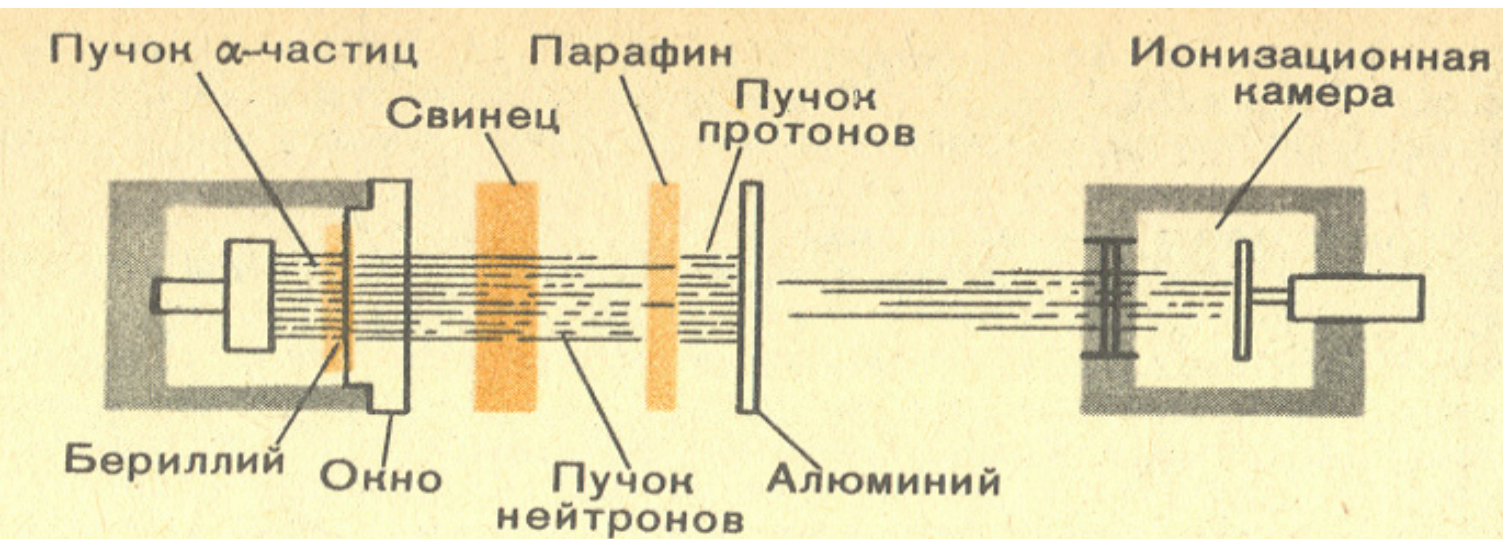


Открытие нейтрона

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



$$Z = 82$$

$$N = 126$$

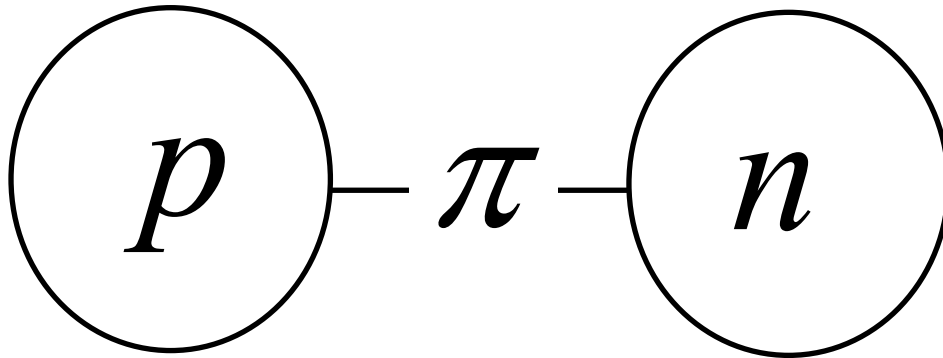
$$A = 208$$

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 .

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

Основные силы природы

Две основные силы, с которыми имеем дело в повседневной жизни:

- гравитационные силы (взаимодействия),
- электромагнитные силы (взаимодействия).

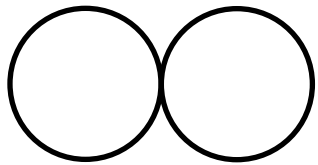
Исследование процессов с участием атомных ядер и элементарных частиц показало, что в природе существуют ещё два типа взаимодействий:

- сильные взаимодействия,
- слабые взаимодействия.

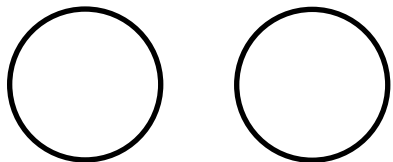
4 типа взаимодействий

- Гравитационное взаимодействие
- Электромагнитное взаимодействие
- Сильное взаимодействие
- Слабое взаимодействие

2 концепции взаимодействия



Контактное взаимодействие

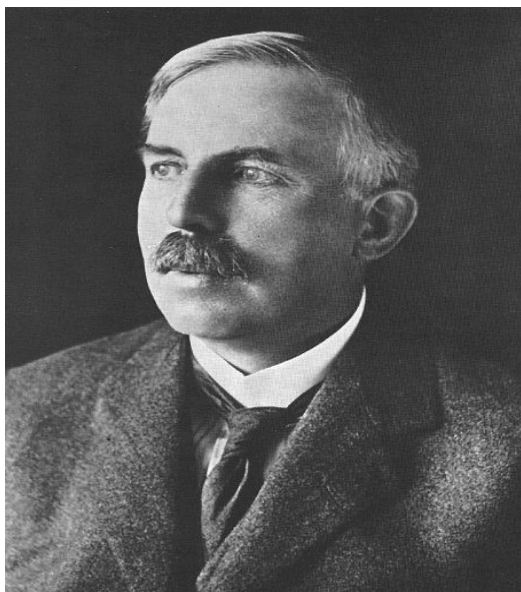


Взаимодействие дальнего действия
Концепция поля

Строение атома



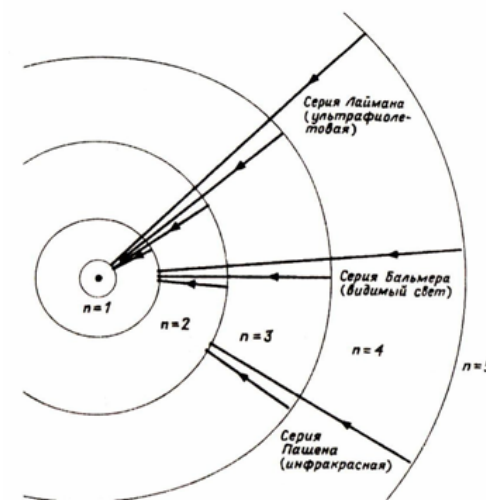
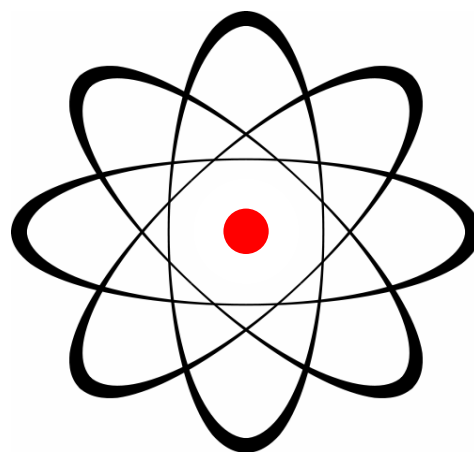
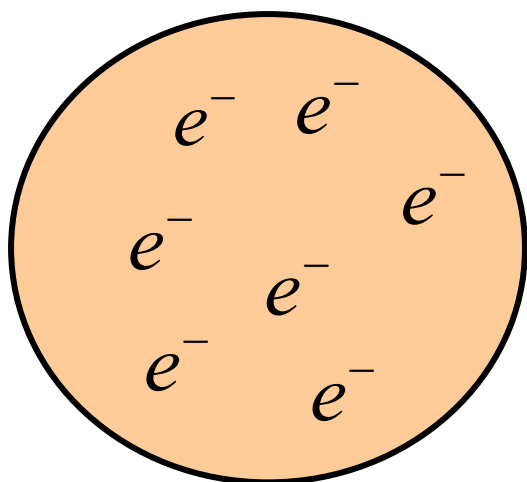
Дж. Дж. Томсон
1856 - 1940



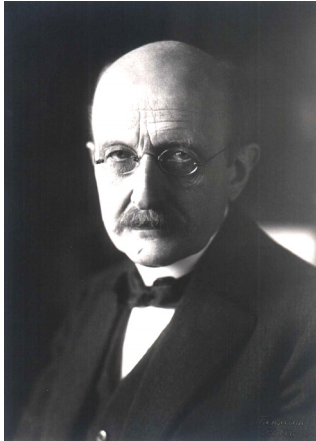
Эрнест Резерфорд
1871 - 1937



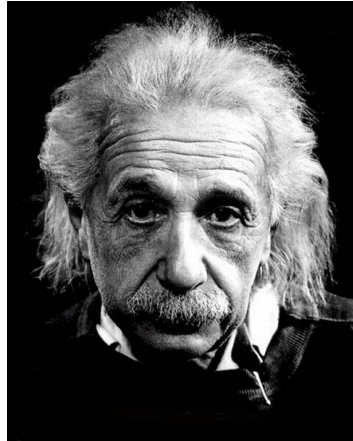
Нильс Бор
1885 - 1962



Квантовое мышление



М. Планк
1858 – 1947



А. Эйнштейн
1879 – 1955



А. Комптон
1892 – 1962



Л. Де Бройль
1892 – 1987

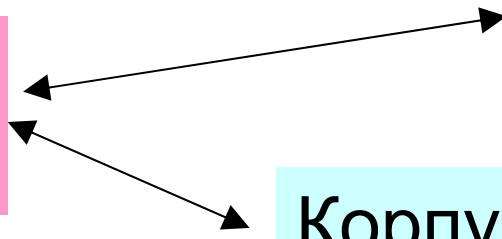
$$E = h\nu$$

$$p = h / \lambda$$

Квантовая
частица

Волновые свойства

Корпускулярные свойства



Классическая физика

Квантовая физика

1. Описание состояния

$(x, y, z, p_x, p_y, p_z, t)$

$\psi(x, y, z, t)$

2. Изменение состояния во времени

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{dH}{d\vec{p}}, \quad \frac{d\vec{p}}{dt} = -\frac{dH}{d\vec{r}}$$

$$i\hbar \frac{d\Psi}{dt} = \hat{H}\Psi$$

3. Измерения

x, y, z, p_x, p_y, p_z

$$\Delta x \cdot \Delta p_x \approx \hbar$$

$$\Delta y \cdot \Delta p_y \approx \hbar$$

$$\Delta z \cdot \Delta p_z \approx \hbar$$

4. Детерминизм

Динамическое
(не статистическое) описание

4. Статистическая теория

$$|\psi(x, y, z, t)|^2$$

$$\langle F \rangle = \int \Psi^* \hat{F} \Psi dV$$

5. Гамильтониан

$$H = E + U(x, y, z) = \frac{p^2}{2m} + U(x, y, z)$$

$$\hat{H} = \hat{E} + \hat{U}(x, y, z) = \frac{\hat{p}^2}{2m} + \hat{U}(x, y, z)$$