

ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЧАСТИЦ

- **Андрей Георгиевич Попеко**
- **Александр Владимирович Еремин**
- **Малышев Олег Николаевич**
(физпрактикум)

Что нас ждёт?

Физика атомного ядра и частиц	экзамен
Семинары	зачёт
Ядерно-физический практикум	зачёт

ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА И ЧАСТИЦ

Программа курса

- 1. Введение.
- 2 Основные свойства атомных ядер
- 3. Радиоактивность
- 4. Нуклон - нуклонное взаимодействие и свойства ядерных сил
- 5. Модели атомных ядер
- 6. Ядерные реакции
- 7. Деление ядер
- 8. Сверхтяжёлые ядра и экспериментальные методы физики низких энергий
- 9. Взаимодействие ядерного излучения с веществом
- 10. Ядерные технологии
- 11. Частицы и взаимодействия
- 12. Фундаментальные частицы Стандартной модели.
- 13. Современные астрофизические представления
- 14. Эксперименты в физике высоких энергий
- 15. Космические лучи.

Литература

Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н. П. Юдин. "Частицы и атомные ядра", М., Издательство ЛКИ, 2007.

И.М. Капитонов. "Введение в физику ядра и частиц", М., Издательство Комкнига, 2006

К.Н. Мухин. "Экспериментальная ядерная физика" (в трех томах), СПб., Издательство Лань, 2008.

- Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Н. П. Юдин. "Частицы и атомные ядра", М., МГУ 2005.
- Н.Г. Гончарова, Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, Э.И. Кэбин, М. Е. Степанов. "Физика ядра и частиц. Задачи с решениями", М., Из-во УНЦДО, 2003.
- "Субатомная физика. Вопросы. Задачи. Факты." - под редакцией Б.С. Ишханова, изд-во МГУ, 1994.
- К.Н. Мухин. "Экспериментальная ядерная физика" (в трех томах), М., Энергоатомиздат. 1993.
- А. Любимов, Д. Киш. "Введение в экспериментальную физику частиц", Дубна, Изд. ОИЯИ, 1999.
- Б.С. Ишханов, И.М. Капитонов, И.А. Тутынь. "Нуклеосинтез во Вселенной", М., Изд. МГУ, 1999.

□ http://theory.asu.ru/~raikin/Students/IT_SE/nucphys.sinp.msu.ru/npi.html

Масштабы Вселенной

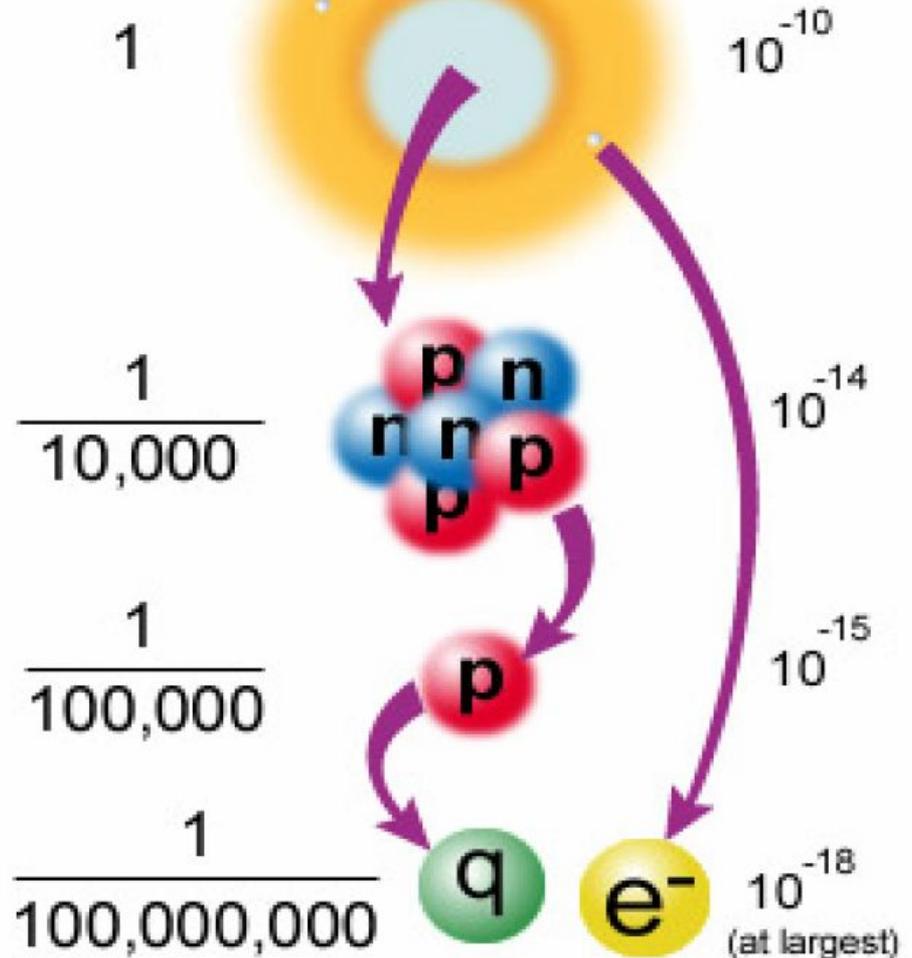


Масштабы Вселенной

Масштабы пространственных размеров исследуемых нами структур мира различаются в 10^{45} раз! В основе этого бесконечного разнообразия структур лежит ограниченный набор фундаментальных частиц, взаимодействие между которыми приводит сначала к существованию адронов и атомных ядер, затем к миру атомов и молекул, бесчисленные соединения которых формируют многообразие органических структур и минералов, а бесконечное тиражирование атомов и молекул создает все многообразие макроскопических структур мира.

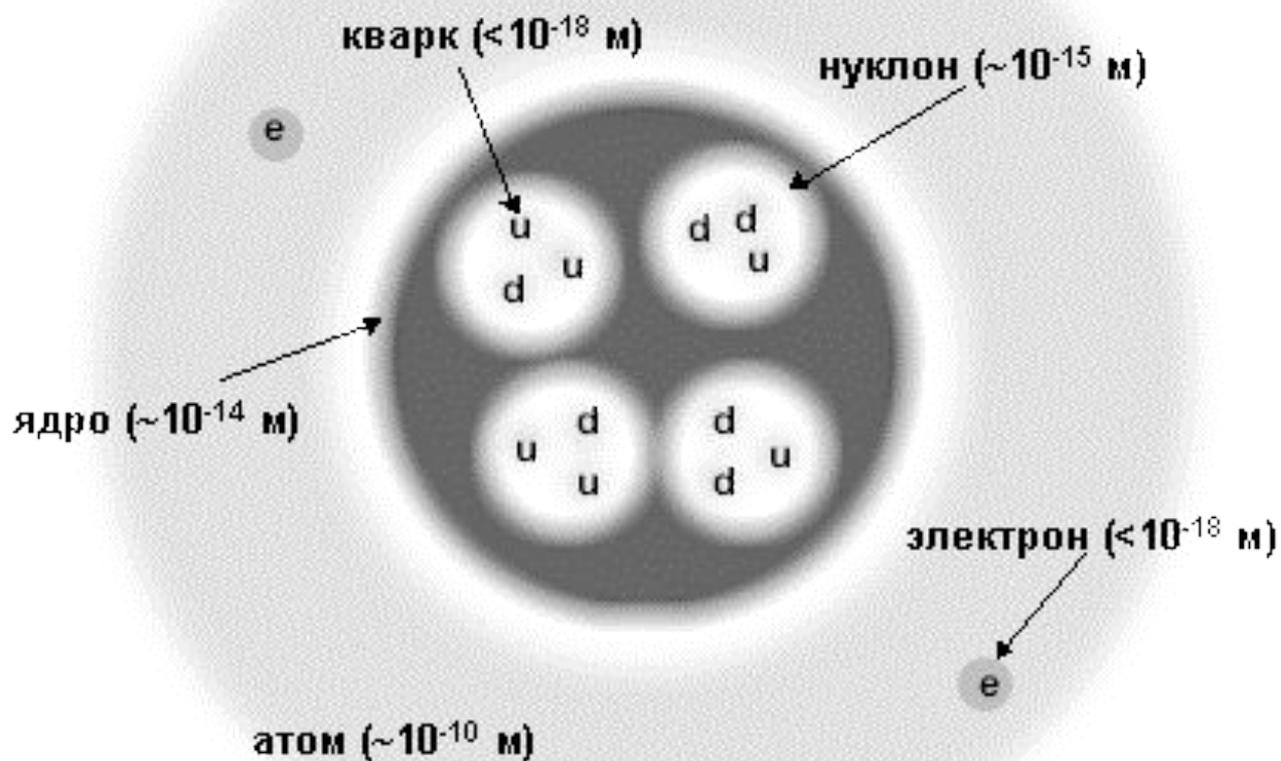
Размеры

size in atoms and in meters



Физика ядра и частиц изучает закономерности процессов, происходящих на расстояниях меньше 10^{-14} м. Основной метод исследования таких масштабов — это столкновение частиц друг с другом. При этом необходимо ускорять сталкивающиеся частицы до очень больших энергий. Для этого строят ускорители частиц. Для регистрации результатов взаимодействия частиц создаются различного типа детекторы.

Размеры ядра



Ядерная физика

- Эксперимент
- Теория
- Техника (ускорители)
- Техника (детекторы)

Элементарные частицы

Аристотель (384 – 322 до н.э.)

Элементарные частицы

Элементарными частицами называют частицы, которые на современном уровне знаний являются неделимыми, не состоят из других частиц. По мере наших развитий о природе материи в качестве элементарных объектов выступали различные частицы. Аристотель (384 – 322 гг. до н.э.) считал, что все вещество во Вселенной состоит из четырех основных элементов – земли, воздуха, воды и огня, на которые действуют две силы: сила тяжести, влекущая землю и воду вниз, и сила легкости, под действием которой огонь и воздух устремляются вверх. Такой подход к описанию строения Вселенной, когда все делится на вещество и взаимодействия, сохраняется до сих пор.

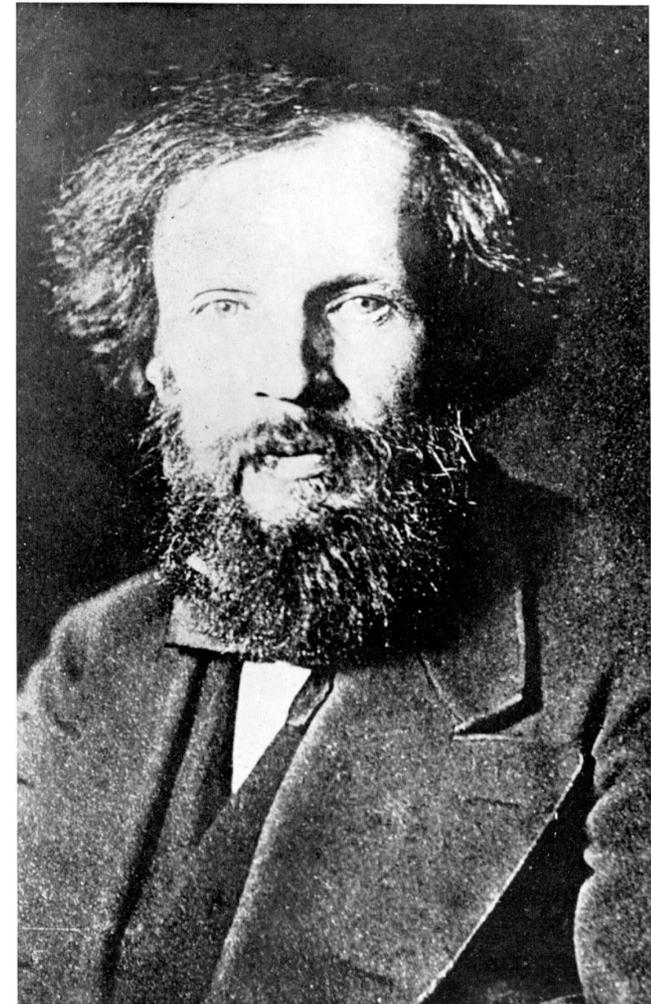
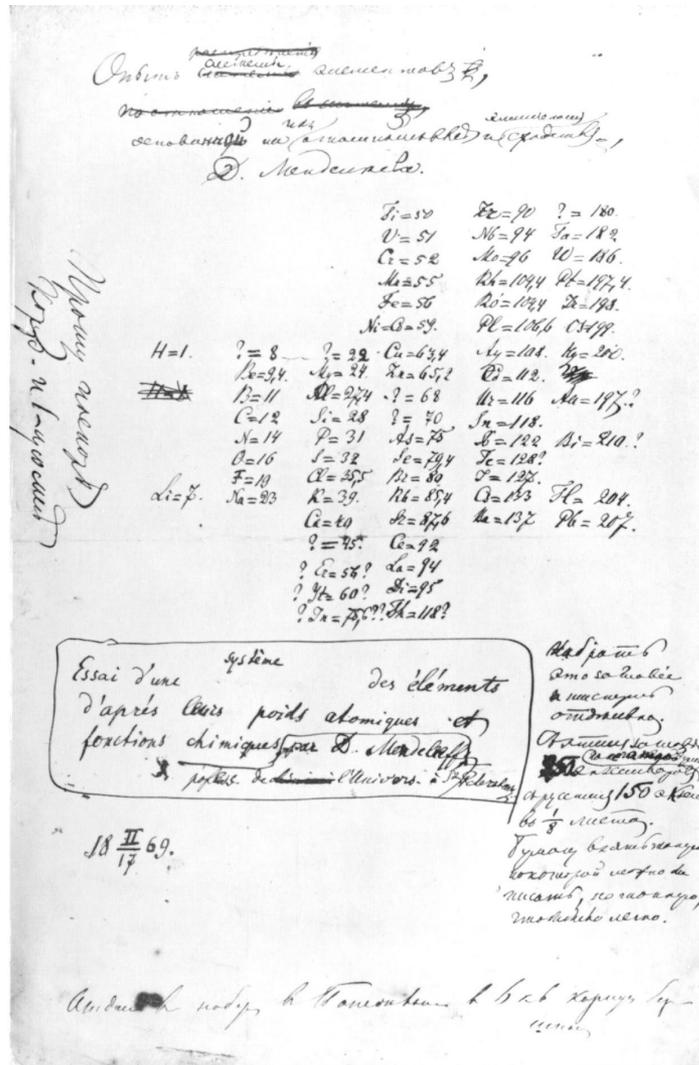


Всё делится на:

- вещество: воздух, вода, земля, огонь,
- взаимодействия: лёгкость и тяжесть

Периодическая система элементов

Периодическая система элементов Д.И Менделеева 1869 г.



1834 -1907

За основу классификации элементов Д. И. Менделеев выбрал химические свойства элементов.

Периодическая система элементов

Создание Периодической системы элементов имело два фундаментальных последствия.

- Расстановка всех химических элементов по клеточкам Периодической системы исключило существование каких-либо промежуточных элементов. Сегодня открыто 118 химических элементов и поиски новых, сверхтяжелых элементов продолжаются. Однако известно точно, что до 118-го элемента включительно их всего 118.
- Периодическое изменение химических свойств элементов наводит на мысль о более глубоких принципах их устройства. Окончательно это стало ясно после открытия электрона и атомного ядра.

На смену наивным представлениям древних греков о четырёх элементах, лежащих в основе всех веществ Вселенной, пришло представление о следующем уровне организации материи — химических элементах.

Периодическая таблица элементов Л И Менделеева

1																		18																		
IA																		VIII A																		
Водород 1 H 1,00794 Hydrogen																		Гелий 2 He 4,0026 Helium																		
Литий 3 Li 6,941 Lithium			Бериллий 4 Be 9,01218 Beryllium															Бор 5 B 10,811 Boron		Углерод 6 C 12,011 Carbon		Азот 7 N 14,0067 Nitrogen		Кислород 8 O 15,9994 Oxygen		Фтор 9 F 18,9984 Fluorine		Неон 10 Ne 20,1797 Neon								
Натрий 11 Na 22,989768 Sodium		Магний 12 Mg 24,3050 Magnesium																							Алюминий 13 Al 26,981539 Aluminum		Кремний 14 Si 28,0855 Silicon		Фосфор 15 P 30,97376 Phosphorus		Сера 16 S 32,066 Sulfur		Хлор 17 Cl 35,4527 Chlorine		Аргон 18 Ar 39,948 Argon	
Калий 19 K 39,0983 Potassium		Кальций 20 Ca 40,078 Calcium		Скандий 21 Sc 44,95591 Scandium		Титан 22 Ti 47,88 Titanium		Ванадий 23 V 50,9415 Vanadium		Хром 24 Cr 51,9961 Chromium		Марганец 25 Mn 54,93805 Manganese		Железо 26 Fe 55,847 Iron		Кобальт 27 Co 58,93320 Cobalt		Никель 28 Ni 58,6934 Nickel		Медь 29 Cu 63,546 Copper		Цинк 30 Zn 65,39 Zinc		Галлий 31 Ga 69,723 Gallium		Германий 32 Ge 72,61 Germanium		Мышьяк 33 As 74,82159 Arsenic		Селен 34 Se 78,96 Selenium		Бром 35 Br 79,904 Bromine		Криптон 36 Kr 83,80 Krypton		
Рубидий 37 Rb 85,4678 Rubidium		Стронций 38 Sr 87,62 Strontium		Иттрий 39 Y 88,90585 Yttrium		Цирконий 40 Zr 91,224 Zirconium		Нюбий 41 Nb 92,90638 Niobium		Молибден 42 Mo 95,94 Molybdenum		Технеций 43 Tc [98] Technetium		Рутений 44 Ru 101,07 Ruthenium		Родий 45 Rh 102,90550 Rhodium		Палладий 46 Pd 106,42 Palladium		Серебро 47 Ag 107,8682 Silver		Кадмий 48 Cd 112,411 Cadmium		Индий 49 In 114,818 Indium		Олово 50 Sn 118,710 Tin		Сурьма 51 Sb 121,757 Antimony		Теллур 52 Te 127,60 Tellurium		Иод 53 I 126,90447 Iodine		Ксенон 54 Xe 131,29 Xenon		
Цезий 55 Cs 132,90543 Cesium		Барий 56 Ba 137,327 Barium		Лантан 57 La 138,905 Lanthanum		Гафний 72 Hf 178,49 Hafnium		Тантал 73 Ta 180,9479 Tantalum		Вольфрам 74 W 183,84 Tungsten		Рений 75 Re 186,207 Rhenium		Осний 76 Os 190,23 Osmium		Иридий 77 Ir 192,22 Iridium		Платина 78 Pt 195,08 Platinum		Золото 79 Au 196,96654 Gold		Ртуть 80 Hg 200,59 Mercury		Таллий 81 Tl 204,3833 Thallium		Свинец 82 Pb 207,2 Lead		Висмут 83 Bi 208,98037 Bismuth		Полоний 84 Po [209] Polonium		Астат 85 At [210] Astatine		Радон 86 Rn [222] Radon		
Франций 87 Fr [223] Francium		Радий 88 Ra 226,025 Radium		Актиний 89 Ac [227] Actinium		Резерфордий 104 Rf [261] Rutherfordium		Дубний 105 Db [262] Dubnium		Сибгоргий 106 Sg [266] Seaborgium		Борий 107 Bh [262] Bohrium		Хассий 108 Hs [269] Hassium		Мейтнерий 109 Mt [268] Meitnerium		Дармштадтий 110 Ds [269] Darmstadtium		Рентгений 111 Rg [272] Roentgenium		Коперниций 112 Cn [285] Copernicium		Флеровий 114 Fl [287] Flerovium		Ливерморий 116 Lv [293] Livermorium		117		118						

Лантаноиды Lanthanides

Церий 58 Ce 140,115 Cerium	Прометий 59 Pr 140,90765 Promethium	Неодим 60 Nd 144,24 Neodymium	Прометий 61 Pm [145] Promethium	Самарий 62 Sm 150,36 Samarium	Европий 63 Eu 151,965 Europium	Гадолиний 64 Gd 157,25 Gadolinium	Тербий 65 Tb 158,9234 Terbium	Диспрозий 66 Dy 162,50 Dysprosium	Гольмий 67 Ho 164,93032 Holmium	Эрбий 68 Er 167,26 Erbium	Тулий 69 Tm 168,93421 Thulium	Иттербий 70 Yb 173,04 Ytterbium	Лютеций 71 Lu 174,967 Lutetium
-------------------------------------	--	--	--	--	---	--	--	--	--	------------------------------------	--	--	---

Водород 1 H 1,00794 Hydrogen

Актиноиды Actinides

Торий 90 Th 232,0381 Thorium	Протактиний 91 Pa 231,03588 Protactinium	Уран 92 U 238,0289 Uranium	Нептуний 93 Np [237] Neptunium	Плутоний 94 Pu [244] Plutonium	Америций 95 Am [243] Americium	Кюрий 96 Cm [247] Curium	Берклий 97 Bk [247] Berkelium	Калифорний 98 Cf [251] Californium	Эйнштейний 99 Es [252] Einsteinium	Фермий 100 Fm [257] Fermium	Менделевий 101 Md [258] Mendelevium	Нобелий 102 No [259] Nobelium	Лоуренсий 103 Lr [262] Lawrencium
---------------------------------------	---	-------------------------------------	---	---	---	-----------------------------------	--	---	---	--------------------------------------	--	--	--

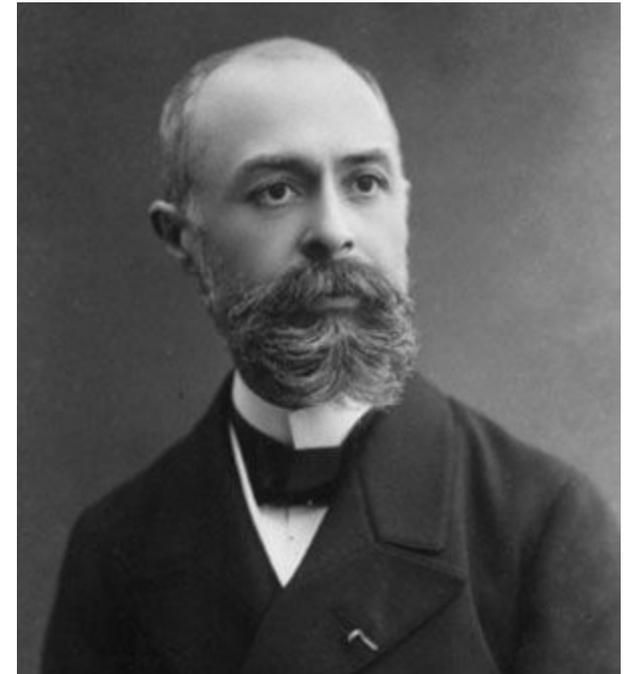
H - символ
1,00794 - атомный номер
1s¹ - электронная конфигурация
13,59844 - 1-й потенциал ионизации, эВ
0,0899 - плотность кг/м³
-259,34 - температура плавления, °C
-252,87 - температура кипения, °C

■ s-элементы ■ d-элементы
■ p-элементы ■ f-элементы

Радиоактивность

1896

Открытие радиоактивности



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

**Нобелевская премия по физике
1903 г.- А. Беккерель
За открытие радиоактивности**

Элементарные частицы

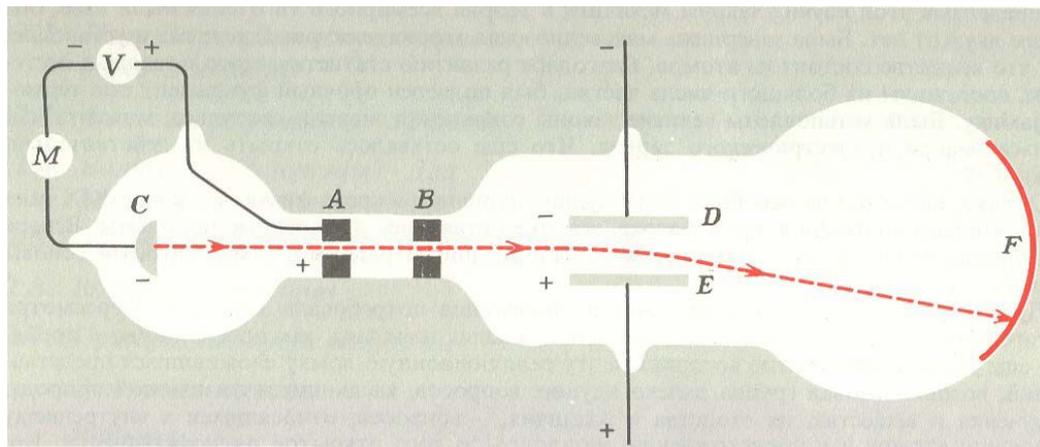
В конце 19 века в качестве элементарных частиц стали выступать атомы. Открытие электрона и атомного ядра привело к новым элементарным частицам: электрону и атомному ядру.

1897

Электрон

1904

Модель атома



Нобелевская премия по физике
1906 г.—Дж. Дж. Томсон
За большие заслуги в теоретических и
экспериментальных исследованиях
электрической проводимости газов.



Joseph Thomson
(1856-1940)

Атомное ядро

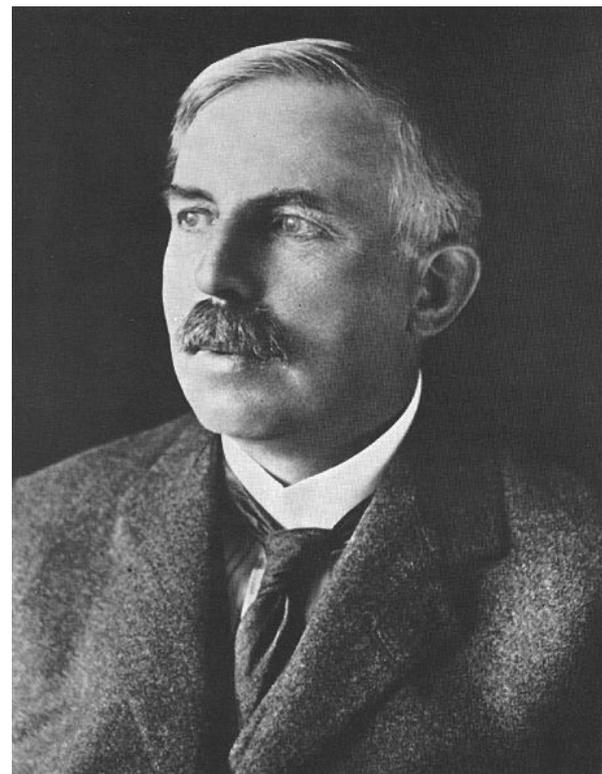
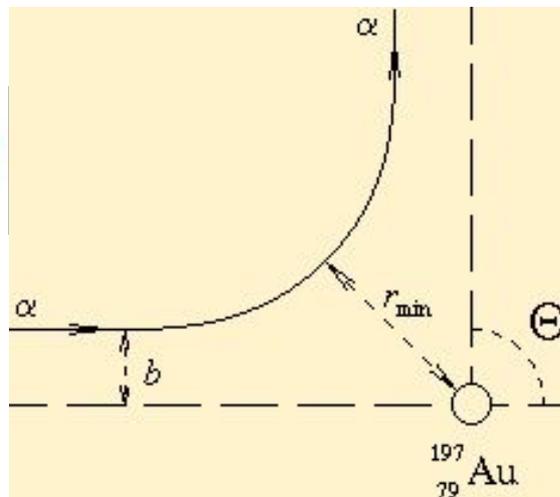
Первая половина 20 го века – атомное ядро, протон, нейтрон

1911

Атомное ядро



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



Нобелевская премия по химии
1908 г. -Э. Резерфорд
За исследования по превращению
элементов и за химические
исследования радиоактивных
веществ.

Э. Резерфорд

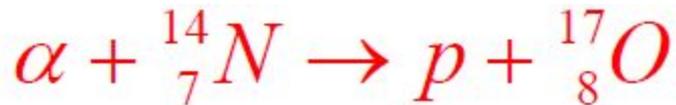
(1871-1937)

Открытие протона

1919

Протон

В 1919 г., продолжая эксперименты по рассеянию α -частиц на различных мишенях, Э.Резерфорд обнаружил, что при бомбардировке ядер азота ^{14}N α - частицами из него вылетают положительно заряженные частицы. Величина заряда этих частиц по абсолютной величине была равна величине заряда электрона, но противоположна по знаку.



Протоны являются элементарными частицами, входящими в состав атомного ядра



Э. Резерфорд

(1871-1937)

Модель Бора

Модель, предложенная Бором, впервые позволила удовлетворительно объяснить закономерность строения атома.

Основные постулаты модели Бора:

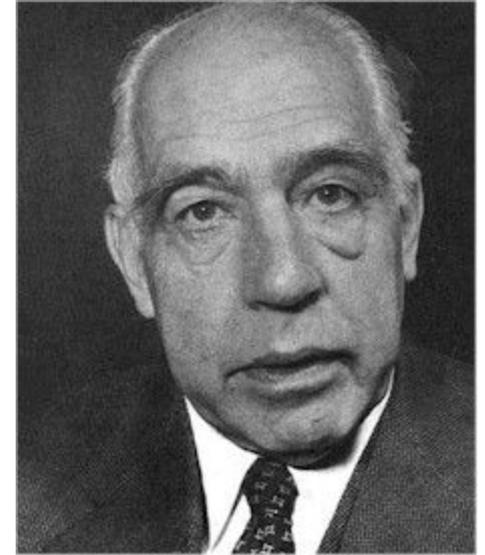
- 1. Электрон равномерно вращается** вокруг атомного ядра по круговой орбите под действием кулоновских сил в соответствии с законами Ньютона.
- 2. Разрешенными орбитами электрона** являются только те, для которых момент импульса электрона равен n .
- 3. При движении электрона по** стационарной орбите 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 $h\nu = E_i - E_f$.

Модель Бора

1923

**Принцип
соответствия**

Всякая новая теория в физике должна сводиться к хорошо установленной, соответствующей классической теории, если эта теория прилагается к специальным случаям, **которые успешно** описываются менее общей теорией.



**Niels Henrik David Bohr
(1885-1962)**

Нобелевская премия по физике

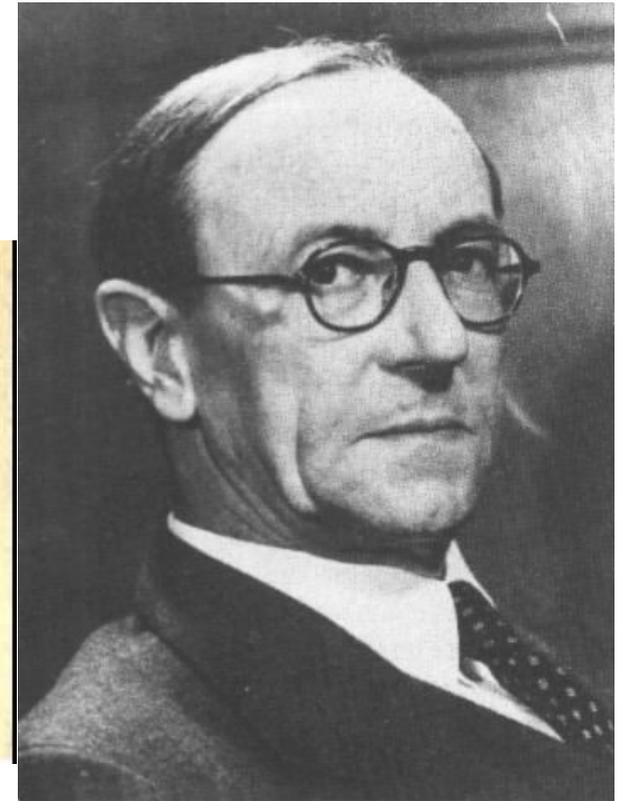
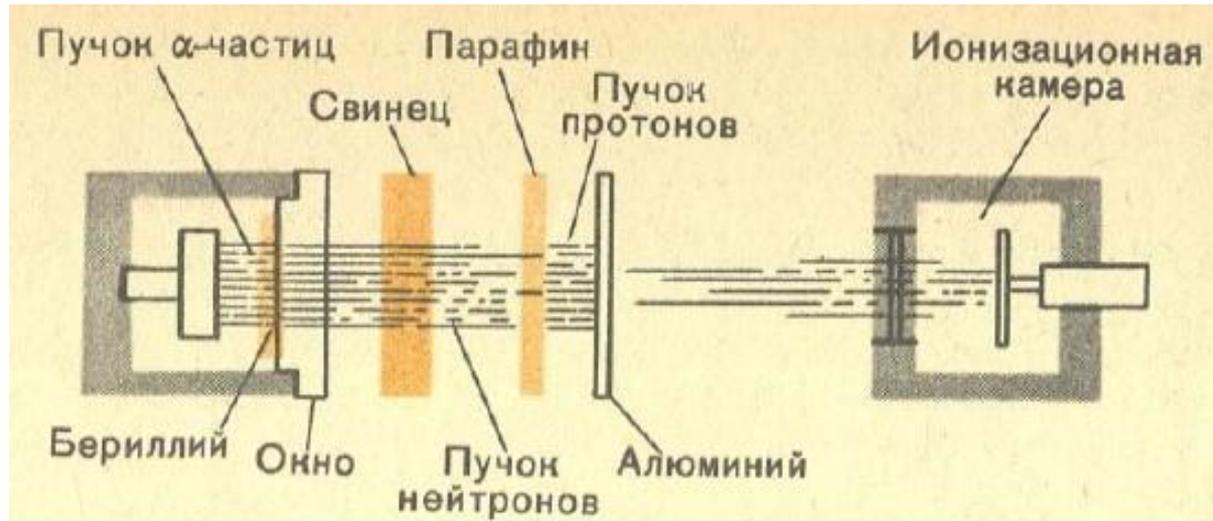
1922 г. – Н. Бор

За работы по исследованию структуры атомов и их излучений.

Открытие нейтрона

1932

Нейтрон



James Chadwick

(1891-1974)

Нобелевская премия по физике
1935 г. – Дж.Чедвик
За открытие нейтрона

Нейтрон

В 1930–1932 гг. продолжая начатые Резерфордом эксперименты, В.Боте и Г. Беккер при облучении тонких фольг из бериллия α -частицами обнаружили сильно проникающее излучение, состоящее из нейтральных частиц. Первоначально выдвинутая гипотеза о том, что это фотоны высоких энергий, не выдержала проверки. Лишь в 1932 г. Д.Чедвик показал, что это новая, до сих пор неизвестная нейтральная частица с массой, приблизительно равной массе протона.

Обнаруженная частица была названа нейтроном. Сразу после открытия нейтрона Д.Иваненко и В.Гейзенберг независимо друг от друга выдвинули гипотезу, что атомное ядро состоит из нейтронов и протонов.

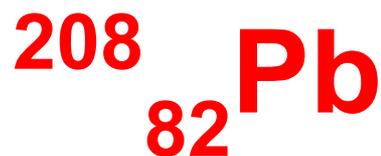
Атомное ядро



Атомное ядро – связанная система протонов и нейтронов (A,Z)

Z–заряд ядра–число протонов в ядре.

A–массовое число–суммарное число протонов и нейтронов в ядре.



$$Z = 82$$

$$N=126$$

$$A = 208$$

В середине 30-х годов XX века физическая картина мира строилась исходя из **трёх элементарных частиц** — электрона, протона и нейтрона. Вещество состоит из атомов и молекул, в состав атома входят электроны. Основную массу атома составляет атомное ядро, состоящее из протонов и нейтронов.

Размеры ядер

- Плотность ядерной материи в центре ядра приблизительно одинакова у всех ядер и составляет ~ 0.17 нукл./Фм³.
- Толщина поверхностного слоя (спад плотности от 0.9 до 0.1) у всех ядер примерно одинакова $d = 2.4 \cdot \text{Фм}$.
- Величина радиуса ядра определяется числом нуклонов,
 $R = 1.3A^{1/3} \text{ Фм}$.
- $1 \text{ Фм} = 10^{-13} \text{ см}$.
- Единица энергии – электрон-вольт (эВ)

Атомное ядро

Стабильные ядра

Известно около 300 стабильных ядер

Радиоактивные ядра

Известно около 3000 радиоактивных ядер

Изотопы Ядра с одинаковым Z

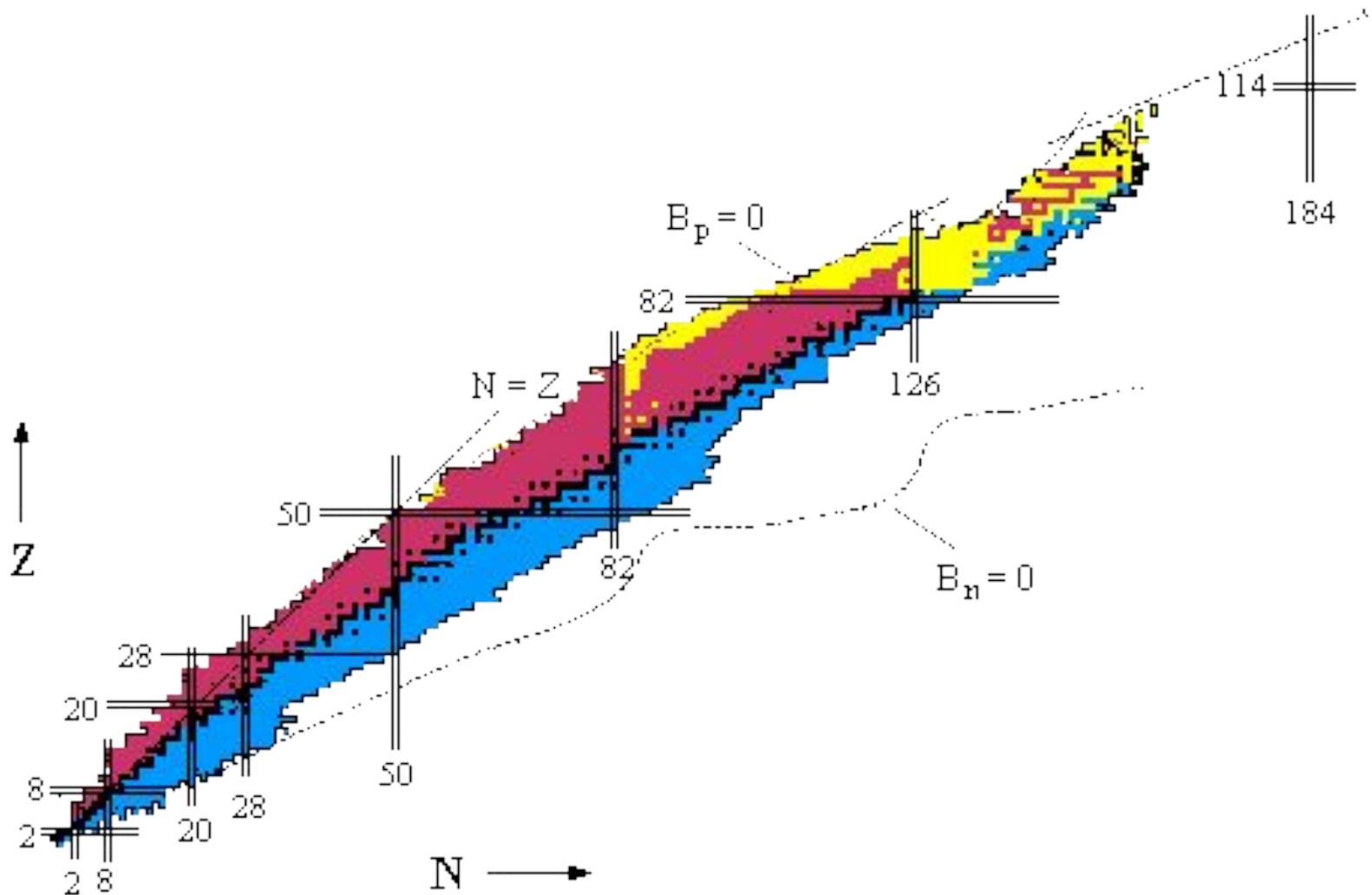
Изобары Ядра с одинаковым A

Каждому ядру соответствует определённое положение на N, Z диаграмме.

Стабильные и долгоживущие ядра образуют узкую полосу, называемую линией или долиной стабильности. Легкие стабильные ядра ($A < 40$) имеют приблизительно равные числа нейтронов и протонов. В области более тяжелых ядер отношение числа нейтронов к числу протонов начинает возрастать и достигает величины 1.6 в районе $A = 250$. Это изменение отношения N/Z обусловлено короткодействующим характером ядерных сил и возрастающей ролью кулоновского отталкивания протонов с ростом A . Тяжелые ядра оказываются энергетически более устойчивыми, если содержат большее число нейтронов N по сравнению с числом протонов Z . Наиболее тяжелыми стабильными ядрами являются изотопы свинца ($Z = 82$) и висмута ($Z = 83$). Для ядер долины стабильности характерно следующее отношение числа нейтронов к числу протонов:

$$\frac{N}{Z} \approx 1 + 0.015 \cdot A^{2/3}$$

N-Z диаграмма атомных ядер



Новая физика на рубеже веков

Развитие физики в начале XX века привело к полному пересмотру классических представлений о строении материи. В основе «новой физики» лежат две фундаментальные теории:

- **специальная теория относительности;**
- **квантовая теория.**

Теория относительности и квантовая теория являются фундаментом, на котором построено описание явлений микромира.

Специальная теория относительности

1905

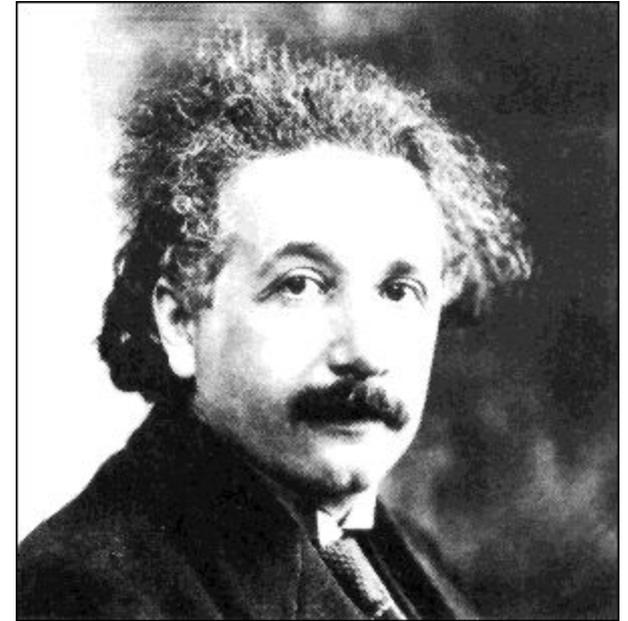
**Специальная теория
относительности**

**Эквивалентность массы и энергии.
 $E = mc^2$**

Нобелевская премия по физике

1921 г. – А. Эйнштейн

За вклад в теоретическую физику и в особенности за открытие закона фотоэлектрического эффекта



**Albert Einstein
(1879 -1955)**

$c = 299722458$ м / сек

Квантовая механика

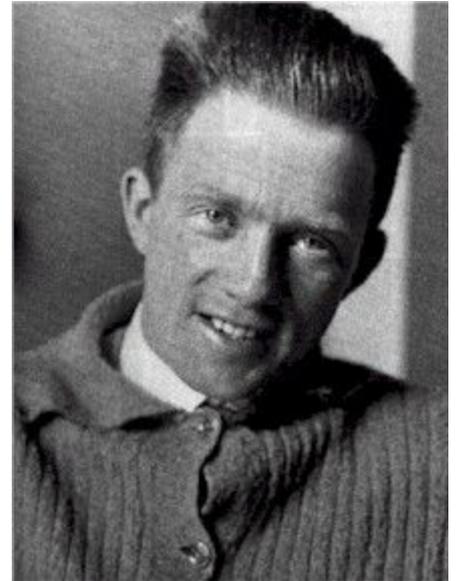
1927

Принцип неопределенности

Корпускулярные и волновые свойства частиц. **Принцип неопределенности**

Этот принцип выражает фундаментальный предел возможности одновременного измерения определённых пар переменных, например положения частицы x и её импульса p

$$\Delta p \Delta x \sim \hbar$$



Werner Karl Heisenberg
(1901-1976)

Нобелевская премия по физике

1932 г. – В. Гейзенберг

За создание квантовой механики

Квантовая теория поля



Sin-Itiro Tomonaga
(1906-1979)



Julian Schwinger
(1918-1994)

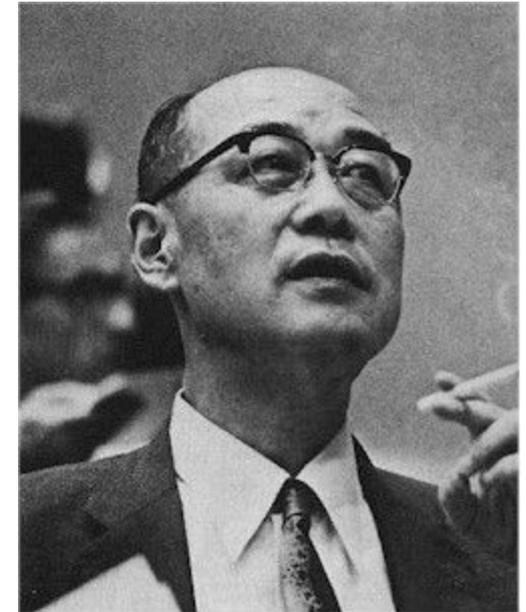
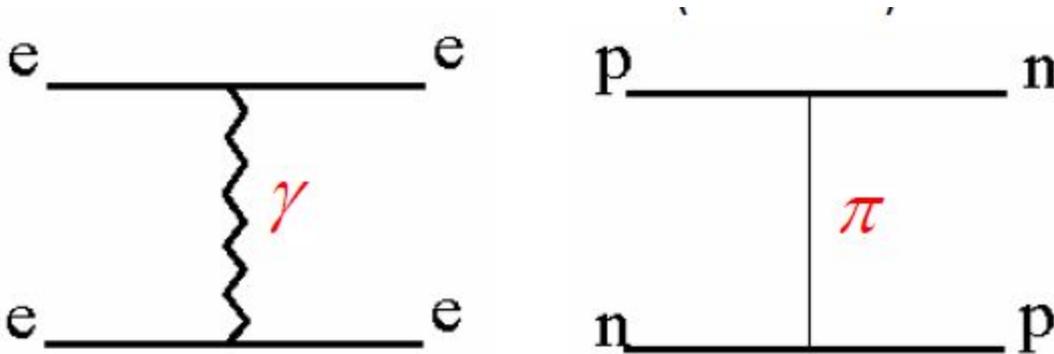


Richard P. Feynman
(1918-1988)

**1965 г.— Нобелевская премия по физике
С. Томонага, Ю. Швингер и Р.Фейнман
За фундаментальные работы в области квантовой
теории поля с далеко идущими последствиями для
физики элементарных частиц.**

Теория ядерного взаимодействия

1935 г. Юкава разработал теорию ядерного взаимодействия и предсказал частицу, связывающую протоны и нейтроны в ядре.



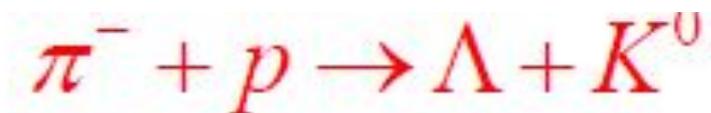
Hideki Yukawa
(1907 –1981)

Нобелевская премия по физике
1949 г.–Х. Юкава
За предсказание существования
мезонов на основе теоретических
работ по ядерным силам

Пионы – кванты ядерного поля

В 1947 году была обнаружена частица, которую предсказал Юкава. Ее назвали π -мезоном или пионом. Существует три разновидности π -мезонов: отрицательно заряженный π^- - мезон с массой ~ 140 МэВ, положительно заряженная античастица π^+ - мезон, и нейтральный π^0 – мезон с массой ~ 135 МэВ.

В течение 10 лет, последовавших за открытием пиона в 1947 г., таблица элементарных частиц начала быстро пополняться новыми элементарными частицами. За это время их было открыто свыше 30. Первыми из открытых частиц были К- мезоны или каоны, частицы с массой ~ 500 МэВ. Затем были обнаружены тяжелые частицы Λ и Σ . Была обнаружена странная особенность вновь открытых частиц — они рождались парами, хотя не были частицей и античастицей. По-видимому здесь была какая-то новая неизвестная закономерность. Так, например, наблюдалась реакция



ЛЕПТОНЫ

1897–Д. Томсон

e^-

1937–К. Андерсон

μ^-

1956–Ф. Райнес, К. Козн

$\tilde{\nu}_e$

1962–Л. Ледерман

ν_μ

1975–М. Перл

τ^-

2000–Лаб. Э. Ферми

ν_τ

Лептоны

Лептоны - частицы, участвующие в слабых и электромагнитных взаимодействиях.

Три семейства лептонов составляют 6 частиц:
три заряженных лептона •

электрон e^- ,

• мюон μ^- ,

• таон τ^-

и три нейтральные частицы — нейтрино

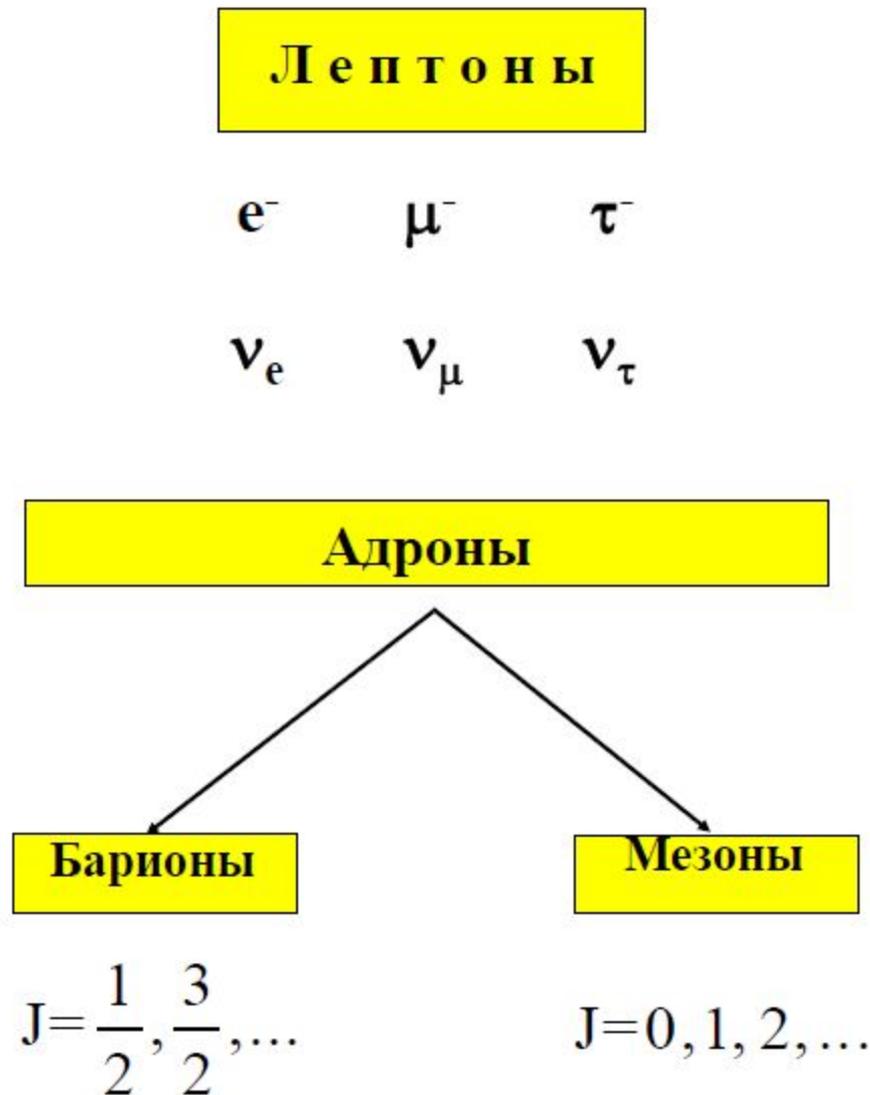
• электронное нейтрино ν_e ,

• мюонное нейтрино ν_μ ,

• тау-нейтрино ν_τ .

Нейтрино участвуют только в слабых взаимодействиях 6 лептонов образуют 3 семейства.

Как устроен Мир . 60-е годы XX века



Адроны

Подавляющее большинство частиц, открытых начиная с 1940 г., принадлежит к семейству адронов — частиц, сильно взаимодействующих друг с другом. Например, к этому семейству принадлежат хорошо известные частицы — нейтрон и протон.

В настоящее время открыто более нескольких сотен адронов. Они различаются массой, величиной электрического заряда, спином. Общим свойством, отличающим адроны от лептонов, является то, что адроны участвуют в сильных взаимодействиях в то время, как лептоны — только в слабых и электромагнитных.

Кварки



Murray Gell-Mann



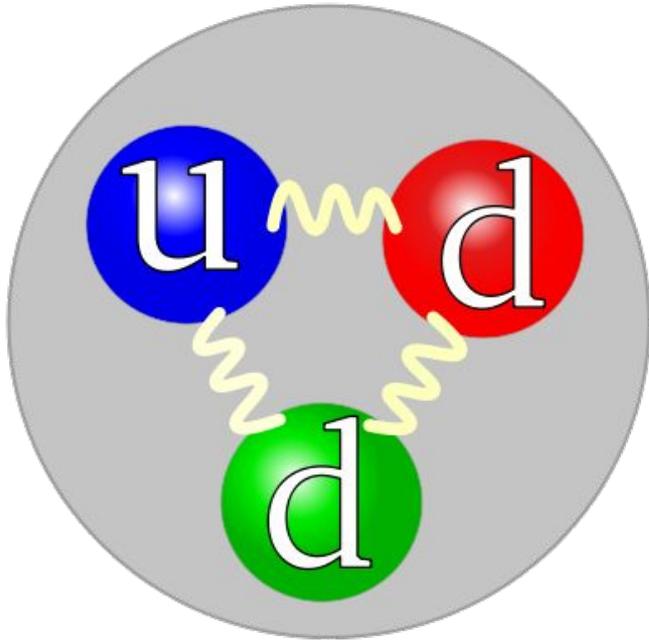
George Zweig

М. Гелл-Манн и Г. Цвейг предложили кварковую модель адронов. Барионы “конструировались” из трёхкварков, мезоны – из кварка и антикварка

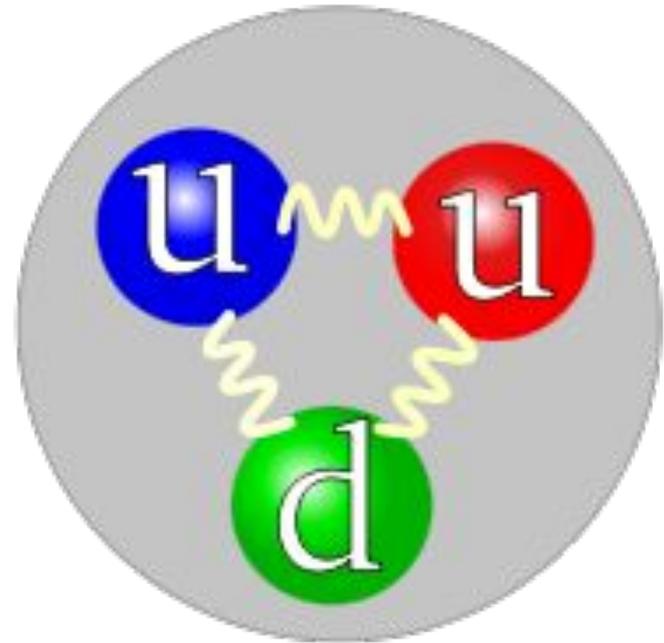
Нобелевская премия по физике 1969 г. –

М. Гелл-Манн. За вклад и открытия в классификации элементарных частиц и их взаимодействий

Кварки, 1963 г.



нейтрон: 1up 2down



протон: 2up 1down

В 1974 г. были открыты частицы, в состав которых входил четвертый с-кварк.

В 1977 г. Был открыт b-кварк.

В 1995 г. Был открыт t-кварк.

Все адроны состоят из комбинации этих шести кварков, и есть достаточно веские основания считать, что число кварков не должно быть Больше шести.

Как устроен Мир. Конец XX века

ФЕРМИОНЫ

КОМПОНЕНТЫ вещества (спин = $\frac{1}{2}$)

Лептоны (спин = $\frac{1}{2}$)			
Аромат		Масса, ГэВ/c ²	Электрический заряд
ν_e	электронное нейтрино	$< 1 \times 10^{-8}$	0
e	электрон	0,000511	-1
ν_μ	мюонное нейтрино	$< 0,0002$	0
μ	мюон	0,106	-1
ν_τ	тау-нейтрино	$< 0,02$	0
τ	тау	1,7771	-1

Кварки (спин = $\frac{1}{2}$)			
Аромат		Прибл. масса, ГэВ/c ²	Электрический заряд
u	up	0,003	2/3
d	down	0,006	-1/3
c	charm	1,3	2/3
s	strange	0,1	-1/3
t	top	175	2/3
b	bottom	4,3	-1/3

Как устроен Мир. Конец XX века

БОЗОНЫ

переносчики взаимодействий (спин = 1)

Объединенное и электрослабое взаимодействие (спин = 1)		
Название	Масса, ГэВ/c ²	Электрический заряд
γ фотон	0	0
W^-	80,4	-1
W^+	80,4	+1
Z	91,187	0

Сильное (цветное) взаимодействие (спин = 1)		
Название	Масса, ГэВ/c ²	Электрический заряд
g глюон	0	0

Стандартная модель

Фундаментальными частицами стандартной модели являются 6 лептонов (e^- , μ^- , τ^- , ν_e , ν_μ , ν_τ) и 6 кварков (u , d , s , c , t , b). Каждый из 6 типов кварков может находиться в трёх цветовых состояниях (например: красный, зеленый, синий). Кварки и лептоны являются фермионами и имеют спин $-1/2$.

12 фундаментальным фермионам соответствуют 12 антифермионов. Взаимодействия фундаментальных фермионов осуществляются за счет обмена переносчиками взаимодействия — фундаментальными (или калибровочными) бозонами.

Фундаментальные частицы Стандартной Модели

e^- μ^- τ^-

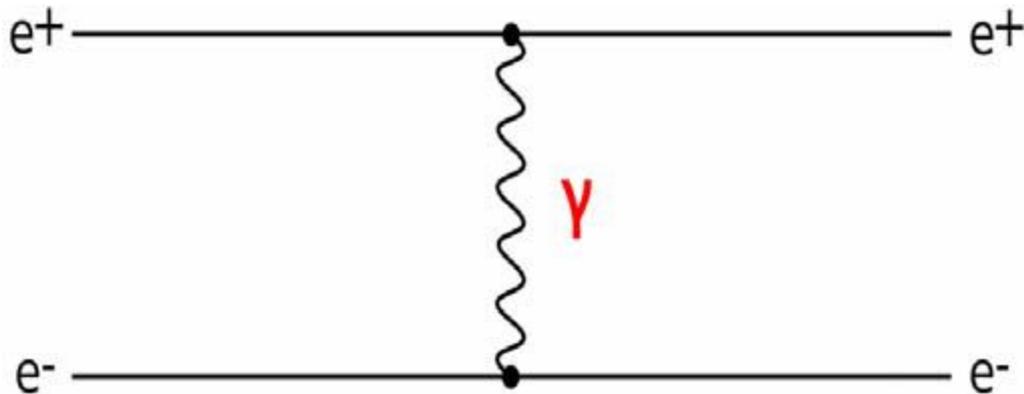
ν_e ν_μ ν_τ

u c t

d s b

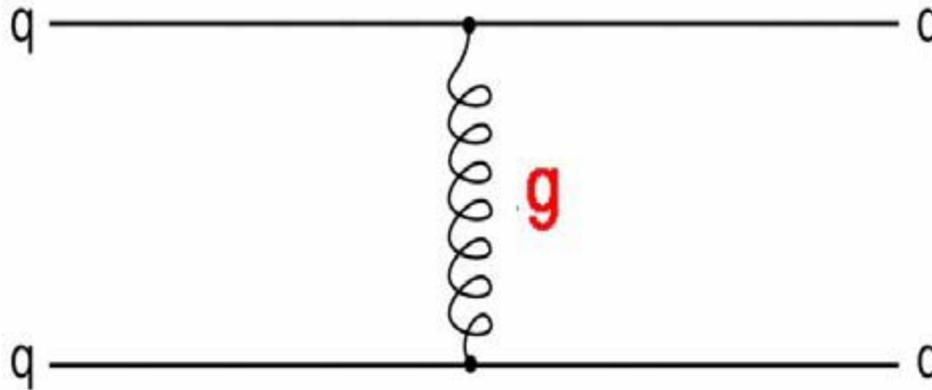
$8g, \gamma, W^+, W^-, Z$

Фундаментальные взаимодействия



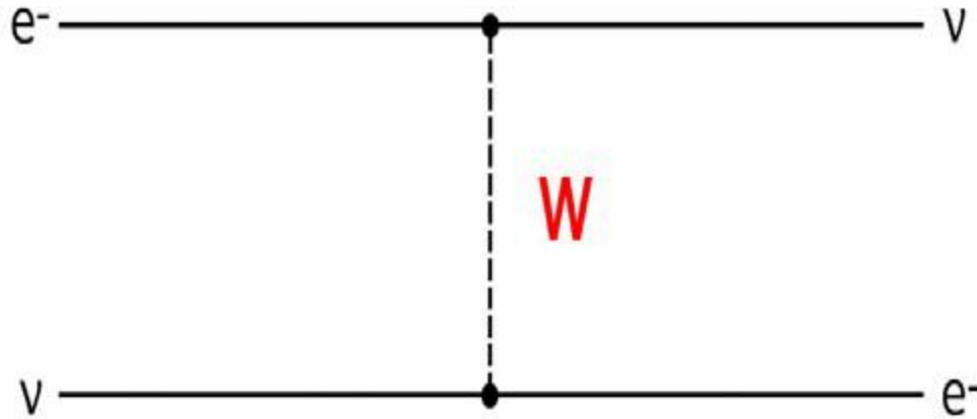
Взаимодействие частиц, имеющих электрический заряд, происходит посредством обмена квантами электромагнитного поля — фотонами или γ -квантами. Фотон электрически нейтрален.

Фундаментальные взаимодействия



Сильное взаимодействие осуществляется за счет обмена глюонами g — электрически нейтральными безмассовыми переносчиками сильного взаимодействия. Глюоны переносят цветовой заряд.

Фундаментальные взаимодействия



В слабом взаимодействии принимают участие все лептоны и все кварки. Переносчиками слабого взаимодействия являются массивные W - и Z -бозоны. Существуют положительные W^+ - бозоны и отрицательные W^- -бозоны, являющиеся античастицами по отношению друг к другу. Z -бозон электрически нейтрален.

Фундаментальные взаимодействия

Взаимодействие между фундаментальными фермионами (кварками и лептонами) переносят калибровочные бозоны. В таблице приведены взаимодействия, частицы участвующие в различных взаимодействиях, калибровочные бозоны — переносчики взаимодействия, радиус действия, константа взаимодействия.

Взаимодействие	На какие частицы действует	Калибровочные бозоны	Радиус действия	Константа взаимодействия
Сильное	Все цветные частицы	8 глюонов, спин $J = 1$, безмассовые.	$1 \text{ Фм} = 1/m_{\pi}$	1
Электромагнитное	Все электрически заряженные частицы	Фотон, спин $J = 1$, безмассовый.	∞	1/137
Слабое	Кварки, лептоны, электрослабые калибровочные бозоны	W^+ , W^- , Z , спин $J = 1$, $m(W^{\pm}) = 80 \text{ Гэв}$, $m(Z) = 91 \text{ Гэв}$.	$10^{-2} \text{ Фм} = 1/m_W$	$\sim 1/30$
Гравитационное	Все массивные частицы	Гравитон, спин $J = 2$, безмассовый	∞	10^{-38}

Фундаментальные взаимодействия

Взаимодействие	Характерная константа
Сильное	1
Электромагнитное	10^{-2}
Слабое	10^{-6}
Гравитационное	10^{-38}

Тёмная материя 1933 г. Ф. Цвики

- Тёмная материя — вещество неизвестной природы, которое взаимодействует с обычными веществами посредством сил тяготения.
- Оно не излучает свет.
- Движение галактик в скоплениях можно описать, если предположить, что суммарная масса скопления в 10 раз больше суммарной массы составляющих его галактик.
- Устойчивое вращение звезд по орбитам в рукавах спиральных галактик требует большей массы галактик.
- Для описания температуры межгалактического газа требуется гравитационный потенциал и, следовательно, масса галактик гораздо больше наблюдаемой оптическими методами.
- Микролинзирование удаленных галактик позволяет оценить распределение вещества в галактиках и их скоплениях. Его также оказывается на порядок больше наблюдаемого.



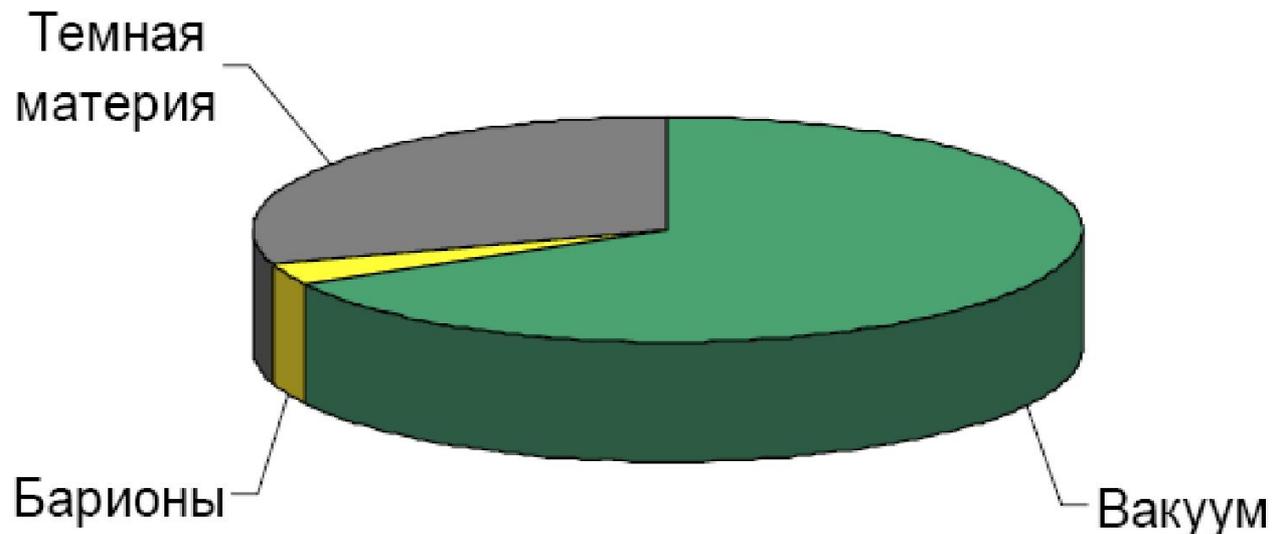
galaxy cluster CL0024+17

Тёмная энергия

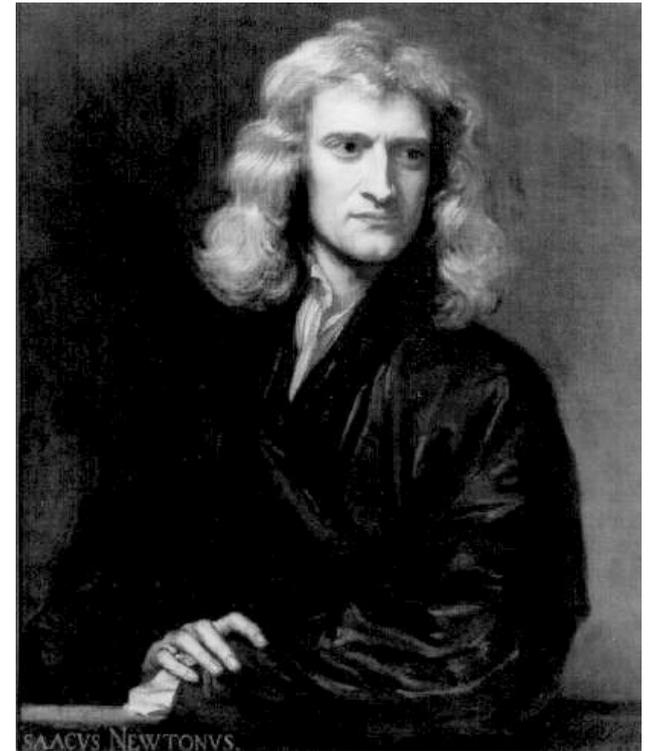
- В начале 1998 г. было сделано открытие. Оказалось, что последние $5 \cdot 10^9$ лет расширение Вселенной не замедлялось, как следует из модели Большого Взрыва, а ускорялось.
- Этот вывод получен в результате анализа спектров излучения взрывающихся Сверхновых, расположенных от Земли на расстоянии 5-10 млрд световых лет.
- Таким образом было доказано наличие в космосе гравитационного отталкивания, присущего физическому вакууму.
- 2008 – тёмный поток.

Характеристики Вселенной

БАРИОНЫ		0.02-0.05
в том числе:	- звёзды	0.002-0.003
ФОТОНЫ		$4.9 \cdot 10^{-5}$
НЕЙТРИНО		$3.3 \cdot 10^{-5}$
ТЕМНАЯ МАТЕРИЯ		0.96
в том числе:	- неизвестные массивные частицы (не барионы)	0.2-0.4
	- вакуум	0.6-0.8
ПОЛНАЯ ПЛОТНОСТЬ ВЕЩЕСТВА-ЭНЕРГИИ		1.02 ± 0.02



- **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 большими частицами 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.**



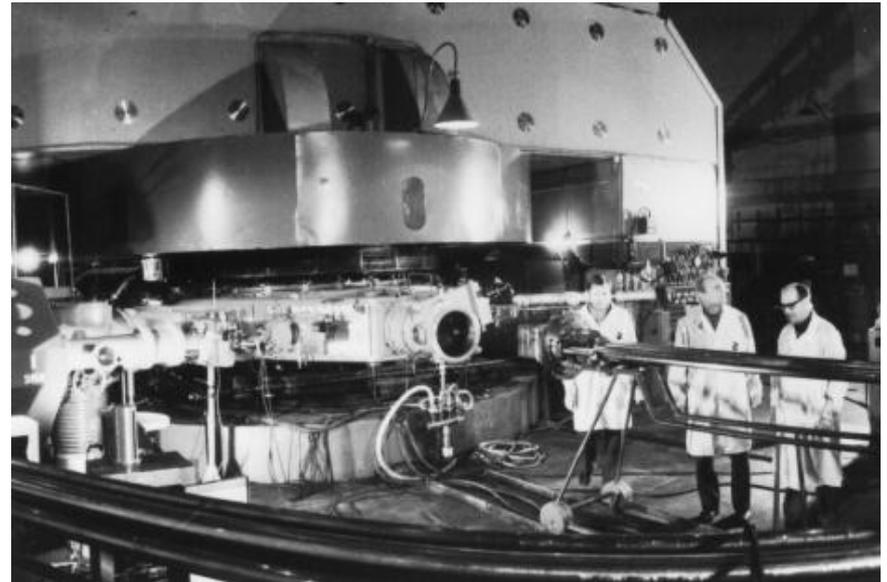
И. Ньютон (1643 – 1727)

The background of the slide is a photograph of the Flerov Laboratory of Nuclear Reactions building. The building is a large, multi-story structure with a light-colored facade and a prominent portico supported by columns. The entrance is reached via a wide set of stone steps. The sky is overcast, and there are trees with yellowing leaves in the foreground. The Russian text 'ЛАБОРАТОРИЯ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ' is visible above the entrance.

***Flerov Laboratory of Nuclear
Reactions,
Joint Institute for Nuclear
Research***

<http://flerovlab.jinr.ru/flnr/index.html>

Laboratory of Nuclear Reactions (1957)



FLNR History



G.N. Flerov



Yu.Ts. Oganessian



M.G. Itkis



S.N. Dmitriev

BASIC DIRECTIONS of RESEARCH

1. Heavy and superheavy nuclei

- Synthesis and study of properties of superheavy elements
- Chemistry of new elements
- Fusion-fission and multi-nucleon transfer reactions
- Mass-spectrometry and nuclear spectroscopy of SH nuclei

2. Light exotic nuclei

- Properties and structure of light exotic nuclei
- Reactions with exotic nuclei

3. Radiation effects and physical bases of nanotechnology

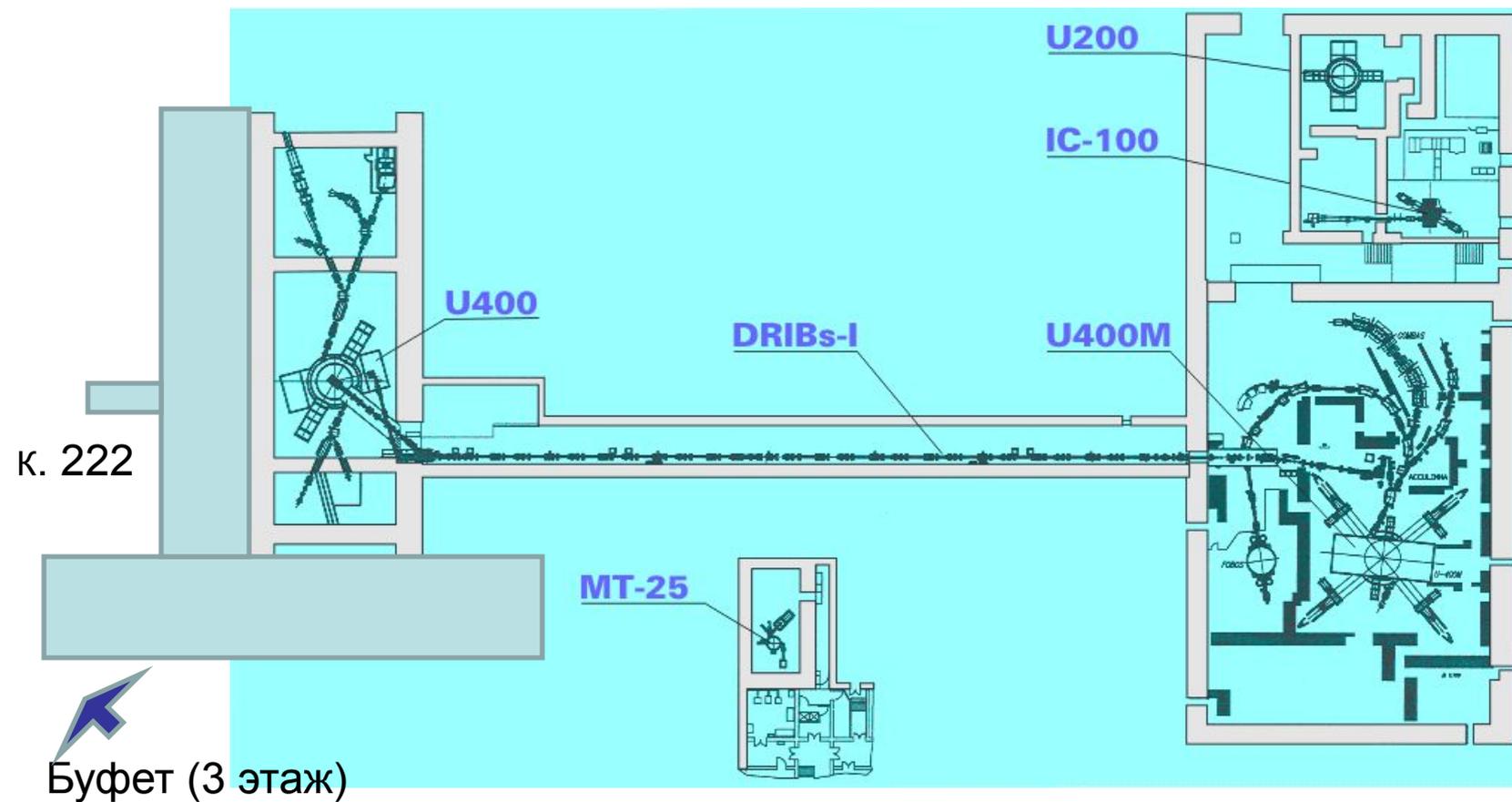
4. Accelerator technology

Staff : 350 people (including 100 younger than 35 years old)

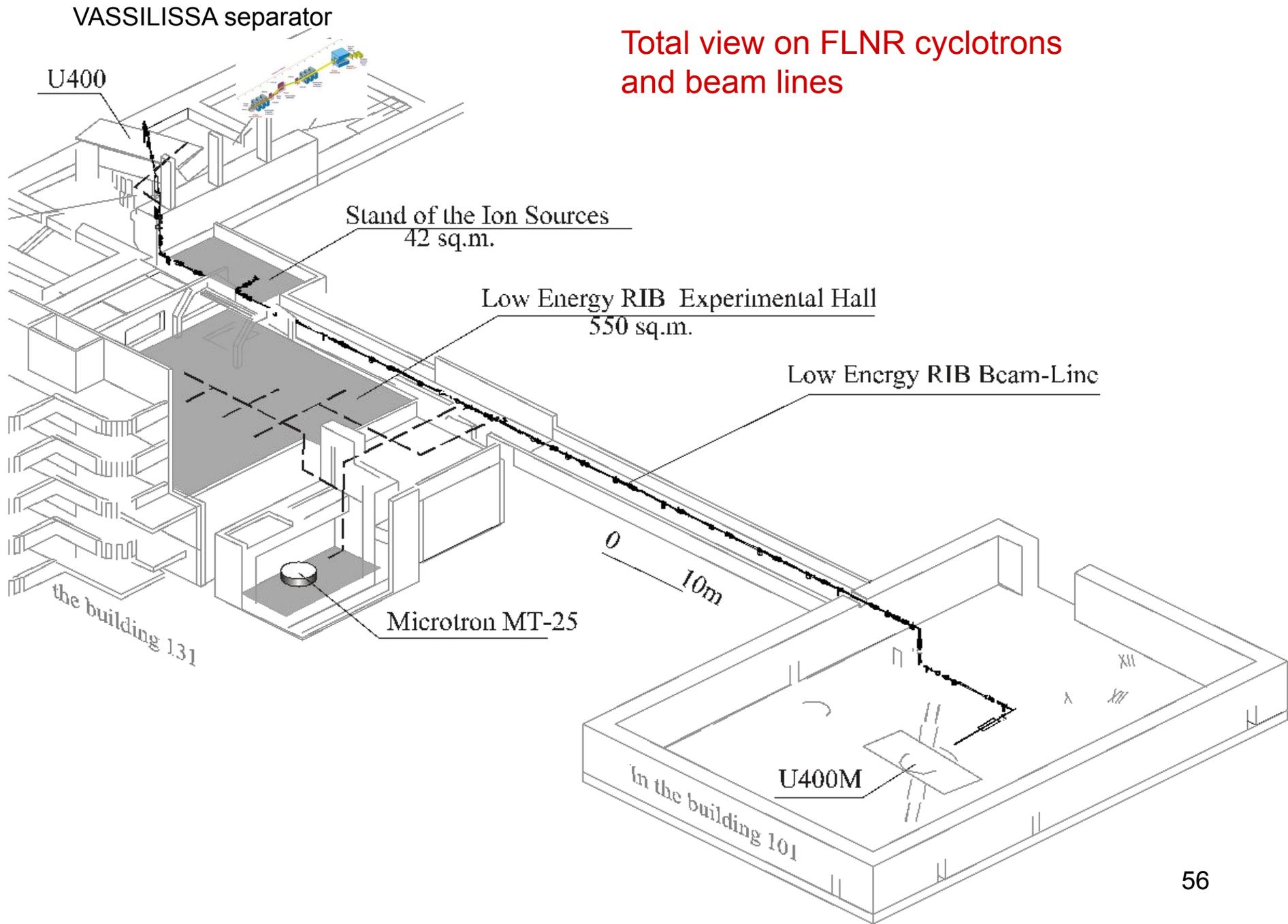
Budget: ~ 15.0 M\$

Out of budget staff: 140 people

FLNR accelerators



Total view on FLNR cyclotrons and beam lines

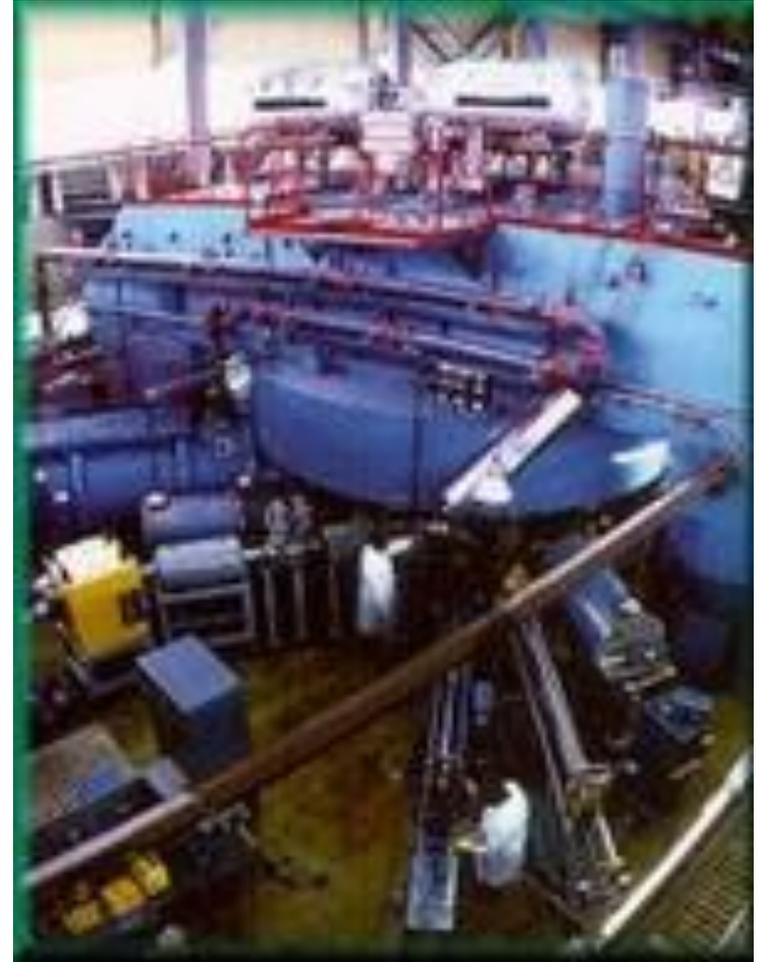


FLNR accelerators

- U400M - 4m heavy ion cyclotron $E = 6 \div 100 \text{ MeV/n}$
- U400 - 4m heavy ion cyclotron $E = 0.5 \div 20 \text{ MeV/n}$
- U200 - 2m heavy ion cyclotron $E = 3 \div 15 \text{ MeV/n}$
- IC-100 - 1m heavy ion cyclotron $E = 0.5 \div 1.2 \text{ MeV/n}$
- Microtron MT-25 - electron accelerator $E = 25 \text{ MeV}$

FLNR accelerators - U400

U400 is designed for production of accelerated ion beams of atomic mass in the range $A=4 \div 209$ and energy $0.5 \div 290$ MeV/nuclon. U400 isochronous cyclotron has been in operation since 1978. Cyclotron is 4m in diameter, $D=4$ m, with $K=650$ energy factor. Charge exchange technique is used for beam extraction. Axial injection channel with external ion source has been in operation at U400 since 1996



FLNR U400 cyclotron



1. Heavy and superheavy nuclei

Synthesis and study of properties of superheavy elements

Chemistry of new elements

Fusion-fission and multi-nucleon transfer reactions

Mass-spectrometry and nuclear spectroscopy of SH nuclei

U400 and special low energy extraction line at U400M

Decay chains

48 nuclides

