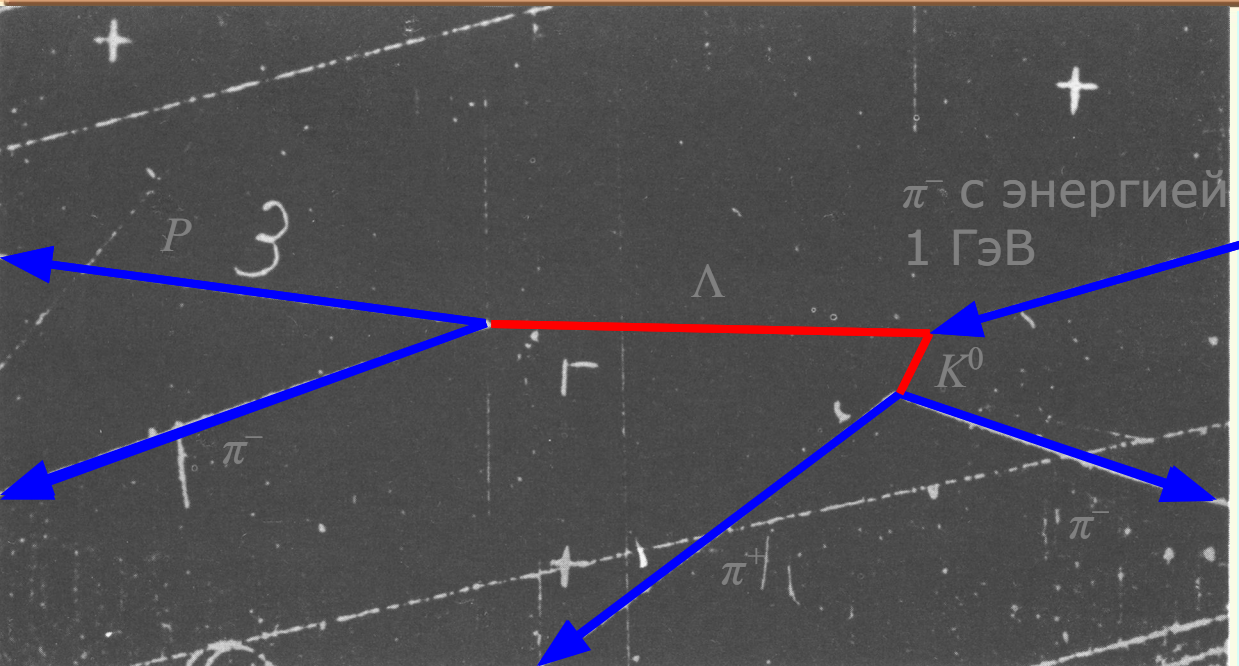


# ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ФИЗИКИ ЭЛЕМЕНТАРНЫХ ЧАСТИЦ



ассоциативное рождение  
 $\Lambda$ -гиперона и  $K^0$ -мезона  
через столкновение  
с протоном  $\pi^-$ -мезона  
в пузырьковой камере  
с жидким водородом

# §§ Стабильные эл. частицы

До 1932 г. в физике были известны всего 3 частицы: электрон, протон и фотон

## 1) Электрон

открытие: 1897, Дж.Дж.Томсон

масса покоя:  $m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31}$

кг  $= 0,511 \text{ МэВ}/c^2$

заряд частицы:  $q_e = -1,60219 \cdot 10^{-19}$

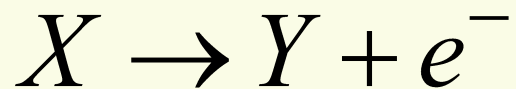
Кл  
спин:  $S = \frac{1}{2}$  время жизни:  $\tau > 10^{22}$  лет

античастица – **позитрон** (заряд +, все остальные характеристики – такие же).

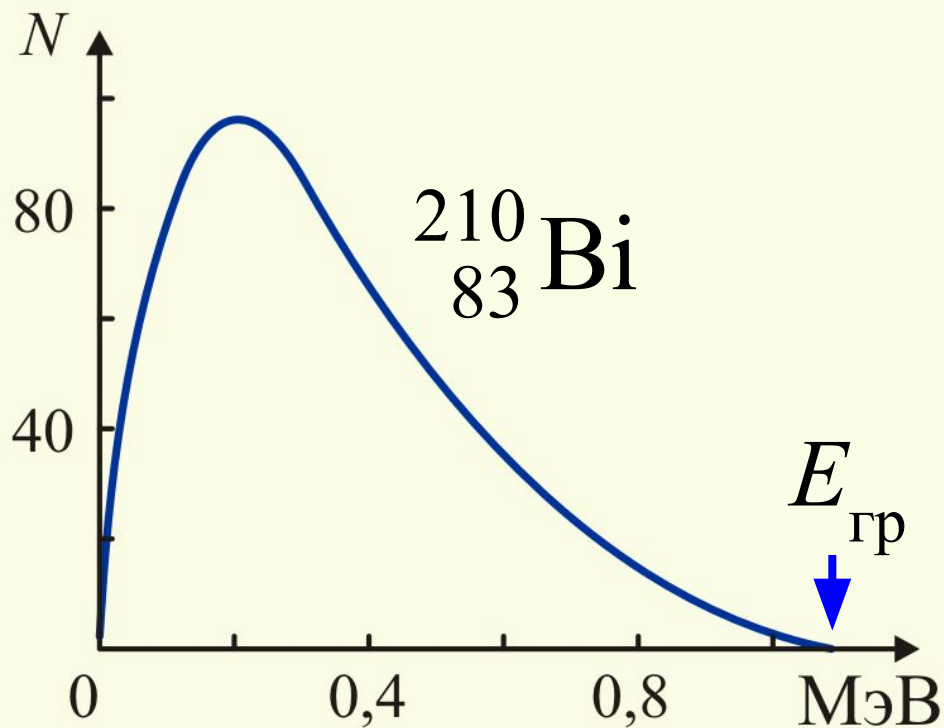
в настоящее время нет никаких данных о внутренней структуре электрона и считается, что электрон – точечный объект ( $d < 10^{-18}$  м)

2) **Нейтрино** (с итал. - нейтрончик)

1914, Исследовался  $\beta$ -распад ядер



Оказалось, что кинетическая энергия электронов различна и изменяется от 0 до некоторого  $E_{\text{гр}}$  – макс. значения



1930, В.Паули

*предположение*

1932, Э.Ферми

*название и теория*

1942-1954

*экспериментальное  
обнаружение*

## Основные свойства:

- 1) практически не взаимодействует с веществом
- 2) спин  $S = 1/2$
- 3) масса покоя  $< 50 \text{ эВ}/c^2$

Считается, что все пространство заполнено фотонным и нейтринным газом (**реликтовое излучение**)

и нейтрино также распространено, как и фотоны ( $\approx 300 \text{ шт}/\text{см}^3$ ).

3) **протон** (греч. *protos* – первый)  
– ядро атома водорода

ввел название Резерфорд, 1920

масса покоя:  $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$

кг  $= 938,28 \text{ МэВ}/c^2$

заряд частицы:  $q_p = 1,60219 \cdot 10^{-19}$

Кл

(с точностью до 20 знаков  $q_p = |q_e|$ )  
спин:  $S = \frac{1}{2}$

время жизни протона в свободном

состоянии:  $\tau > 10^{25} - 10^{31}$  лет

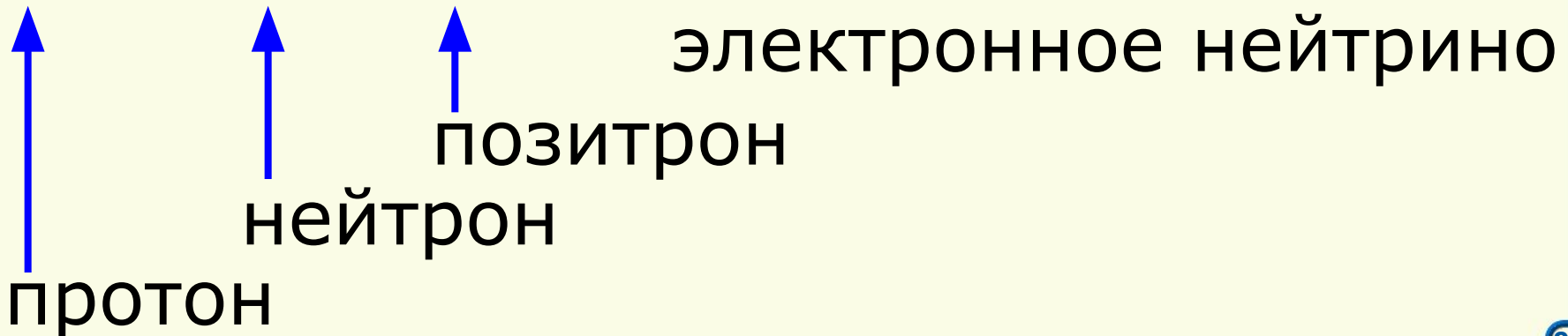
## Эксперимент:

1 м<sup>3</sup> воды содержит  $\sim 10^{30}$  протонов.

Пусть время жизни протона  $10^{32}$  лет.

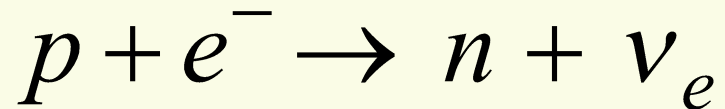
Тогда **есть надежда**, что в 100 м<sup>3</sup> воды за 1 год распадется 1 протон.

Внутри атомных ядер протоны **неустойчивы** и протекает реакция:



В свободном состоянии вероятность этого события крайне низка, т.к. энергия правой части превышает энергию левой ( $E_p < E_n$ )

Для массивных ядер также возможна реакция **K-захвата**



Эта реакция – обратная к  $\beta$ -распаду характерна, например, для поздних стадий эволюции звезд.



#### 4) Нейтрон

протон и нейтрон представляют собой два состояния одной частицы – нуклона, внутри ядра происходит процесс **перезарядки** – протон и нейтрон меняются местами с помощью «обмена виртуальной частицей»

открыт в 1932 Дж.Чедвиком

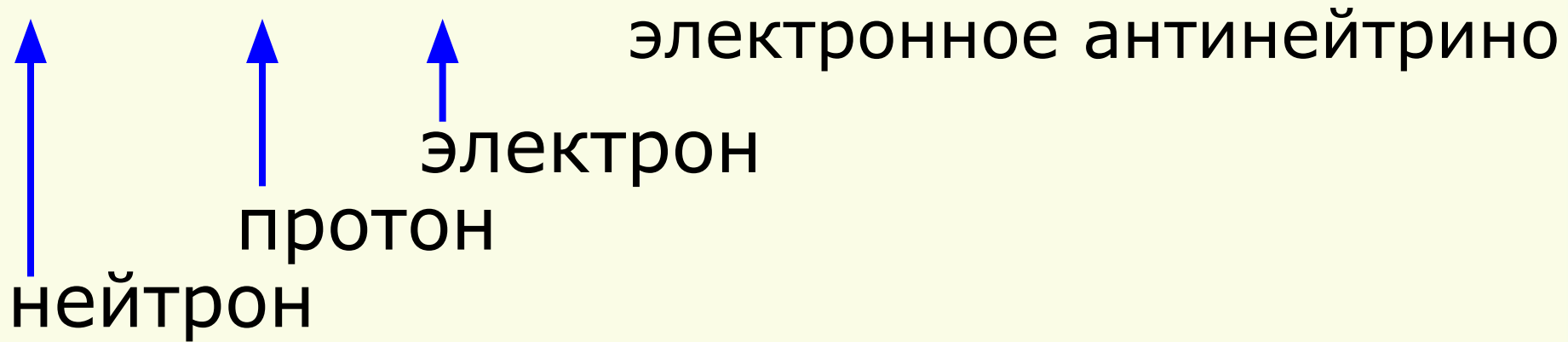
масса покоя:  $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$   
кг  $= 939,57 \text{ МэВ}/c^2$

заряд частицы:  $q_n = 0$  спин:  $S = 1/2$

время жизни нейтрона в связанном состоянии (в ядре)  $\tau > 10^{32}$  лет.

в свободном состоянии:  $\tau \approx 917 \pm 14$  сек.

происходит реакция  $\beta$ -распада нейтрона



При малых энергиях в продуктах ядерных реакций **только** эти частицы.

При увеличении энергии (бомбардировка ядер) на выходе получаются новые.

70-е    ~200

90-е    ~400

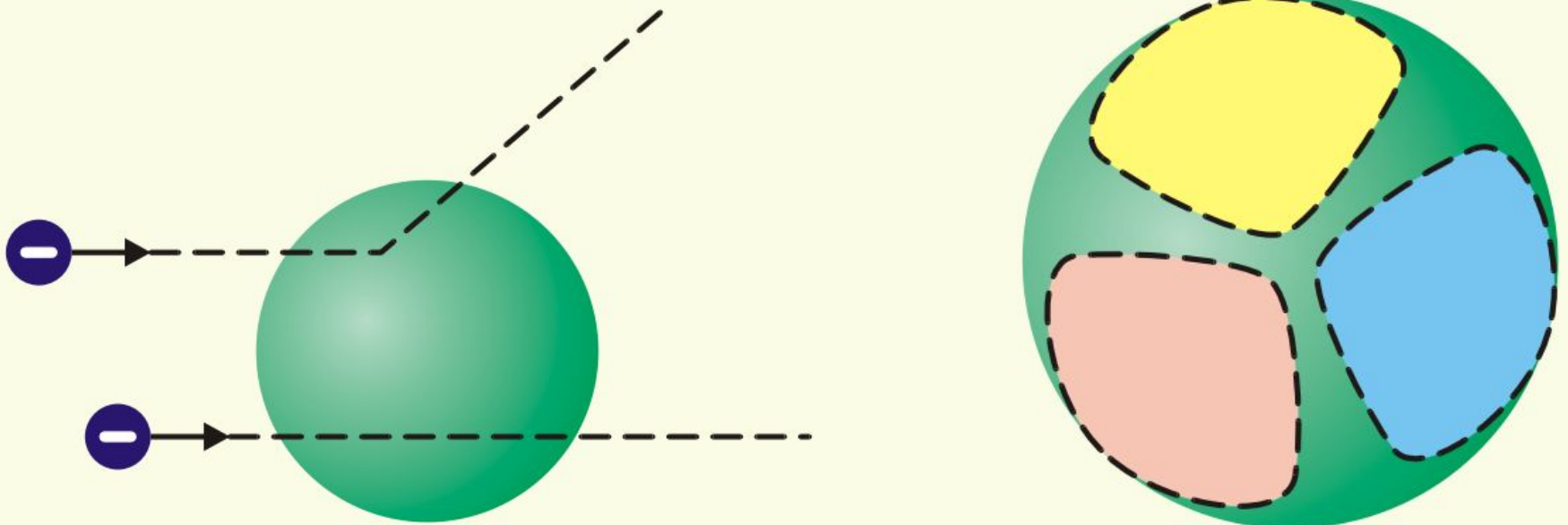
2000    ~600

Сначала эти частицы называли, потом обозначали буквами, потом буквами и цифрами, обозначающими массу ...

# §§ Кварки

Гипотеза, 1964

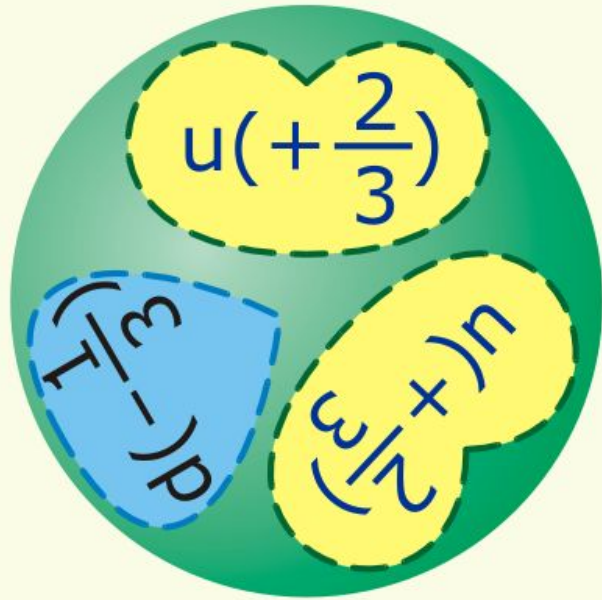
все **адроны** (протоны, нейтроны и др.) построены из «более элементарных» частиц – **кварков**, имеющих спин  $S = 1/2$  и дробный электрический заряд.



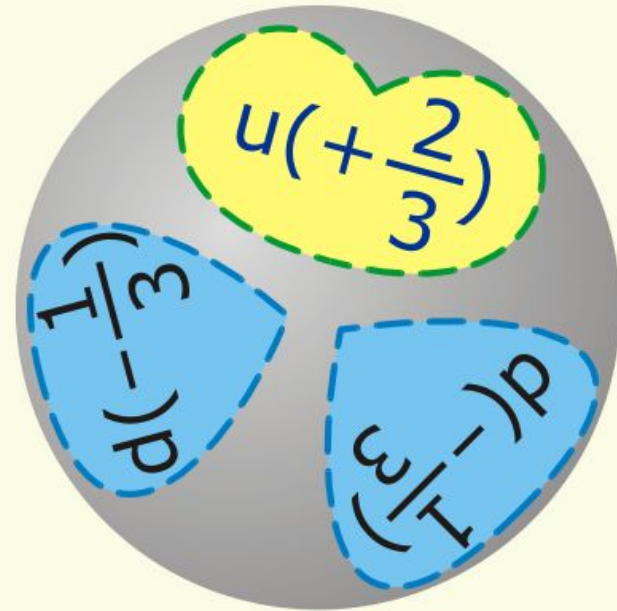
Теоретический анализ показал, что электроны могут рассеиваться точечными частицами с зарядами  $-1/3$ ,  $+2/3$  и рассеивающих центра – **три**

кварк	расшифровка	заряд	
u	up (верх)	$+\frac{2}{3}$	«верхние» кварки (+ заряд)
s	strange		
t	true		
d	down (вниз)	$-\frac{1}{3}$	«нижние» кварки (- заряд)
c	charmed		
b	beauty		

Протон (+1):  $p = uud$



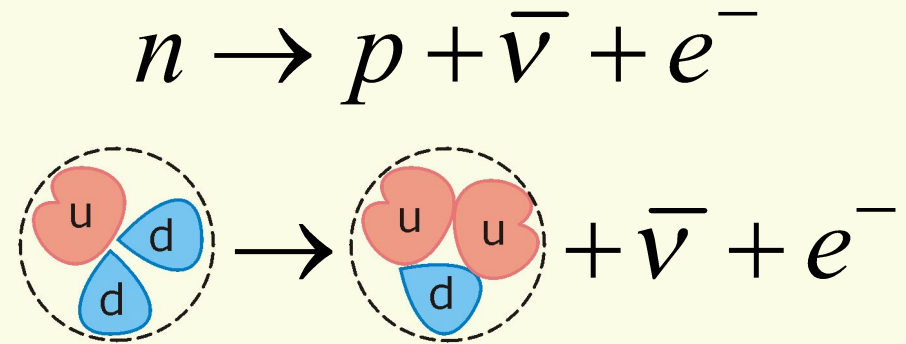
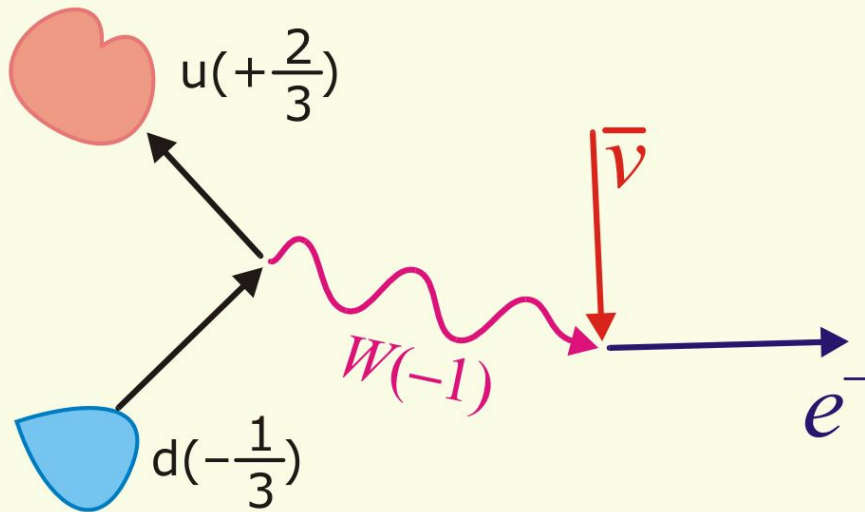
Нейтрон (0):  $n = udd$



В настоящее время отсутствуют сведения о внутренней структуре кварков и, считается, что это точечные частицы с размером  $< 10^{-18}$  м.

В свободном состоянии кварки **не наблюдались**, только в парах кварк-антикварк или в группах из трех кварков.

**Пример:**  $\beta$ -распад нейтрона ( $d \rightarrow u$ ).



$W$  – бозон, частица, «похожая» на фотон и переносящая заряд

# §§ Состав ядра

Атомное ядро состоит из нуклонов (протонов и нейтронов).

$Z$  – зарядовое число, атомный номер элемента (число протонов)

заряд ядра:  $Q_{\text{я}} = Zq_p = Z |e|$

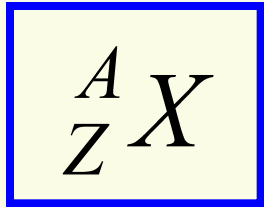
$N$  – число нейтронов в ядре

$A$  – массовое число (кол-во нуклонов)

$$A = N + Z$$



Любой элемент в ядерной физике характеризуется парой чисел  $A$  и  $Z$ :



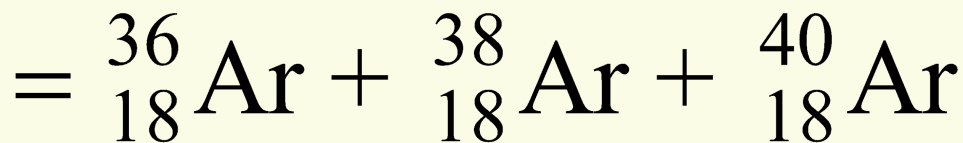
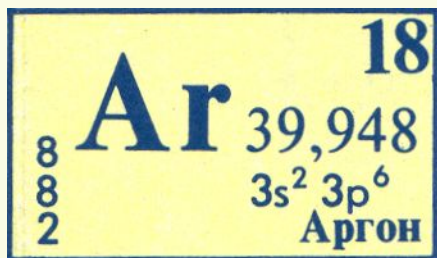
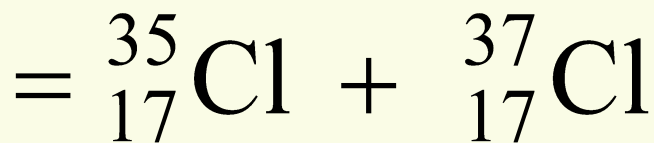
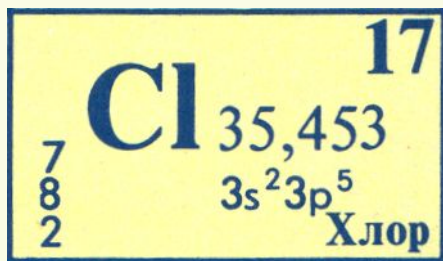
${}^1_1\text{H}$  – водород (1 протон)

${}^4_2\text{He}$  – гелий (2 протона)

Атомные веса  
некоторых  
элементов  
отличаются от  
целых значений

б	а VI б	а VII б	
		<b>H</b> 1,0079 $1s^1$ Водород	<b>He</b> 4,0026 $1s^2$ Гелий
7 0067 $2p^3$ Азот	<b>O</b> 15,999 $2s^2 2p^4$ Кислород	<b>F</b> 18,998 $2s^2 2p^5$ Фтор	<b>Ne</b> 20,179 $2s^2 2p^6$ Неон
15 9,973 $3p^3$ Фосфор	<b>S</b> 32,06 $3s^2 3p^4$ Сера	<b>Cl</b> 35,453 $3s^2 3p^5$ Хлор	<b>Ar</b> 39,948 $3s^2 3p^6$ Аргон
<b>V</b> 50,9415 $3d^3 4s^2$ Ванадий	<b>Cr</b> 51,996 $3d^5 4s^1$ Хром	<b>Mn</b> 54,938 $3d^5 4s^2$ Марганец	<b>Fe</b> 55,84 $3d^6 4s^2$ Железо
33 74,921 $4p^3$ Арсен	<b>Se</b> 78,96 $4s^2 4p^4$ Селен	<b>Br</b> 79,904 $4s^2 4p^5$ Бром	<b>Kr</b> 83,80 $4s^2 4p^6$ Криpton

Это означает, что химически чистое вещество состоит из смеси атомов с различным весом:

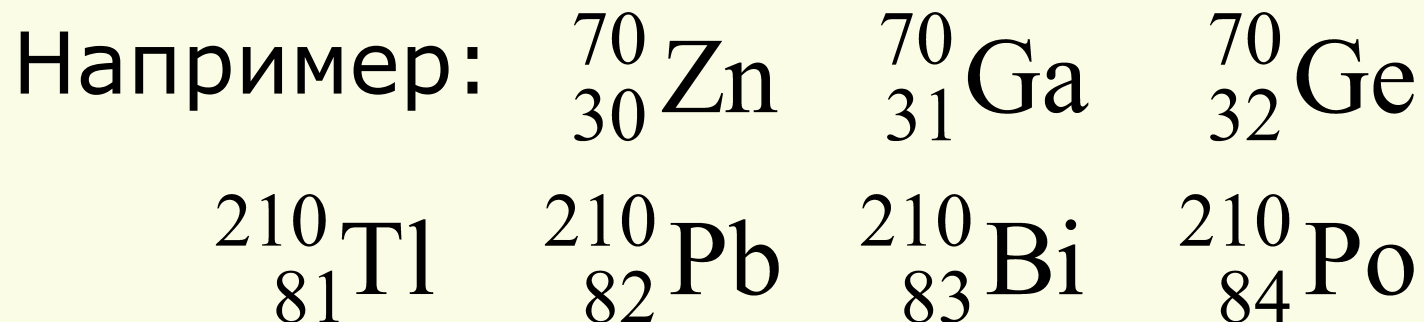


– ячейка таблицы Менделеева

ядра, имеющие одинаковый заряд  $Z$ , но различную массу, называются **изотопами**. Они отличаются количеством нейтронов.

Для 107 элементов известно около 2000 изотопов, 280 – из них устойчивы.

Изотопы с одинаковыми массовыми числами называются **изобарами**.



У легких ядер  $N \approx Z$ ,  
 т.е.  $A \approx 2Z$ ,  
 у тяжелых –  $N > Z$ .

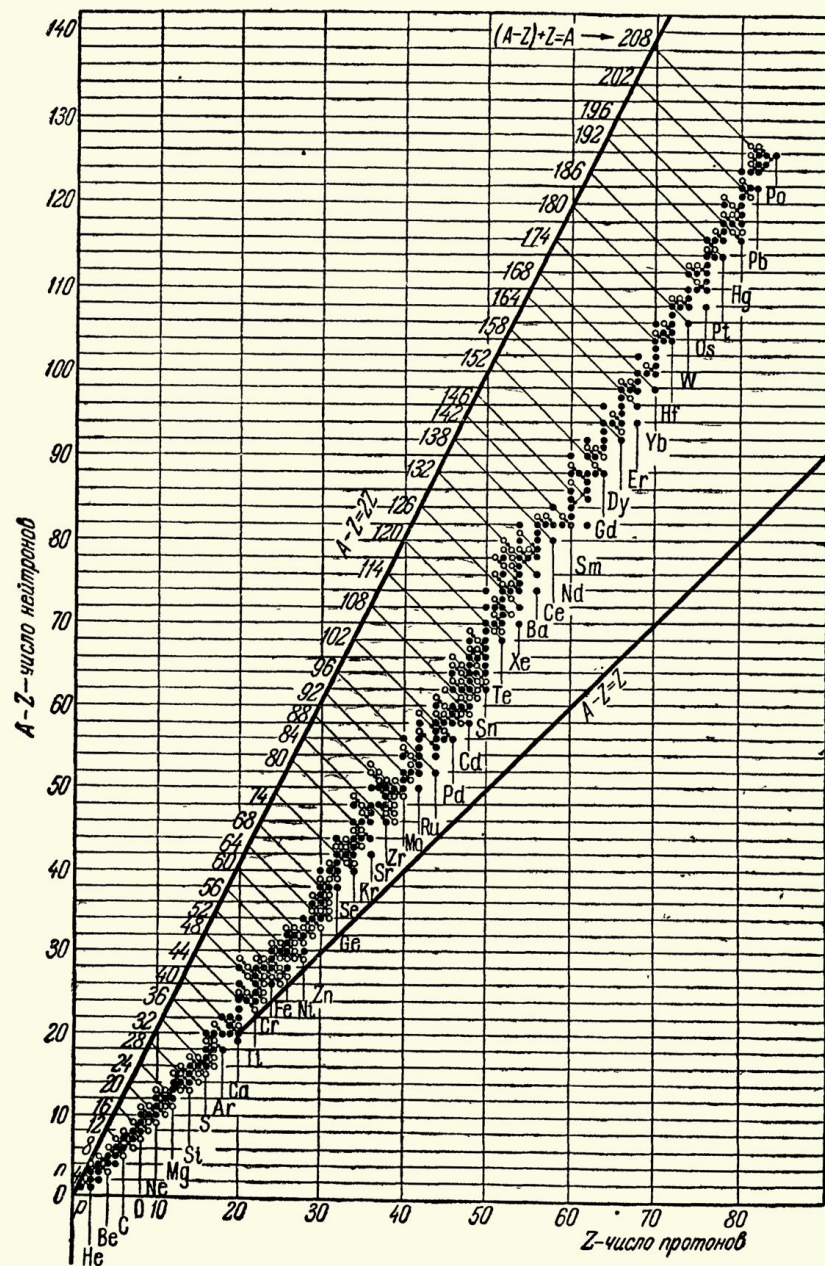
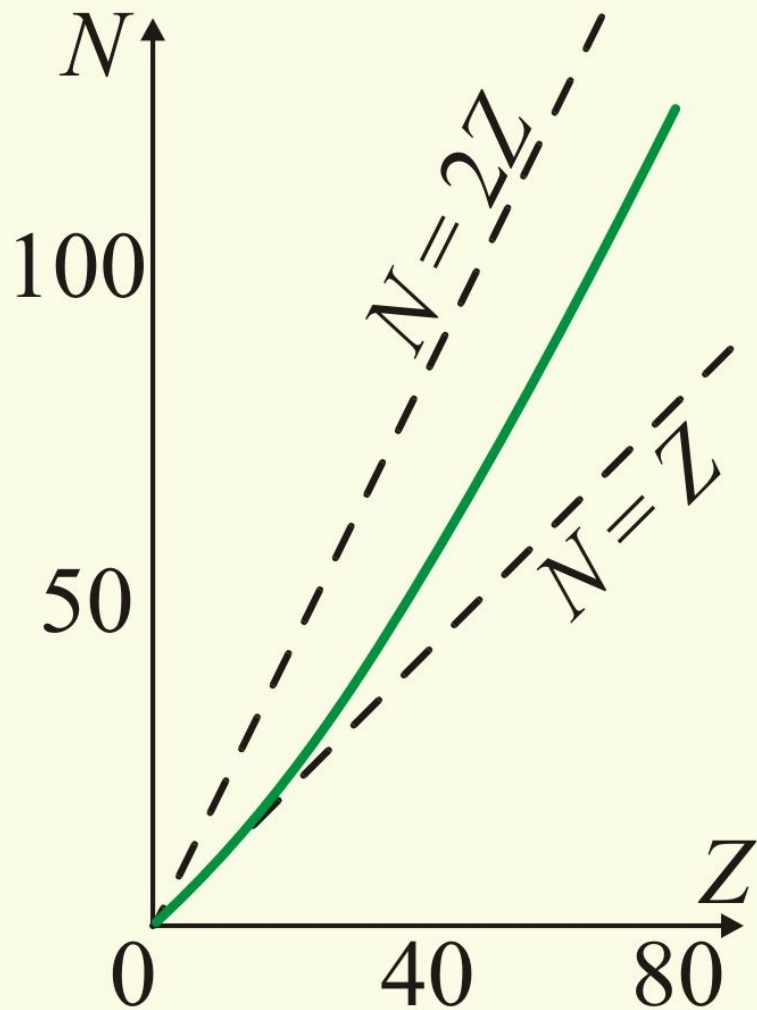


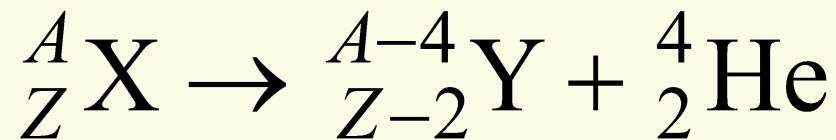
Рис. 344. Протонно-нейтронная диаграмма стабильных и некоторых радиоактивных ядер.

# §§ Радиоактивный распад

**Радиоактивность** – самопроизвольное изменение состава ядра.

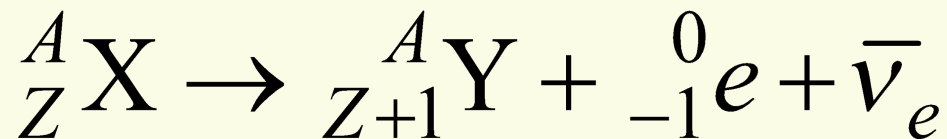
Различают следующие виды распада:

- 1)  $\alpha$ -распад, при котором из ядра вылетает группа нуклонов, формирующая **ядро атома гелия**

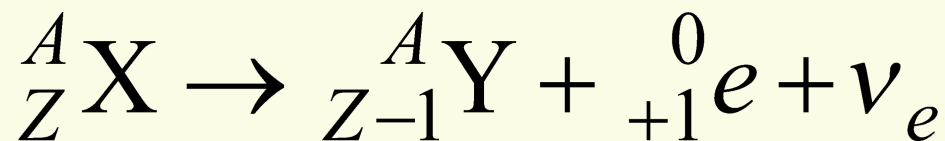


## 2) $\beta$ -распад

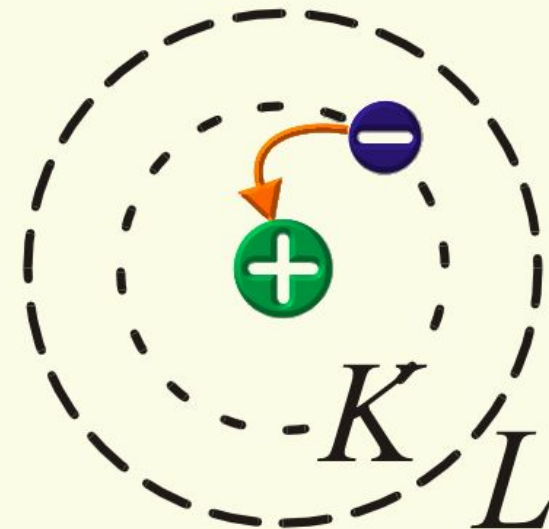
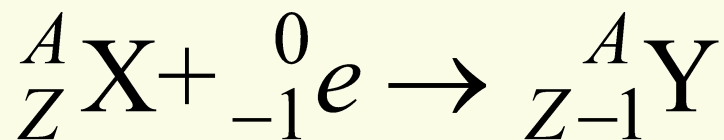
а)  $\beta^-$  (электронный) распад



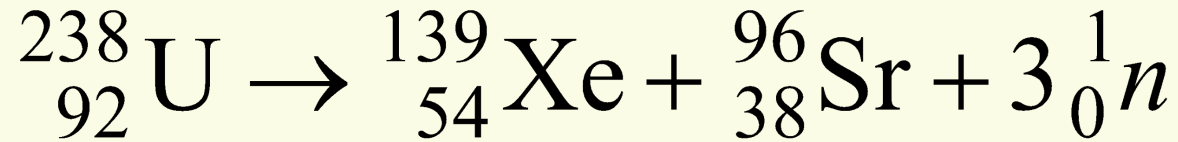
б)  $\beta^+$  (позитронный) распад



в) электронный захват  
( $K$ -захват)



### 3) спонтанное деление ядер



При радиоактивном распаде выполняется закон сохранения энергии:

$$M_0 c^2 = \sum M_i c^2 + \Delta E$$

$M_0$  – масса начального ядра

$\sum M_i$  – масса продуктов

$\Delta E > 0$  – для самопроизвольно распада

# §§ Статистический закон

В какой момент распадется конкретное ядро предсказать невозможно.

**Пример.** Из  $10^{12}$  атомов Ra за 1 с распадается  $\approx 14$  атомов.

Пусть вероятность того, что в единицу времени атом испытает превращение –  $\lambda$  – постоянная радиоактивного распада,

тогда 
$$\Delta N = -(\lambda \cdot \Delta t) N_0$$



$\Delta N$  – число распавшихся атомов

$N_0$  – число атомов, которые  
не распались

$$\frac{dN}{N} = -\lambda \cdot dt$$

$$\ln N = -\lambda t + \text{const}$$

$$N(t) = N_0 \exp(-\lambda t)$$

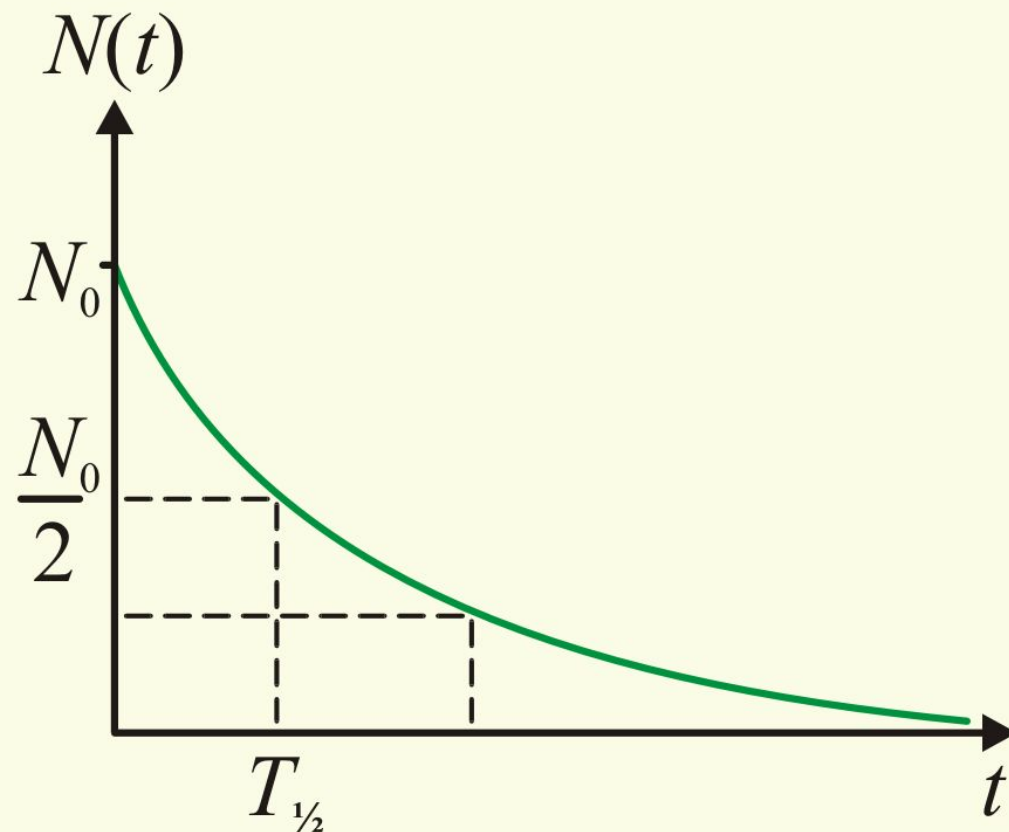
$N(t)$  – число не распавшихся атомов

Время, за которое распадется половина атомов, называется **временем полураспада**

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Среднее время жизни одного атома:

$$\tau = \frac{1}{\lambda}$$



# §§ Характеристики ядра

Ядро представляет собой систему **СИЛЬНО** взаимодействующих частиц – нуклонов. Ядерные силы притяжения **намного превосходят** электрические силы отталкивания между протонами

Нуклоны в ядре быстро двигаются.

Средняя энергия нуклона в ядре составляет  $\approx 40$  МэВ (скорость  $\approx 0,3 \cdot c$ )

# Основные характеристики ядра:

## а) стабильные ядра

1) заряд ( $Z$ )

2) масса ( $A$ )

3) энергия связи ( $E_{\text{св}}$ )

4) радиус (форма и размеры)

5) энергетический спектр состояний

## б) нестабильные (радиоактивные) ядра

6) период полураспада

7) тип превращения

8) энергетический спектр и поляризация испускаемых частиц

В настоящее время нет теории атомного ядра. При ее создании возникают следующие трудности:

- 1) недостаточность знаний
- 2) громоздкость уравнений
- 3) необходимость учета коллективного движения нуклонов

Особенности ядерных сил:

- 1) близкодействие ( $\approx 10^{-15}$  м)
- 2) зарядовая симметрия
- 3) насыщение

# §§ Модели атомного ядра

## 1) капельная модель (Нильс Бор, 1936)

В ней принимается, что ядро ведет себя подобно капле несжимаемой жидкости.

Основанием для этой модели стал экспериментальный факт практически одинаковой плотности всех ядер.

Как и капля жидкости, ядро может колебаться и деформироваться.

## 2) оболочечная модель ядра

В основе этой модели – экспериментальный факт периодичности свойств ядер, аналогично периодичности свойств атома при заполнении электронных оболочек.

Такая модель хорошо описывает основные свойства ядра в основном или слабо возбужденном состоянии.

### 3) Остовая модель

Ядро разделяется на **ОСТОВ** – устойчивую группу нуклонов, занимающую низшие уровни согласно принципу Паули и группу внешних нуклонов, двигающихся в поле остова.

Внешние нуклоны могут деформировать остов в эллипсоид, этим объясняется большой квадрупольный момент ядер.



# §§ Современные проблемы

- 1) поиск элементарной частицы и фундаментального взаимодействия (факт взаимных превращений всех элементарных частиц)
- 2) построение теории, имеющей минимум постоянных  
объяснение сильного, слабого, гравитационного взаимодействия

# 30 актуальных проблем физики (из лекции Гинзбурга В.Л.)

1. Управляемая термоядерная реакция.
2. Сверхпроводимость при высокой и комнатной температурах.
3. Металлический водород. Другие экзотические субстанции.
4. Двумерные электронные жидкости (аномальный эффект Холла и прочее).
5. Некоторые проблемы твердого тела (гетероструктуры в полупроводниках, квантовые ямы и точки, зарядовые и спиновые волны, мезоскопия и прочее).
6. Фазовые переходы второго рода и связанные с ними эффекты
7. Поверхностная физика. Кластеры.
8. Жидкие кристаллы. Ферроэлектрики. Ферротороиды (Ferrotoroic).
9. Фуллерены. Нанотрубки.
10. Нелинейная физика: турбулентность, солитоны, хаос, странные аттракторы.
11. Разеры (Rasers), гразеры (Grasers) - лазеры на рентгеновских и гамма-лучах.
12. Сверхтяжелые элементы. Экзотические ядра.
13. Спектр масс элементарных частиц. Кварки и глюоны. Квантовая хромодинамика. 14. 14. Кварк-глюонная плазма.
15. Единая теория слабых и электромагнитных взаимодействий.
16. Стандартная модель. Массы нейтрино. Магнитные монополи. Фундаментальная длина.
17. Нелинейные феномены в вакууме и сверхсильных электрических полях.
18. Несохранение CP-инвариантности.
19. Струны. М-теория.
20. Экспериментальная проверка Общей Теории Относительности.
21. Гравитационные волны и их детектирование.
22. Космологические проблемы. Инфляция. Связь космологии и физики высоких энергий.
23. Нейтронные звезды и пульсары. Сверхновые.
24. Черные дыры. Космические струны.
25. Квазары и ядра галактик. Образование галактик.
26. Проблема темной материи и ее детектирование.
27. Поиск ультравысокоэнергичных космических лучей.
28. Гамма-всплески (GRB). Гиперновые.
29. Нейтринная физика и астрономия. Осцилляции нейтрино.
30. Свойства вещества в сверхсильных магнитных полях.

Список вопросов к экзамену по физике  
Семестр 3 « Оптика. Атомная и ядерная физика. »

**§§ Уравнения Максвелла**

1. Первое уравнение Максвелла. Вихревое электрическое поле.
2. Второе уравнение Максвелла. Ток смещения.
3. Система уравнений Максвелла.
4. Плоская волна в диэлектрике.
5. Отражение и преломление ЭМВ на границе двух диэлектриков.
6. Вектор Умова–Пойтинга.

**§§ Понятия геометрической оптики**

7. Законы геометрической оптики. Показатель преломления.
8. Принцип Ферма.

**§§ Волновая оптика**

9. Спектр электромагнитных волн.
10. Интерференция колебаний.
11. Распространение электромагнитных волн.
12. Опыт Юнга.
13. Дифракция света. Принцип Гюйгенса–Френеля.
14. Дифракция света на бесконечной щели.
15. Дифракционная решетка.
16. Дифракция Френеля.
17. Дифракция рентгеновских лучей.
18. Закон отражения и преломления света и их объяснение с помощью принципа Гюйгенса–Френеля.
19. Оптический и геометрический путь.

*спасибо за внимание!*