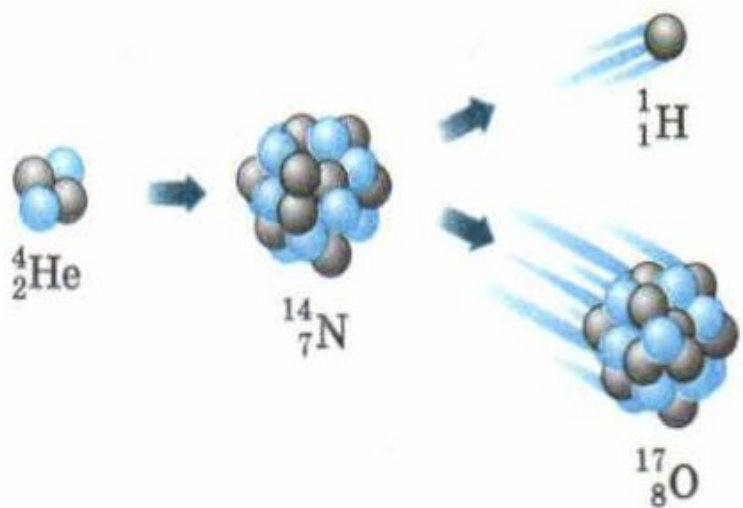


# ЭЛЕМЕНТЫ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ

## Содержание:

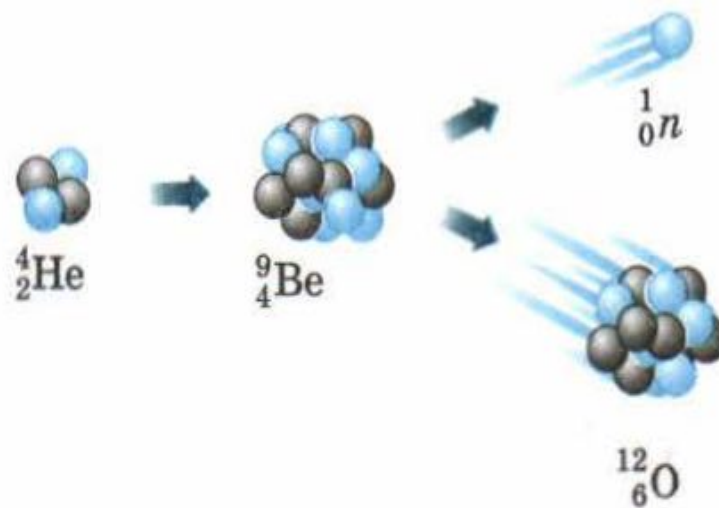
- 1) Протонно-нейтронная модель ядра
- 2) Сильное взаимодействие
- 3) Состав ядра
- 4) Энергия связи нуклонов в ядре
- 5) Радиоактивность. Виды радиоактивных распадов
- 6) Закон радиоактивного распада. Период полураспада
- 7) Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом
- 8) Элементы дозиметрии
- 9) Защита от ионизирующего излучения

# 1. Протонно-нейтронная модель ядра



▲ 133

*Образование протона при бомбардировке ядер азота  $\alpha$ -частицами*



▲ 134

*Образование нейтрона при бомбардировке ядер бериллия  $\alpha$ -частицами*

**Протон** – ядро атома водорода.

$$e_p \sim 1,6^{-19} \text{ Кл.}$$

Масса покоя:

$$m_p \sim 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1836 m_e = 1,007 \text{ а. е. м.}$$

Иногда - в значениях энергии ( $E = mc^2$ );

$$m_p \sim 938,27 \text{ МэВ.}$$

Спин протона:  $\frac{1}{2}$  (фермион)

**Нейтрон** - Дж.Чедвик (1932 г.)

Масса покоя:

$$m_n \sim 1,674 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,008 \text{ а. е. м} = 939,56 \text{ МэВ. } (> m_p = 938,27 \text{ МэВ})$$

Не имеет заряда.

Спин нейтрона:  $\frac{1}{2}$  (фермион) – не смотря на отсутств заряда, так как в состав входят заряженные кварки

**Протоны и нейтроны - нуклоны.**

**Для характеристики атомных ядер ....**

**Z** - зарядовое число или атомный номер, число протонов в ядре,

**Ze** – заряд ядра,

**N** - число нейтронов,

**A = Z + N** - массовое число,

${}^A_Z X$  - ядра химических элементов,

**X** – химический символ элемента

**Изотопы** - ядра одного хим. эл., отличаются числом нейтронов **N**.

У них **A = Z + N** – разное.

Хим. элемент в природе - **смесь изотопов.**

Н-р, у **водорода 3** изотопа:

${}^1H_1$  – протий, обычный водород, 1 протон,

${}^2H_1$  – дейтерий, 1 протон + 1 нейтрон,

${}^3H_1$  – тритий, 1 протон + 2 нейтрона

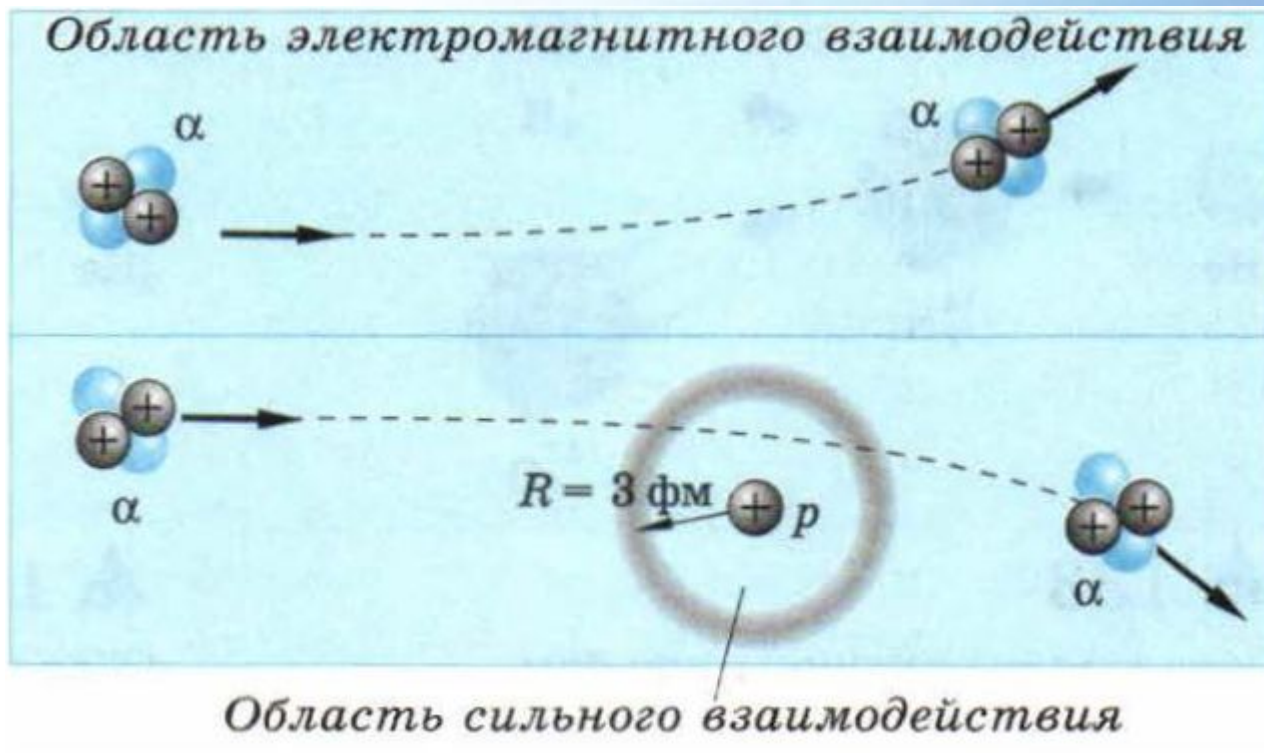
Углерод – 6 изотопов,

Кислород-3 изотопа



## 2. Сильное взаимодействие нуклонов

Протоны и нейтроны удерживаются в ядре силами сильного взаимодействия



Ядерные силы притяжения между нуклонами в сотни раз больше электромагнитных сил отталкивания

# Свойства ядерных сил:

- 1) силы притяжения;
- 2) короткодействующие, радиус действия  $\sim 10^{-15}$  м;  
на меньших расстояниях -отталкивание;
- 3) не зависят от заряда, одинаковы между двумя любыми нуклонами ( $n - p, p - p, n - n$ ), имеют незлектрическую природу;
- 4). свойственно насыщение (каждый нуклон в ядре взаимодействует только с ограниченным числом ближайших нуклонов).

Полное насыщение ядерных сил достигается у  $\alpha$  –частицы

Притяжение между протоном и нейтроном объясняется постоянным обменом друг с другом виртуальной частицей  $\pi^+$ -мезоном. Взаимодействие протонов происходит в результате обмена виртуальными нейтральными частицами  $\pi^0$ -мезоном (пионами).

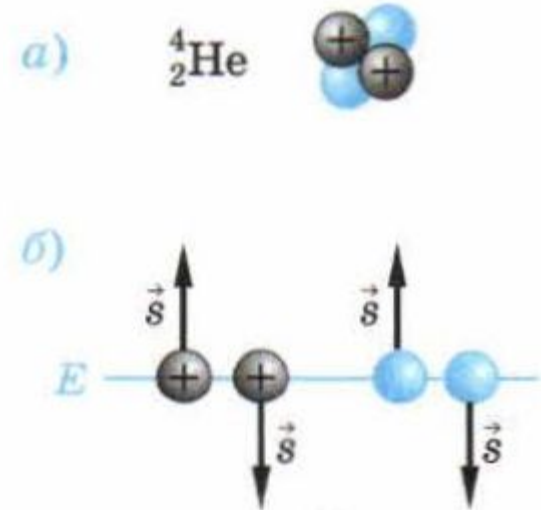


*Обменное взаимодействие протона и нейтрона*



### 3. Состав ядра

В электронной оболочке гелия находятся два электрона, а в ядре соответственно два протона. Однако ядро, состоящее из двух протонов, неустойчиво из-за кулоновского отталкивания протонов (такое ядро существует менее  $10^{-18}$  с). Два нейтрона, входящие в состав ядра  ${}^4_2\text{He}$ , стабилизируют ядро. Силы их ядерного притяжения между собой и к протонам препятствуют кулоновскому отталкиванию протонов. В основном энергетическом состоянии ядра  ${}^4_2\text{He}$ , обладающего минимальной энергией, находятся две пары протонов и нейтронов с противоположными спинами (рис. 138). Подобное парное размещение нуклонов соответствует максимальному заполнению соответствующей энергетической оболочки. Энергия ядер, как и атомов, квантуется, т. е. ядра обладают дискретным спектром энергетических состояний.



*Ядро атома гелия:  
а) нуклоны в ядре;  
б) нуклоны в основном энергетическом состоянии*



Наиболее стабильными являются *чётно-чётные ядра*, состоящие из чётного числа протонов и чётного числа нейтронов. Известно около 160 стабильных чётно-чётных ядер. Особой устойчивостью среди чётно-чётных ядер отличаются «*магические ядра*» — ядра, у которых число  $Z$  протонов или  $N$  нейтронов равно одному из чисел 2, 8, 20, 28, 50, 82, 126. Сами эти числа также называют *магическими*. Магические числа отражают периодичность заполнения нуклонами энергетических оболочек ядра, подобную периодичности заполнения электронами электронных оболочек атомов, отражённой в периодической системе Менделеева. Подобную теоретическую модель строения ядра называют *оболочечной моделью*.



**Размер ядра.** Предполагая, что нуклоны плотно упакованы в ядре с массовым числом  $A$ , можно оценить радиус ядра  $R$ . Условно вводя радиус нуклона  $r_0$ , можно утверждать, что объём ядра складывается из объёма отдельных нуклонов

$$\frac{4}{3} \pi R^3 = \left( \frac{4}{3} \pi r_0^3 \right) A.$$

Следовательно, радиус ядра равен

$$R = r_0 A^{1/3}.$$

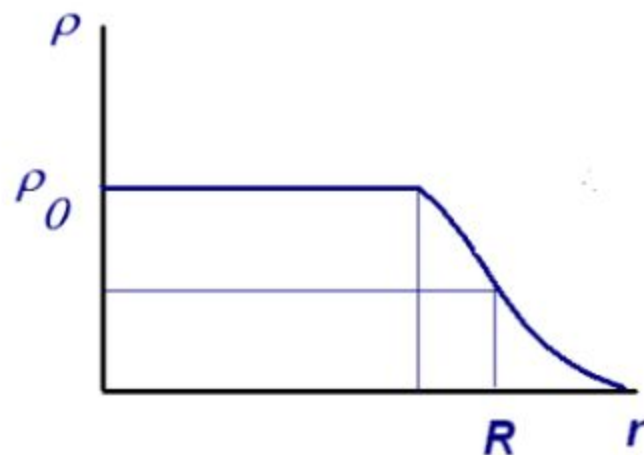
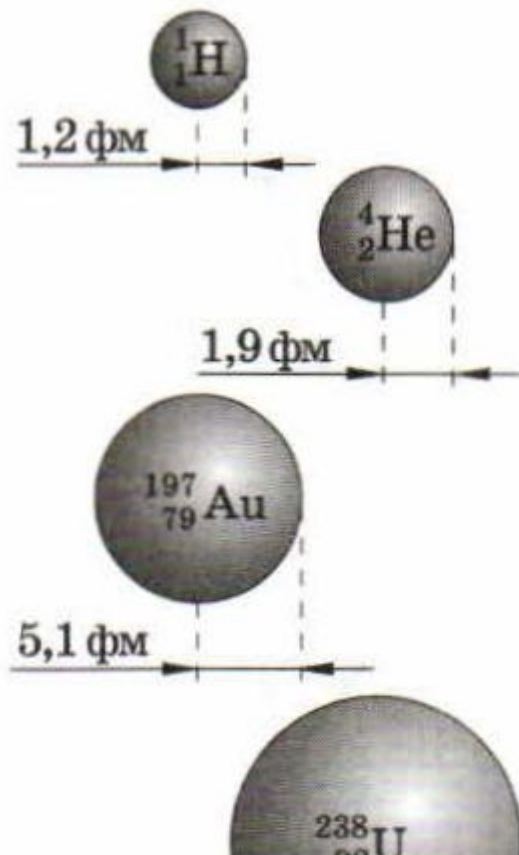
Эксперименты показывают, что  $r_0 = 1,2$  фм.

Зная радиус ядра, можно оценить плотность ядерного вещества, зная, что  $1 \text{ а. е. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$ ,

$$\begin{aligned} \rho &= \frac{m_{\text{я}}}{\frac{4}{3} \pi R^3} = \\ &= \frac{1,66 \cdot 10^{-27}}{\frac{4}{3} \pi (1,2 \cdot 10^{-15})^3} \end{aligned}$$

Для сравнения плотность воды  $\rho_{\text{в}} = 10^3 \text{ кг/м}^3$  и плотность ядерного вещества имел бы вид  $\rho_{\text{я}} = 2 \cdot 10^{17} \text{ кг/м}^3$ . В природе существуют нейтронные звёзды — объекты, удерживаемые гравитационным притяжением.

**Плотность числа нуклонов постоянна во внутренней области ядра и уменьшается до нуля вблизи его поверхности.**



## 4. Энергия связи нуклонов в ядре


- Масса ядра меньше суммы масс покоя составляющих нуклонов ( $m_{\text{я}}$  - масса ядра)

$$m_{\text{я}} < Zm_p + (A - Z)m_n$$

$m_p$  и  $m_n$  - массы покоя протона и нейтрона

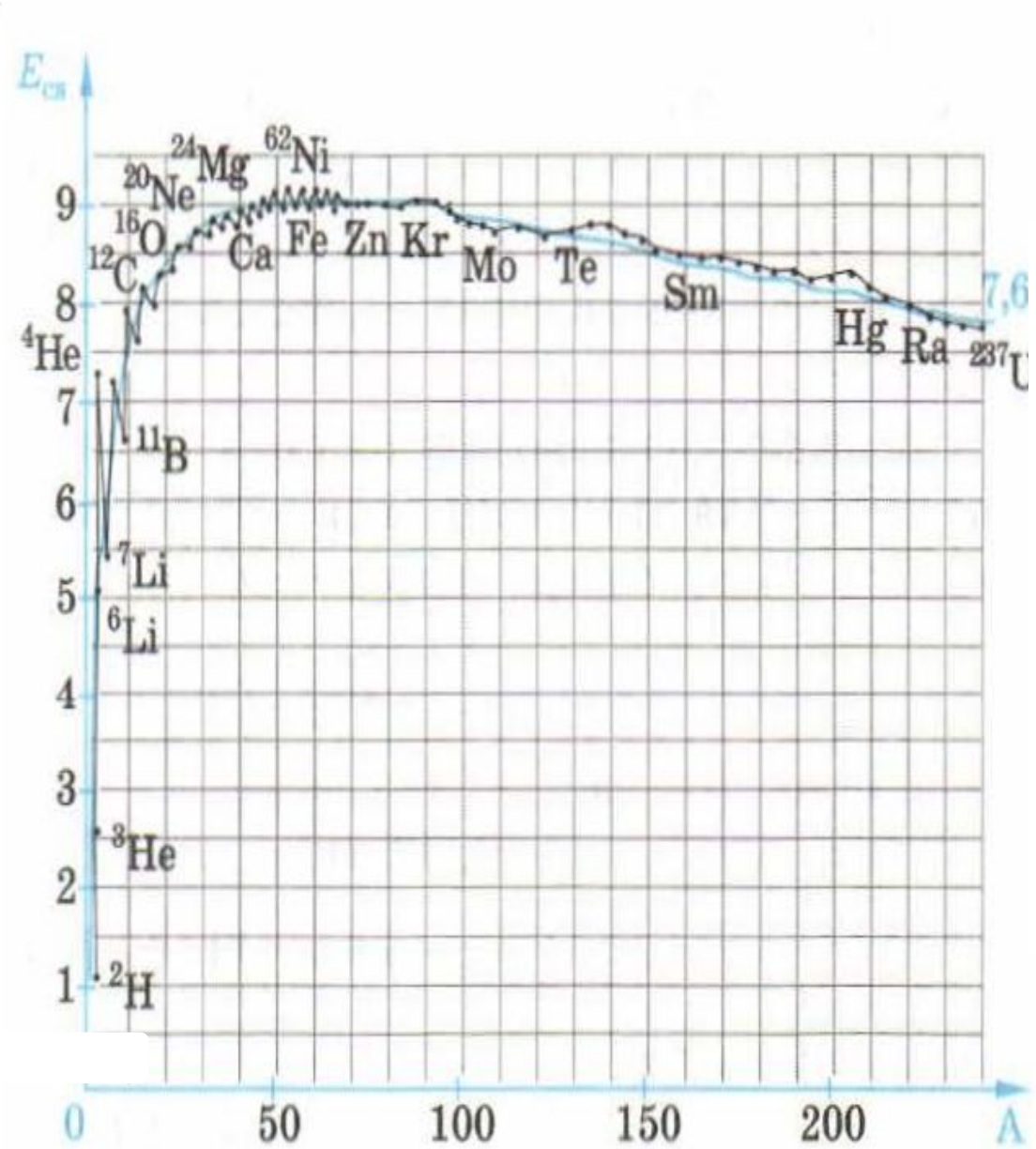
**Энергия связи ядра** - минимальная энергия, необходимая для того, чтобы разделить ядро на составляющие его нуклоны (протоны и нейтроны).

$$E_{\text{св}} = (Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}})c^2$$

  $\Delta m$  - дефект масс (7)

Энергия, выделяющаяся при образовании ядра

Такая энергия выделяется при образовании ядра из протонов и нейтронов и определяет уменьшение массы ядра по сравнению с массой протонов и нейтронов, входящих в его состав, или *дефект массы*.



Удельная энергия связи... на один нуклон:

$$E_{св}^{уд} = \frac{E_{св}}{A} = \frac{\Delta m}{A} c^2 \quad (8)$$

Для большинства ядер  $\approx 8 \text{ МэВ}$   
 Для разрыва химической связи - в  $10^6$  раз меньше.  
Наибольшая для тяжелых ядер  $m > 50$ .



Для небольших ядер удельная энергия связи мала из-за малого числа нуклонов. Наибольшей энергией связи обладают стабильные ядра с массами, кратными целому числу массы  $\alpha$ -частицы ( ${}^4_2\text{He}$ ).

Максимальная энергия связи  $8,795 \text{ МэВ}$  у  ${}^{62}_{28}\text{Ni}$ , наиболее стабильного из всех ядер.

Высокая энергия связи ядра железа объясняет широкую распространённость железа во Вселенной. У тяжёлых элементов при больших  $Z$  энергия связи нуклона уменьшается из-за кулоновского отталкивания протонов. Слабая зависимость энергии связи нуклона от полного числа  $A$  нуклонов в ядре подтверждает, что нуклоны связаны короткодействующими силами. Лишний нуклон взаимодействует лишь с ближайшими соседями. При далекодействующих силах (таких, как гравитационные) энергия связи зависит от размеров: камень в 6 раз труднее оторвать от поверхности Земли, чем от поверхности Луны.

Ядерные силы напоминают быстро убывающие с расстоянием силы взаимодействия между молекулами жидкости. Энергия связи молекул не зависит от массы жидкости. Удельная теплота парообразования воды одинакова при испарении воды из чашки и из озера.

Подобно молекулам, находящимся на поверхности воды, нуклоны втягиваются внутрь ядра, испытывая поверхностное натяжение. Вот почему ядра имеют сферическую форму. Ядро является как бы каплей ядерного вещества.



## 5. Радиоактивность. Виды радиоактивных распадов

**Радиоактивный распад.** Примерно 90% из 2500 ядер изотопов, известных в настоящее время, нестабильны. Они распадаются на другие ядра и частицы. Подобный процесс распада называют *радиоактивностью* (от лат. radio — излучаю).

*Радиоактивность — явление самопроизвольного превращения одних ядер в другие с испусканием различных частиц.*

Устойчивыми, стабильными являются лишь атомные ядра с энергией связи нуклонов, большей суммарной энергии связи нуклонов в продуктах распада.

Различают *естественную* и *искусственную* радиоактивность.

- Естественная радиоактивность — радиоактивность, наблюдаемая у неустойчивых изотопов, существующих в природе.
- Искусственная радиоактивность — радиоактивность изотопов, полученных искусственно при ядерных реакциях.

Нестабильными, или радиоактивными, являются тяжёлые ядра с зарядовым числом  $Z > 83$  или массовым числом  $A > 209$ , которые могут спонтанно распадаться.

*Радиоактивный распад — радиоактивное (самопроизвольное) превращение исходного (материнского) ядра в новые (дочерние) ядра.*

Причиной радиоактивного распада является нарушение баланса между количеством  $Z$  протонов и  $N$  нейтронов в ядре. Во всех стабильных ядрах (за исключением  ${}^1_1\text{H}$ ) число нейтронов больше (не меньше) числа протонов:  $N \geq Z$ . Поле ядерного притяжения нейтронов компенсирует кулоновское отталкивание протонов. При нарушении требуемого баланса ядро обладает избыточной энергией, избавиться от которой оно может в результате перехода в состояние с меньшей энергией.



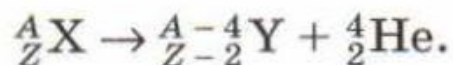
**Альфа-распад.** Если ядро содержит избыточное число протонов, возникает *альфа-распад*.

*Альфа-распад — спонтанное превращение радиоактивного ядра в новое ядро с испусканием  $\alpha$ -частицы.*



При альфа-распаде радиоактивное (материнское) ядро X превращается в новое (дочернее) ядро Y, испуская при этом  $\alpha$ -частицу (ядро атома  ${}^4_2\text{He}$  —  $Z = 2$ ;  $A = 4$ ).

С учётом законов сохранения электрического заряда и массы (числа нуклонов) запишем уравнение альфа-распада:



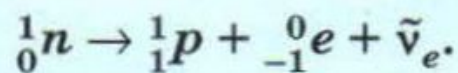
**Бета-распад.** Если ядро содержит избыточное число нейтронов, возникает *бета-распад*.

**Бета(минус)-распад** — спонтанное превращение радиоактивного ядра в новое ядро с испусканием электрона и антинейтрино.

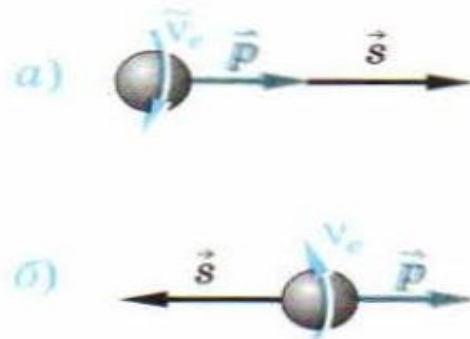
При бета(минус)-распаде радиоактивное (материнское) ядро X превращается в новое (дочернее) ядро Y с испусканием электрона (сначала испускаемые электроны при таком распаде называли бета-лучами). В результате бета-распада образуется элемент с порядковым номером в таблице Менделеева больше на единицу

Электрон не содержит нуклонов, поэтому его массовое число равно нулю.

Появление вопросительного знака в уравнении реакции не случайно. В процессе бета-распада один из нейтронов превращается в протон. При этом вследствие закона сохранения электрического заряда образуется электрон и ещё одна частица (рис. 142, а):



(113)



▲ 142

Спины античастиц:

а) антинейтрино;

б) нейтрино



Позднее эту частицу, появляющуюся всегда вместе с электроном, стали называть электронное антинейтрино  $\bar{\nu}_e$  (волнистой линией сверху символа обозначают античастицы). Название «нейтрино» происходит от итальянского *neutrino* — «нейтрончик». Отличается электронное антинейтрино  $\bar{\nu}_e$  от нейтрино  $\nu_e$  ориентацией спина (рис. 142). Спин  $\vec{s}$  нейтрино направлен противоположно его импульсу  $\vec{p}$  (направлению скорости движения), а спин антинейтрино сонаправлен с ним. На рисунке 142, б условно показано направление вращения нейтрино относительно направления скорости его движения. Нейтрино и антинейтрино обладают полуцелым спином  $\hbar/2$ .

Соответственно антинейтрино возникает и в процессе бета-распада:



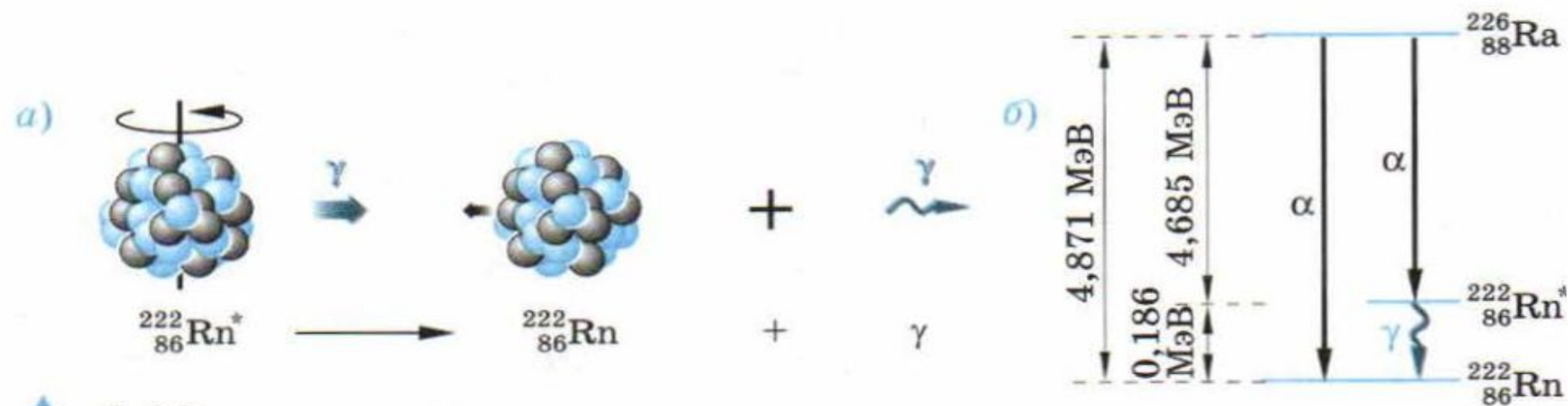
В процессе бета-распада уменьшается относительное число нейтронов. Например, ядро атома углерода  ${}^{14}_6\text{C}$  превращается в ядро азота  ${}^{14}_7\text{N}$ :  ${}^{14}_6\text{C} \rightarrow {}^{14}_7\text{N} + {}^0_{-1} e + \bar{\nu}_e$ .



**Гамма-излучение.** Альфа-распад  $^{226}_{88}\text{Ra}$  может проходить в два этапа: сначала образуется дочернее ядро  $^{222}_{86}\text{Rn}^*$  в возбуждённом состоянии с энергией  $E^*$ , которое затем, испуская  $\gamma$ -квант с энергией 0,186 МэВ, переходит в основное состояние  $^{222}_{86}\text{Rn}$  с энергией  $E$  (рис. 143).

*Гамма-излучение — электромагнитное излучение, возникающее при переходе ядра из возбуждённого в более низкое энергетическое состояние.*

Электрон и антинейтрино не входят в состав ядра атома, а рождаются в процессе бета-распада. Фотон также не является составной частью атома, а возникает лишь при переходе ядра атома из одного квантового состояния в другое. Появление новых элементарных частиц в ходе ядерных реакций отражает их фундаментальное свойство — *взаимопревращаемость*.



## 6. Закон радиоактивного распада

**Радиоактивный распад** - это статистическое явление. Невозможно предсказать, когда распадется данное нестабильное ядро, можно лишь сделать некоторые вероятностные суждения об этом событии. Для большой совокупности радиоактивных ядер можно получить статистический закон, выражающий зависимость нераспавшихся ядер от времени.

Пусть за достаточно малый интервал времени  $dt$  распадается  $dN$  ядер. Это число пропорционально интервалу времени  $dt$ , а также общему числу  $N$  радиоактивных ядер:

$$dN = -\lambda N dt, \quad (32.8)$$

где  $\lambda$  — *постоянная распада*, пропорциональная вероятности распада радиоактивного ядра и различная для разных радиоактивных веществ. Знак « $-$ » поставлен в связи с тем, что  $dN < 0$ , так как число нераспавшихся радиоактивных ядер убывает со временем.

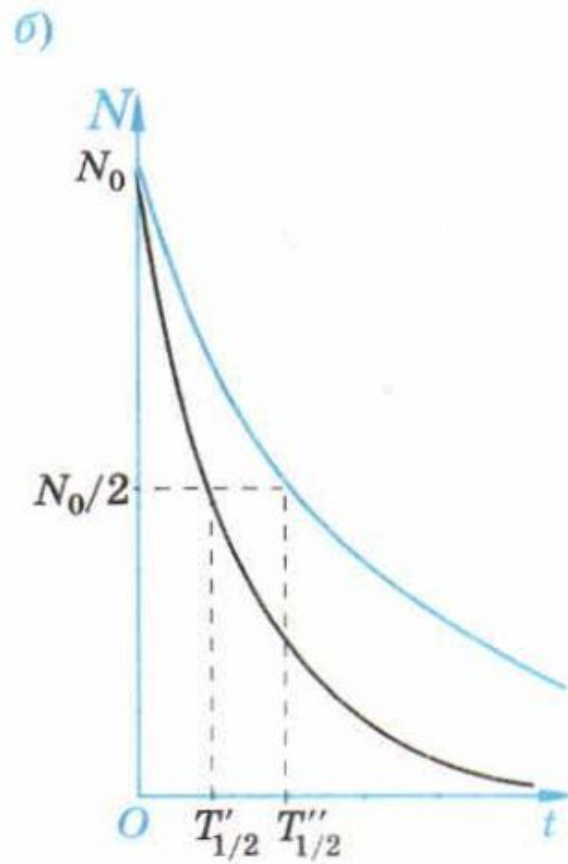
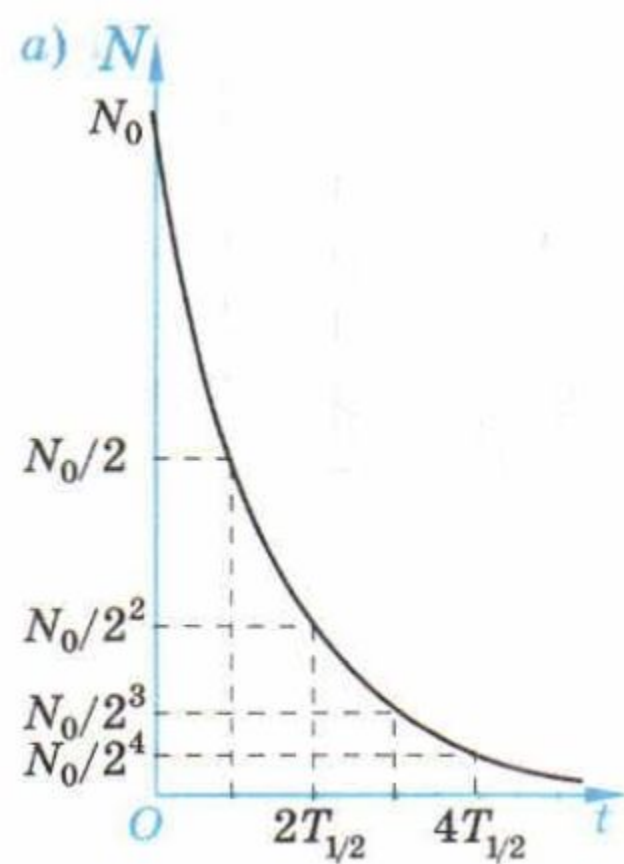
Разделим переменные и проинтегрируем (32.8) с учетом того, что нижние пределы интегрирования соответствуют начальным условиям ( $t = 0, N = N_0$ ;  $N_0$  — начальное число радиоактивных ядер), а верхние —

текущим значениям  $t$  и  $N$ :  $\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$ ,  $\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t$ . Потенцируя это

выражение, имеем:

$$N = N_0 e^{-\lambda t}. \quad (32.9)$$





Закон радиоактивного распада:

а) число нераспавшихся атомов как функция времени;

б) число нераспавшихся атомов в двух образцах с разным периодом полураспада

На практике вместо постоянной распада чаще используют другую характеристику радиоактивного изотопа - **период полураспада  $T$** . Это время, в течение которого распадается половина радиоактивных ядер. Естественно, что это определение справедливо для достаточно большого числа ядер.

$$T = \ln 2 / \lambda \approx 0,69 / \lambda.$$



Работая с радиоактивными источниками, важно знать число частиц или  $\gamma$ -фотонов, вылетающих из препарата в секунду. Это число пропорционально скорости распада, поэтому скорость распада, называемая *активностью*, является существенной характеристикой радиоактивного препарата:

$$A = \frac{dN}{dt}.$$

$$A = \frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t},$$

$$A = \frac{N}{T} \ln 2.$$

Таким образом, активность препарата тем больше, чем больше радиоактивных ядер и меньше их период полураспада. Активность препарата со временем убывает по экспоненциальному закону.

Единица активности - *беккерель* (Бк), что соответствует активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за 1 с происходит один акт распада. Наиболее употребительной единицей активности является *кюри* (Ки);  $1 \text{ Ки} = 3,7 * 10^{10} \text{ Бк} = 3,7 * 10^{10} \text{ с}^{-1}$ . Кроме того, существует еще одна внесистемная единица активности - *резерфорд* (Рд);  $1 \text{ Рд} = 10^6 \text{ Бк} = 10^6 \text{ с}^{-1}$ . Для характеристики активности единицы массы радиоактивного источника вводят величину, называемую *удельной массовой активностью* и равную отношению активности изотопа к его массе. Удельная массовая активность выражается в *беккерелях на килограмм* (Бк/кг).

## 7. Взаимодействие ионизирующего излучения с веществом

Заряженные частицы и  $\gamma$ -фотоны, распространяясь в веществе, взаимодействуют с электронами и ядрами, в результате чего изменяется состояние как вещества, так и частиц.

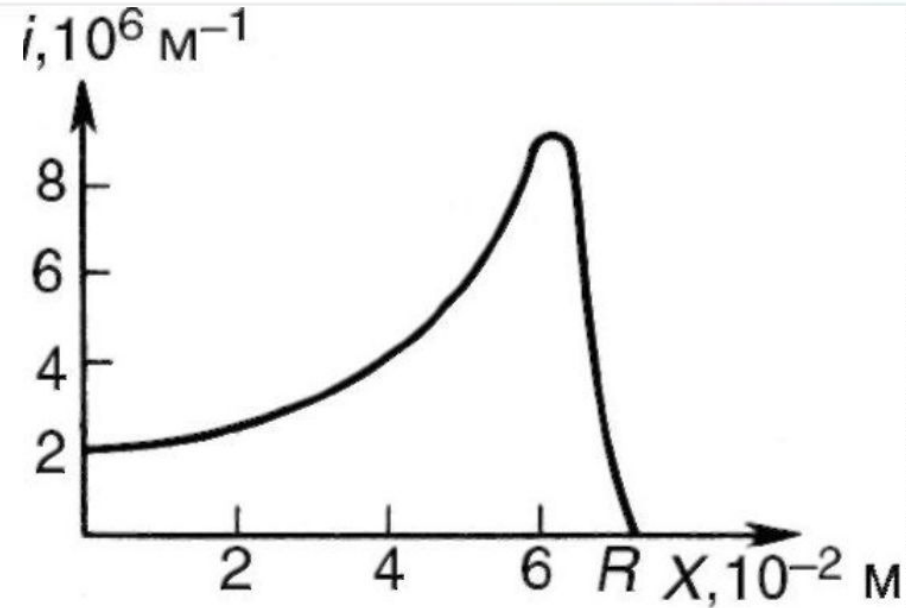
Основным механизмом потерь энергии заряженной частицы ( $\alpha$  и  $\beta$ ) при прохождении через вещество является ионизационное торможение. При этом ее кинетическая энергия расходуется на возбуждение и ионизацию атомов среды.

Взаимодействие частицы с веществом количественно оценивается *линейной плотностью ионизации*, *линейной тормозной способностью вещества* и *средним линейным пробегом частицы*.

Под *линейной плотностью ионизации*  $i$  понимают отношение числа  $dn$  пар ионов, образованных заряженной ионизирующей частицей на элементарном пути  $dl$ , к этому пути:  $i = dn/dl$ . Размерность - пар ионов/м.

*Линейной тормозной способностью вещества*  $S$  называют отношение энергии  $dE$ , теряемой заряженной ионизирующей частицей при прохождении элементарного пути  $dl$  в веществе, к длине этого пути:  $S = dE/dl$ . Размерность - Дж/м.

*Средним линейным пробегом* заряженной ионизирующей частицы  $R$  является среднее значение расстояния, проходимого частицей в данном веществе до потери ионизирующей способности.



По мере продвижения частицы в среде уменьшаются ее энергия и скорость, линейная плотность ионизации при этом возрастает и только при завершении пробега частицы резко убывает. Возрастание  $i$  обусловлено тем, что при меньшей скорости  $\alpha$ -частица больше времени проводит вблизи атома и, таким образом, возрастает вероятность ионизации атома. Как видно из рисунка, линейная плотность ионизации  $\alpha$ -частиц естественно-радиоактивных изотопов в воздухе при нормальном давлении составляет  $i = (2 - 8) \cdot 10^6$  пар ионов/м.

Так как для ионизации одной молекулы требуется энергия около 34 эВ, то значения линейной тормозной способности вещества (воздуха) Улежат в интервале 70-270 МэВ/м.

Средний линейный пробег  $\alpha$ -частицы зависит от ее энергии. В воздухе он равен нескольким сантиметрам, в жидкостях и в живом организме - 10-100 мкм. После того как скорость  $\alpha$ -частицы замедляется до скорости молекулярно-теплового движения, она, захватив два электрона в веществе, превращается в атом гелия.



Ионизация и возбуждение являются первичными процессами. Вторичными процессами могут быть увеличение скорости молекулярно-теплового движения, характеристическое рентгеновское излучение, радиолюминесценция, химические процессы.

Взаимодействие  $\alpha$ -частиц с ядрами - значительно более редкий процесс, чем ионизация. При этом возможны ядерные реакции, а также рассеяние  $\alpha$ -частиц.

$\beta$ -Излучение, так же как и  $\alpha$ -излучение, вызывает ионизацию вещества. Кроме ионизации и возбуждения  $\beta$ -частицы могут вызывать и другие процессы. Так, например, при торможении электронов возникает тормозное рентгеновское излучение.  $\beta$ -Частицы рассеиваются на электронах вещества, и их пути сильно искривляются в нем.

При попадании  $\beta^+$ -частицы в вещество с большой вероятностью происходит такое взаимодействие ее с электроном, в результате которого вместо пары электрон-позитрон образуются два  $\gamma$ -фотона. Этот процесс называют аннигиляцией. Несмотря на разнообразие процессов, приводящих к ослаблению  $\beta$ -излучения, можно приближенно считать, что интенсивность его изменяется по экспоненциальному закону. В качестве одной из характеристик поглощения  $\beta$ -излучения веществом используют слой половинного поглощения, при прохождении через который интенсивность излучения уменьшается вдвое.

Можно считать, что в ткани организма  $\beta$ -частицы проникают на глубину 10-15 мм. Защитой от  $\beta$ -излучения служат тонкие алюминиевые, плексигласовые и другие экраны.

При попадании  $\gamma$ -излучения в вещество наряду с процессами, характерными для рентгеновского излучения (когерентное рассеяние, эффект Комптона, фотоэффект), возникают и такие, которые неспецифичны для взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. К этим процессам следует отнести образование пары электрон-позитрон, происходящее при энергии  $\gamma$ -фотона, не меньшей суммарной энергии покоя электрона и позитрона (1,02 МэВ), и фотоядерные реакции, которые возникают при взаимодействии  $\gamma$ -фотонов больших энергий с атомными ядрами. В результате различных процессов под действием  $\gamma$ -излучения образуются заряженные частицы; следовательно,  $\gamma$ -излучения также является ионизирующим.

Поток нейтронов тоже является ионизирующим излучением, так как в результате взаимодействия нейтронов с ядрами атомов образуются заряженные частицы и  $\gamma$ -излучение.

Ионизирующее излучение оказывает действие на биологический объект, подвергнутый облучению и на последующие поколения через наследственный аппарат клеток. Это обстоятельство особо остро ставят вопрос о защите организмов от излучения.

Разные части клеток по-разному чувствительны к одной и той же дозе ионизирующего излучения. Наиболее чувствительным к действию излучения является ядро клетки.

Способность к делению - наиболее уязвимая функция клетки, поэтому при облучении прежде всего поражаются растущие ткани. Это делает ионизирующее излучение особенно опасным для детского организма. Губительно действует излучение и на ткани взрослого организма, в которых происходит постоянное или периодическое деление клеток: слизистую оболочку желудка и кишечника, кроветворную ткань, половые клетки и т.д. Действия ионизирующего излучения на быстрорастущие ткани используют также при терапевтическом воздействии на ткани опухоли.



## 8. Элементы дозиметрии

**Дозиметрией** называют раздел ядерной физики и измерительной техники, в котором изучают величины, характеризующие действие ионизирующего излучения на вещества, а также методы и приборы для их измерения.

Независимо от природы ионизирующего излучения его взаимодействие количественно может быть оценено **отношением энергии, переданной элементу облученного вещества, к массе этого элемента.** Эту характеристику называют **дозой излучения (поглощенной дозой излучения)  $D$ .**

Различные эффекты ионизирующего излучения прежде всего определяются поглощенной дозой. Она сложным образом зависит от вида ионизирующего излучения, энергии его частиц, состава облучаемого вещества и пропорциональна времени облучения. **Дозу, отнесенную ко времени, называют мощностью дозы.**

Единицей поглощенной дозы излучения является *грей* (Гр), который соответствует дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж; **мощность дозы излучения** выражается в *греях в секунду* (Гр/с). Внесистемная единица дозы излучения - рад<sup>1</sup> (1 рад =  $10^{-2}$  Гр = 100 эрг/г), ее мощности - *рад в секунду* (рад/с).

Вводят еще одно понятие дозы для рентгеновского и  $\gamma$ -излучения - *экспозиционную дозу излучения X*, которая является мерой ионизации воздуха рентгеновскими и  $\gamma$ -лучами. За единицу экспозиционной дозы принят *кулон на килограмм* (Кл/кг). На практике используют единицу, называемую *рентгеном* (Р),

Для данного вида излучения биологическое действие обычно тем больше, чем больше доза излучения. Однако различные излучения даже при одной и той же поглощенной дозе оказывают разные воздействия.

**В дозиметрии принято сравнивать биологические эффекты различных излучений с соответствующими эффектами, вызванными рентгеновским и  $\gamma$ -излучениями.**

Коэффициент  $K$ , показывающий, во сколько раз эффективность биологического действия данного вида излучения больше, чем рентгеновского или  $\gamma$ -излучения, при одинаковой дозе излучения в тканях, является *коэффициентом качества*. В радиобиологии его называют также *относительной биологической эффективностью* (ОБЭ).

Коэффициент качества устанавливают на основе опытных данных. Он зависит не только от вида частицы, но и от ее энергии.

	$K$
Рентгеновское, $\gamma$ - и $\beta$ -излучения	1
Тепловые нейтроны ( $\sim 0,01$ эВ)	3
Нейтроны (5 МэВ)	7
$\gg$ (0,5 МэВ)	10
$\alpha$ -излучение	20



## 9. Защита от ионизирующего излучения

Различают три вида защиты: защита временем, расстоянием и материалом. Чем больше время и меньше расстояние, тем больше экспозиционная доза. Следовательно, необходимо минимальное время находиться под воздействием ионизирующего излучения и на максимально возможном расстоянии от источника этого излучения.

Защита материалом основывается на различной способности веществ поглощать разные виды ионизирующего излучения.

Защита от  $\alpha$ -излучения проста: достаточно листа бумаги или слоя воздуха толщиной в несколько сантиметров, чтобы полностью поглотить  $\alpha$ -частицы. Однако, работая с радиоактивными источниками, следует остерегаться попадания  $\alpha$ -частиц внутрь организма при дыхании или приеме пищи.

Для защиты от  $\beta$ -излучения достаточно пластин из алюминия, плексигласа или стекла толщиной в несколько сантиметров. При взаимодействии  $\beta$ -частиц с веществом может появиться тормозное рентгеновское излучение, а от  $\beta^+$ -частиц -  $\gamma$ -излучение, возникающее при аннигиляции этих частиц с электронами. Более сложна защита от нейтрального излучения: рентгеновское и  $\gamma$ -излучения, нейтроны. Эти излучения с меньшей вероятностью взаимодействуют с частицами вещества и поэтому глубже проникают в вещество. Защита от нейтронов наиболее сложна. Быстрые нейтроны сначала замедляют, уменьшая их скорость в водородсодержащих веществах. Затем другими веществами, например кадмием, поглощают медленные нейтроны.





