

Взаимодействие нуклонов и понятие о свойствах и природе ядерных сил

При объединении в ядро выделяется энергия связи нуклонов друг с другом.

Энергия связи $E_{\text{св}}$ равна той работе, которую нужно совершить, чтобы разделить ядро на нуклоны и удалить их друг от друга на такие расстояния, при которых они практически не взаимодействуют друг с другом.

Закон взаимосвязи массы и энергии:

$$E_{\text{св.}} = c^2 ((Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n) - m_{\text{я}}) = \Delta m \cdot c^2$$

Дефект масс:

$$\Delta m = (Zm_p + (A - Z)m_n) - m_{\text{я}}$$

Задание N 18.

В центральной части атома, занимая небольшой объем и обладая его основной массой, находится положительно заряженное ядро. **Неверным** является утверждение, что ...

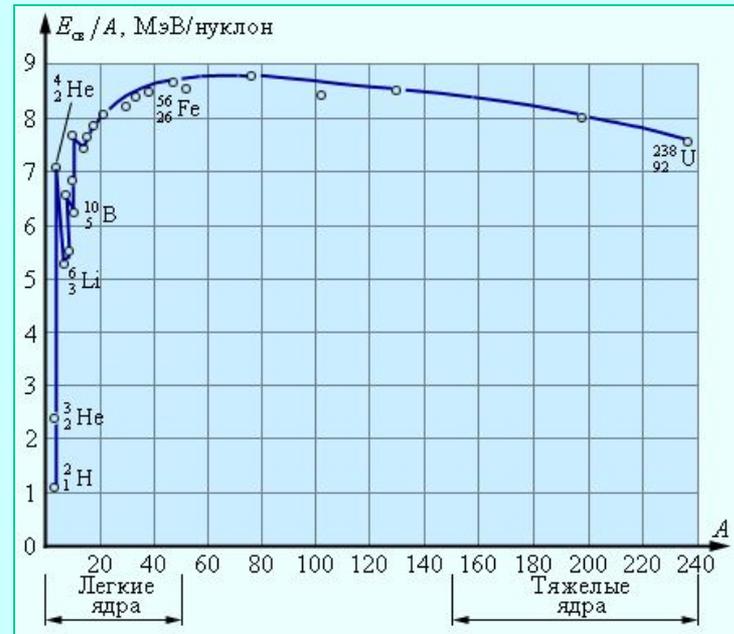
■ Варианты ответа:

- ядерные силы, удерживающие ядро, обладают зарядовой независимостью
- протоны, входящие в состав ядра, определяют его заряд
- масса ядра равна сумме масс образующих ядро нуклонов
- наиболее устойчивы ядра с четными числами протонов и нейтронов

Удельная энергия связи ядер



Такая зависимость
удельной энергии связи от
 A делает возможным два
процесса:



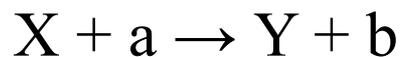
1. Деление тяжелых ядер на более легкие.

2. Слияние (синтез) легких ядер в одно ядро
(**термоядерная реакция**)

Оба процесса сопровождаются выделением большого
количества энергии.

Ядерной реакцией называется процесс *сильного* взаимодействия атомного ядра с элементарной частицей или с другим ядром, приводящий к преобразованию ядра (или ядер). Взаимодействие реагирующих частиц возникает при их сближении до расстояний порядка 10^{-15} м благодаря действию ядерных сил.

Наиболее распространенным видом ядерной реакции является взаимодействие легкой частицы **a** с ядром **X**, в результате которого образуется легкая частица **b** и ядро **Y**:



Уравнение таких реакций принято записывать сокращенно в виде



В качестве легких частиц **a** и **b** могут фигурировать нейтрон (**n**), протон (**p**), дейтрон (**D**), α -частица (**α**) и γ -фотон (**γ**).

Ядерные реакции могут сопровождаться как выделением, так и поглощением энергии. Количество выделяющейся энергии **Q** называется **энергией реакции**. Она определяется разностью масс исходных и конечных ядер (частиц):

$$Q = (\Sigma m_1 - \Sigma m_2)c^2 ,$$

где

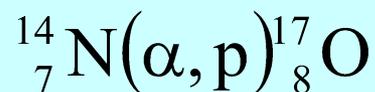
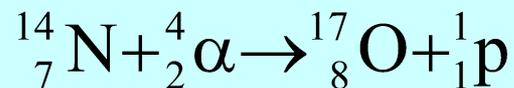
$\sum m_1$ - сумма масс ядер, вступающих в реакцию;

$\sum m_2$ - сумма масс ядер, получившихся в результате реакции.

Если сумма масс, образующихся ядер, превосходит сумму масс исходных ядер, реакция идет с поглощением энергии (**эндотермическая**) и энергия реакции будет отрицательной ($Q < 0$).

Если реакция идет с выделением энергии ($Q > 0$) – реакция **экзотермическая**.

Первая ядерная реакция (Резерфорд, 1919 г.):



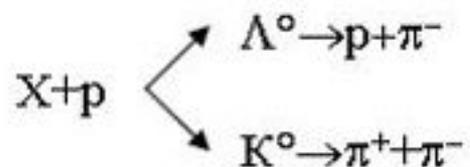
В 1936 г. Н. Бор установил, что реакции, вызываемые быстрыми частицами, протекают в 2 этапа:

1. Ядро X захватывает частицу a и образуется промежуточное ядро Π (составное ядро). Энергия частицы a за короткое время перераспределяется между нуклонами ядра и ядро переходит в возбужденное состояние.

2. Ядро испускает частицу b .



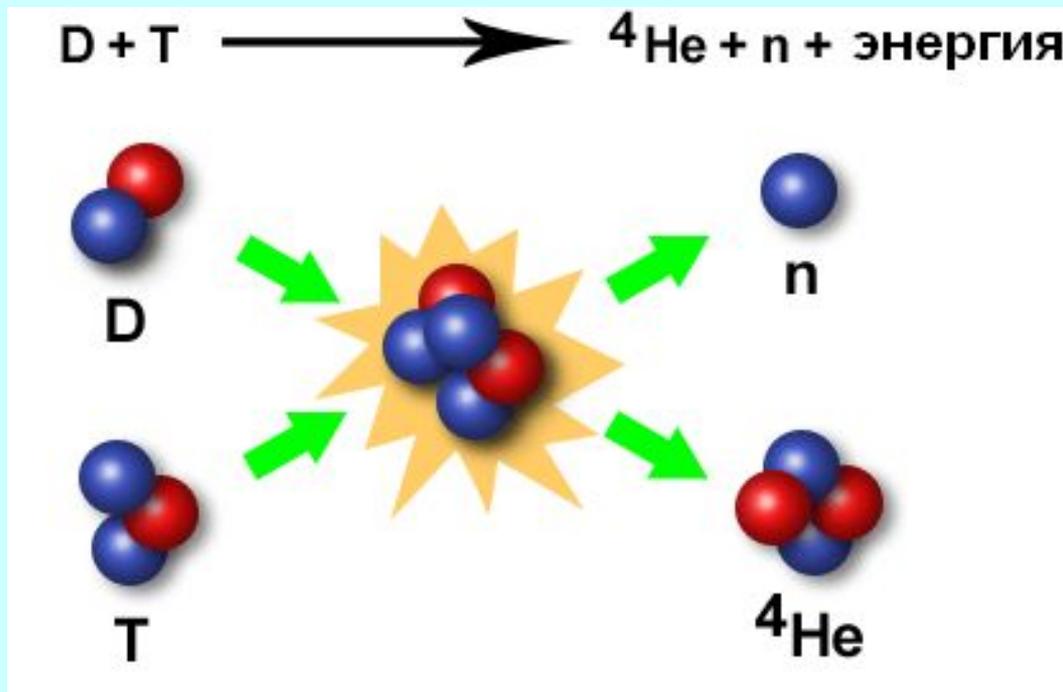
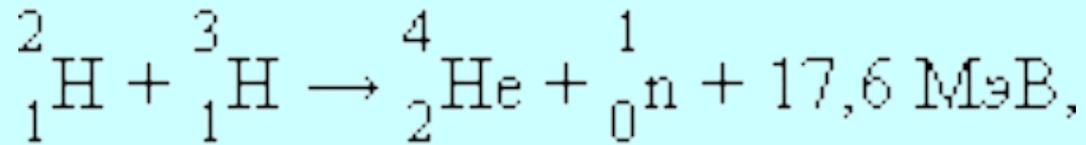
Взаимодействие неизвестной частицы X с протоном в водородной пузырьковой камере идет по схеме

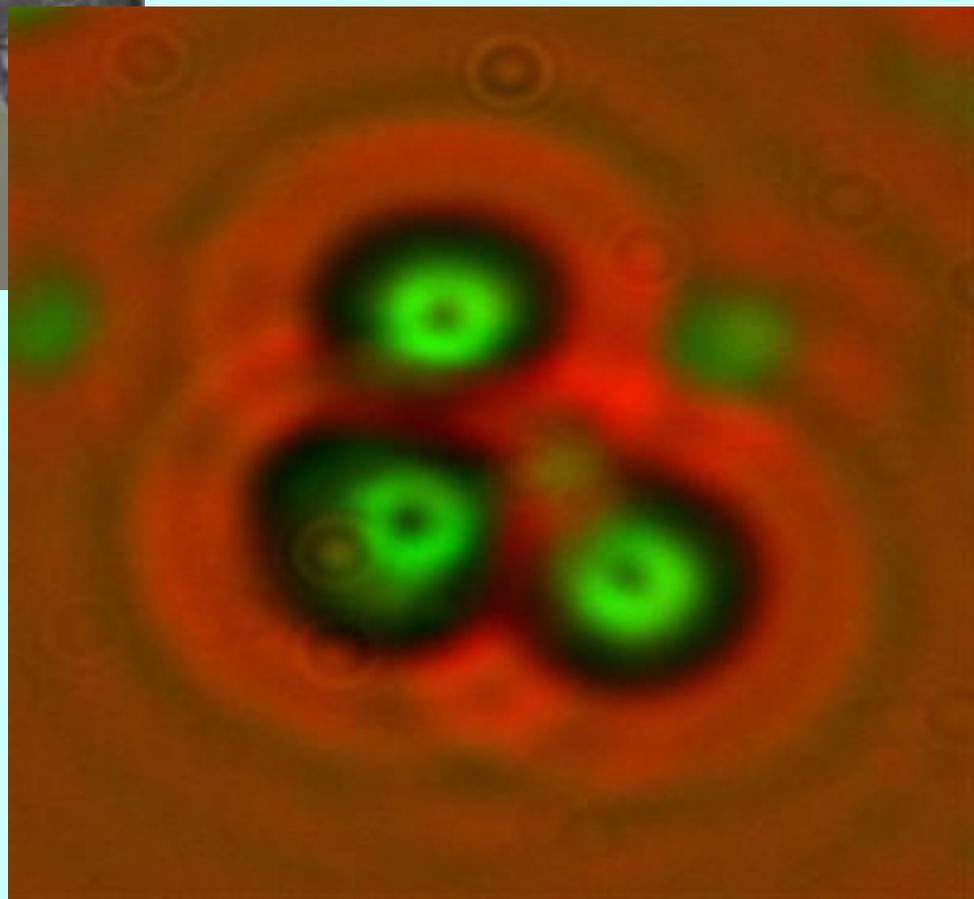
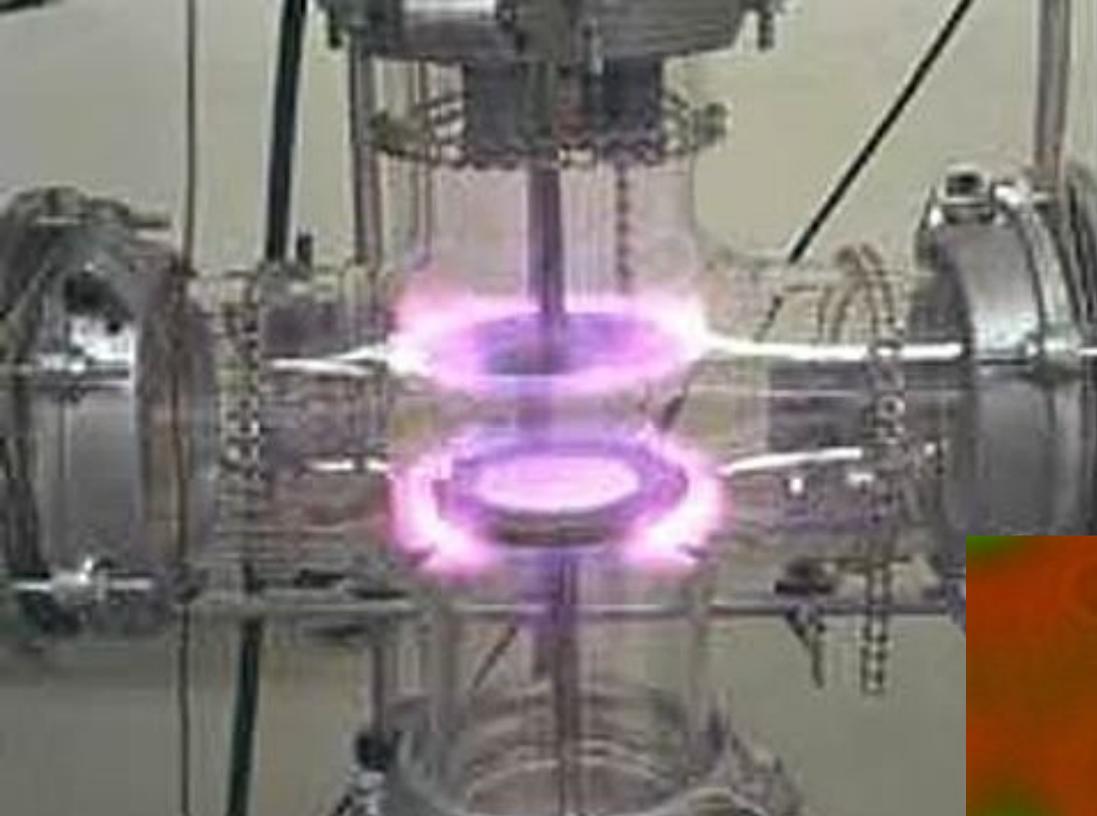


Если спин π -мезона $S = 0$, то заряд и спин налетающей частицы будут равны...

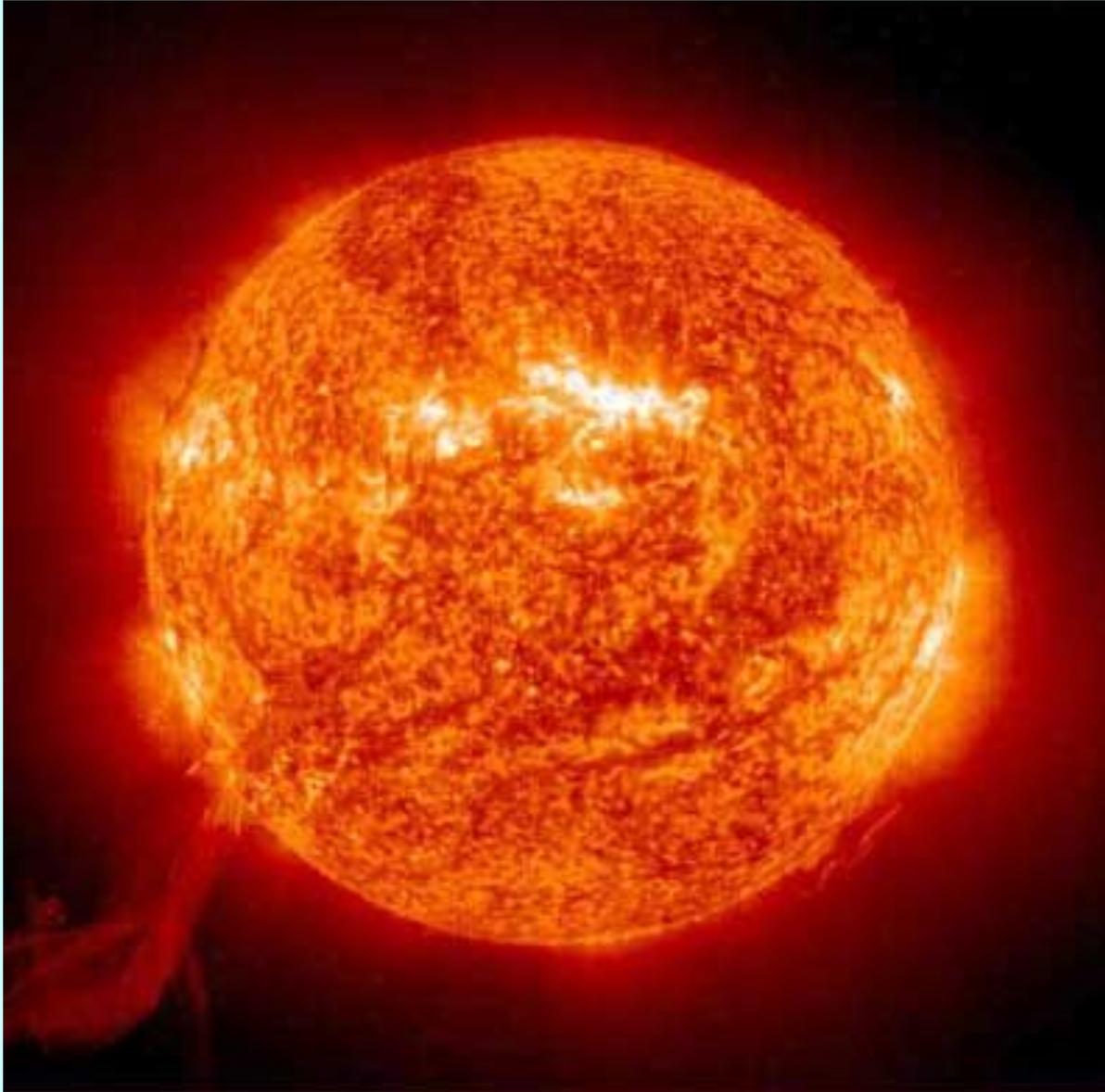
- $q > 0; S = 0$
- $q < 0; S = 0$
- $q > 0; S = \frac{1}{2}$
- $q < 0; S = \frac{1}{2}$

Реакции слияния легких ядер носят название **термоядерных реакций**.





Звёздные процессы синтеза атомных ядер химических элементов



Термоядерные реакции в звёздах между лёгкими атомными ядрами протекают при очень высоких температурах (порядка 10^7 К и выше), чтобы энергии сталкивающихся ядер были достаточны для преодоления электростатического барьера, обусловленного взаимным отталкиванием ядер.

Реакция	Энерговыделение, <i>Мэв</i>
$p + p \rightarrow D + e^+ + \nu$	2,2
$p + D \rightarrow {}^3\text{He} + g$	5,5
$p + T \rightarrow {}^4\text{He} + g$	19,7
$D + D \rightarrow T + P$	4,0
$D + D \rightarrow {}^3\text{He} + n$	3,3
$D + D \rightarrow {}^4\text{He} + g$	24,0
$D + T \rightarrow {}^4\text{He} + n$	17,6
$T + D \rightarrow {}^4\text{He} + n$	17,6

Спин ядра и его магнитный момент

В.Паули, 1924.

Собственный момент импульса ядра – **спин ядра** – векторная сумма спинов нуклонов и орбитальных моментов импульса.

$$L_{\text{я}} = \sqrt{l(l+1)} \cdot \hbar$$

l – спиновое ядерное квантовое число, $0, \frac{1}{2}, 1, \frac{3}{2}, 2, \dots$

принимает целые значения у элементов с четными A ,
полуцелые l – у элементов с нечетными A .

Магнитный момент ядра $P_{m,я}$ связан со спином ядра:

$$P_{m,я} = g_я L_я$$

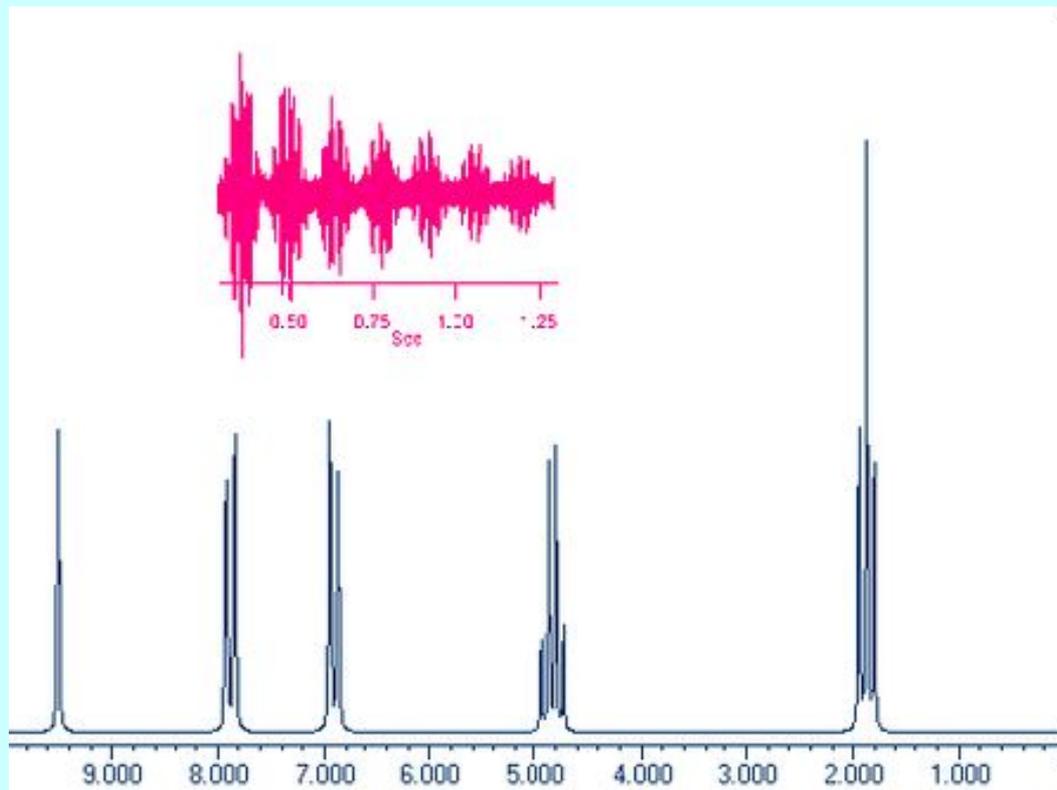
$g_я$ - ядерное гиромагнитное отношение.

Единицей магнитных моментов ядер служит ядерный магнетон:

$$\mu_я = \frac{e \cdot \hbar}{2 \cdot m_p} = 5,05 \cdot 10^{-27} \text{ Дж / Тл}$$

Ядерный магнитный резонанс

(ЯМР), резонансное поглощение электромагнитной энергии веществом, обусловленное переориентацией магнитных моментов атомных ядер. ЯМР — один из методов радиоспектроскопии.



Опыт позволяет наблюдать резонанс на ядрах, обладающих

$$P_{т,я} \approx 0,1\mu_{я}$$

ЯДЕРНЫЕ СИЛЫ.

Взаимодействие нуклонов в ядре носит характер притяжения. Ядерное взаимодействие называют **СИЛЬНЫМ взаимодействием.**

Свойства ядерных сил:

- короткодействующие (радиус действия $\sim 10^{-15}$ м)
- зарядовая независимость
- зависят от взаимной ориентации спинов нуклонов
- не являются центральными
- обладают свойством насыщения: каждый нуклон взаимодействует с ограниченным числом нуклонов.

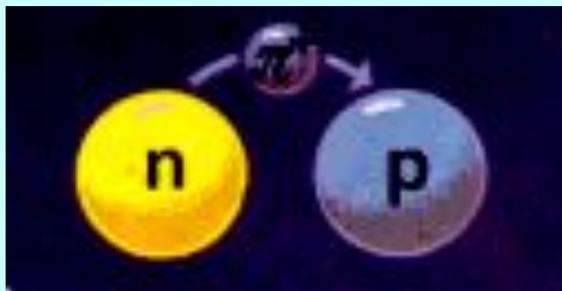
Сильное взаимодействие обусловлено тем, что нуклоны обмениваются виртуальными частицами - мезонами:

$$\pi \text{ мезоны: } \begin{cases} \pi^+ & \text{— положительный} \\ \pi^- & \text{— отрицательный} \\ \pi^0 & \text{— нейтральный} \end{cases}$$

Нуклон в ядре в результате процессов распада оказывается окруженным некоторым количеством **π -мезонов и глюонов**, образующих поле ядерных сил.

Сильное взаимодействие вызывает процессы, протекающие наиболее интенсивно по сравнению с другими процессами. Именно сильное взаимодействие (ядерные силы) связывает протоны и нейтроны в атомном ядре. При столкновениях ядер и нуклонов, обладающих высокой энергией, сильное взаимодействие приводит к ядерным реакциям.

**π –
МЕЗОНЫ**



Задание N 20.

Нуклоны в ядре взаимодействуют посредством обмена виртуальными частицами. Процесс их образования соответствует схеме ...

■ Варианты ответа:

- $n \xleftrightarrow{\leftarrow} n + \pi^-$
- $p \xleftrightarrow{\leftarrow} n + \pi^-$
- $p \xleftrightarrow{\leftarrow} p + \pi^0$ ★
- $n \xleftrightarrow{\leftarrow} p + \pi^+$

РАДИОАКТИВНОСТЬ

Радиоактивностью называется самопроизвольное превращение одних атомных ядер в другие, сопровождаемое испусканием элементарных частиц. К числу радиоактивных процессов относятся:

- 1) α -распад,
- 2) β -распад,
- 3) γ -излучение ядер,
- 4) спонтанное деление тяжелых ядер,
- 5) протонная радиоактивность.

Естественная радиоактивность открыта в 1896 г. А. Беккерелем. Были обнаружены три компоненты радиоактивного излучения: α , β , γ - компоненты:

α - поток ядер гелия (α - частиц);

β - поток электронов;

γ - излучение с длиной волны порядка 1\AA и менее.

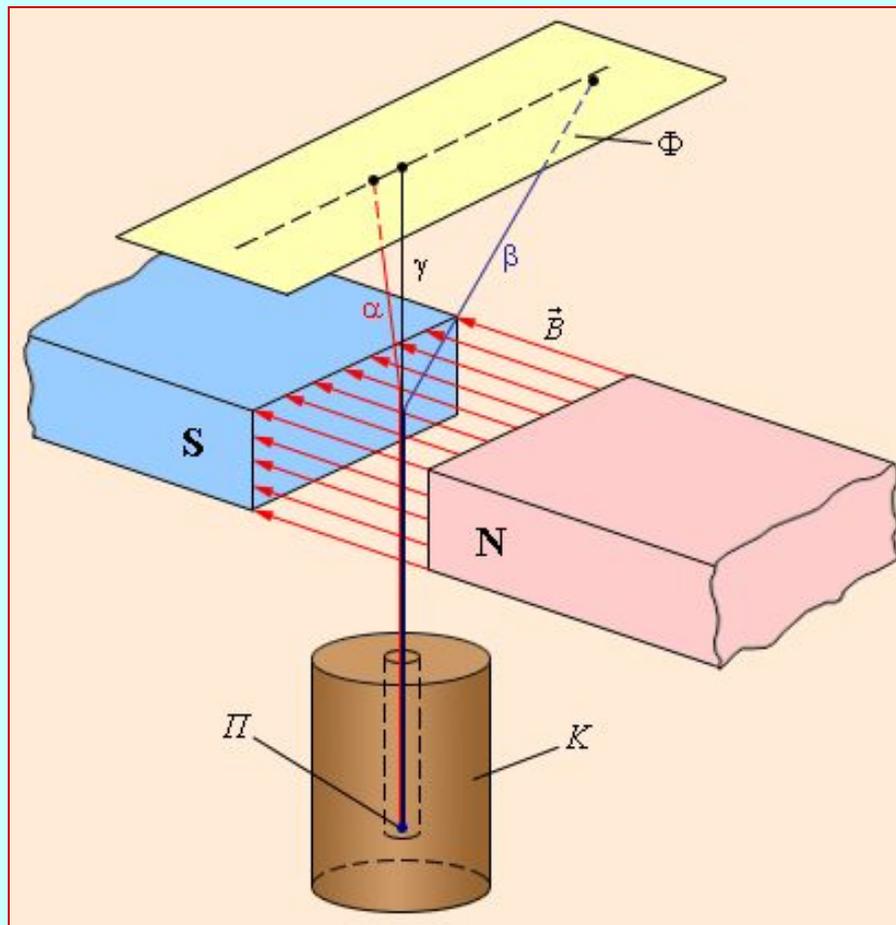


Схема опыта по обнаружению α -, β - и γ -излучений.
 K – свинцовый контейнер, Π – радиоактивный препарат, Φ – фотопластинка.

Закон радиоактивного превращения (распада):

$$N = N_0 e^{-\lambda t}$$

N_0 - количество ядер в начальный момент времени ($t = 0$);

N - количество нераспавшихся ядер в момент времени t ;

λ - постоянная радиоактивного распада.

Время, за которое распадается половина первоначального количества ядер, называется период полураспада:

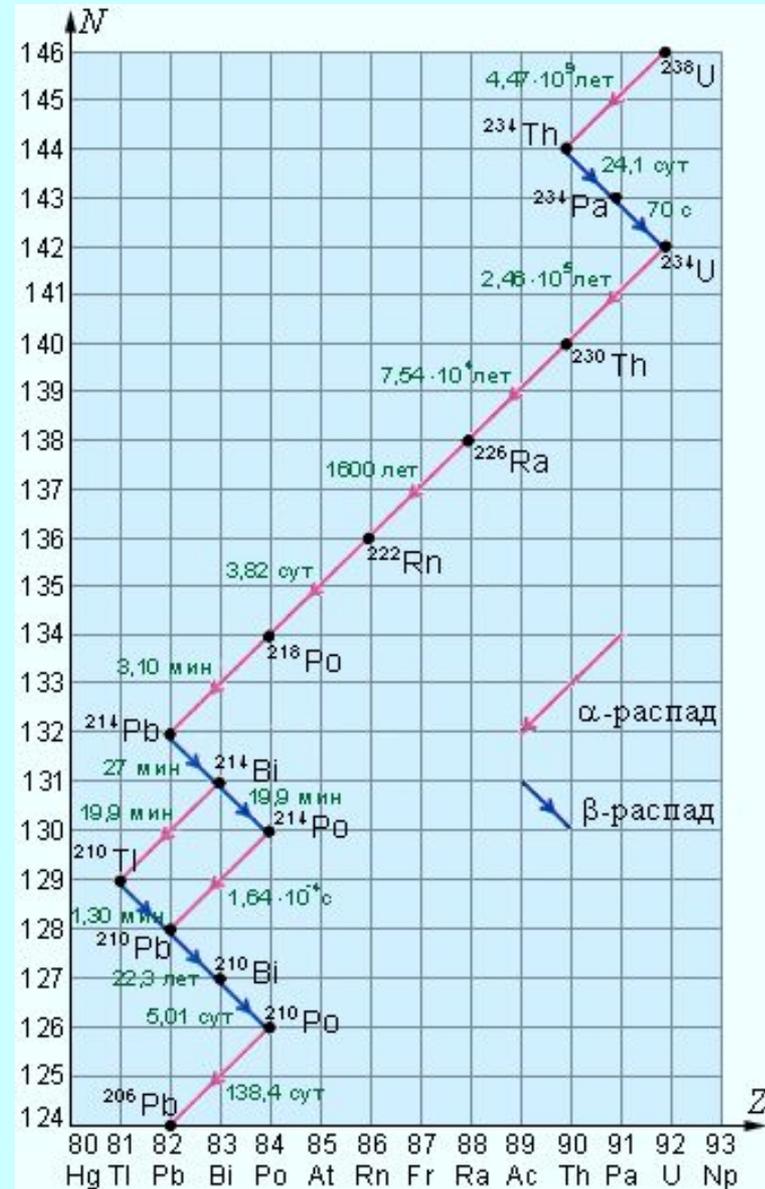
$$\frac{1}{2} N_0 = N_0 e^{-\lambda T} \rightarrow \ln \frac{1}{2} = -\lambda T \rightarrow \ln 2 = \lambda T \rightarrow T = \frac{\ln 2}{\lambda}$$

Закон радиоактивного распада



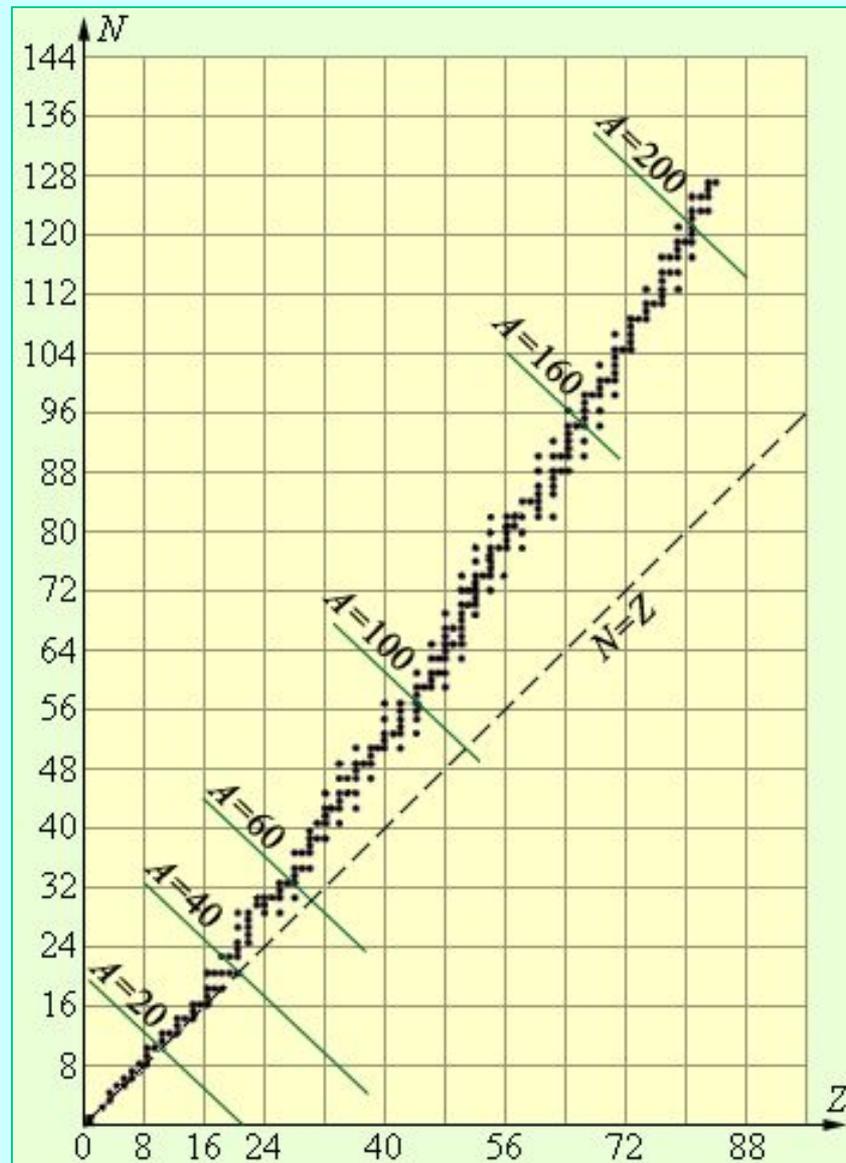
Схема распада радиоактивной серии.

Указаны периоды полураспада.



Числа протонов и
нейтронов в
стабильных ядрах

При $Z > 83$
- ядра не
стабильны



ЗАДАНИЕ И 30 (- выберите один вариант ответа)

Сколько α – и β – распадов должно произойти, чтобы торий ${}_{90}^{232}\text{Th}$ превратился в стабильный изотоп свинца ${}_{82}^{208}\text{Pb}$.

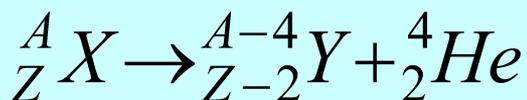
ВАРИАНТЫ ОТВЕТОВ:

1) 7 α – распадов и 3 β^- – распадов

2) 4 α – распадов и 6 β^- – распадов

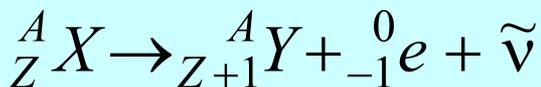
3) 6 α – распадов и 4 β^- – распадов

4) 5 α – распадов и 5 β^- – распадов



$$232 - 208 = 24$$

$$24 : 4 = 6 \leftarrow \alpha - \text{частиц}$$



$$6 \cdot 2 = 12$$

$$90 - 12 = 78$$

$$82 - 78 = 4 \leftarrow \beta - \text{распадов}$$

Сколько α – и β^- – распадов должно произойти, чтобы ${}_{92}^{238}\text{U}$ превратился в стабильный изотоп свинца ${}_{82}^{206}\text{Pb}$.

- 6 α – и распадов 8 β^- – распадов
- 9 α – и распадов 5 β^- – распадов
- 8 α – распадов и 6 β^- – распадов
- 10 α – и распадов 4 β^- – распадов

Число распадов в единицу времени называется **активностью** препарата.

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

где N – число не распавшихся ядер в данный момент времени.

Так как N уменьшается со временем, то и активность препарата уменьшается со временем по закону:

$$a = a_0 \cdot \exp(-\lambda \cdot t)$$

При данном N , чем больше период полураспада T , тем меньше a .

Препарат с большим периодом полураспада менее активен.

За единицу активности в системе СИ принято 1 превращение в секунду – **Беккерель (Бк)**. Внесистемная единица – 1 Кюри (Ки),₁₀ что соответствует активности 1 г радия

$3,7 \cdot 10^{10}$ распадов в секунду.

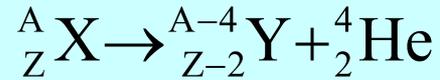
Воздействие радиоактивного облучения характеризуется поглощенной веществом **дозой**: энергией, поглощенной единицей массы вещества – Грей (Гр).

$$1\text{Гр} = 1 \text{ Дж/кг.}$$

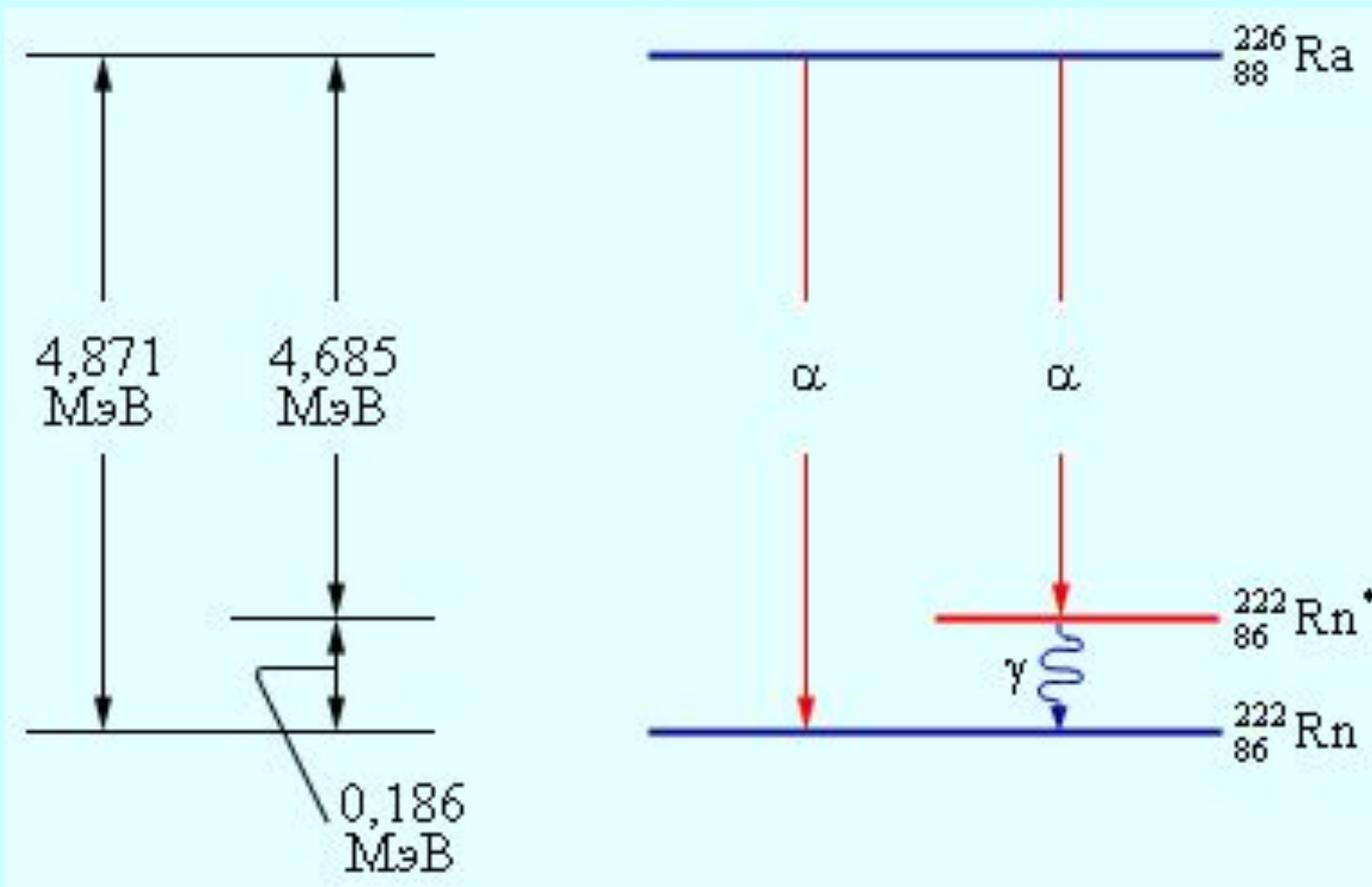
Ионизационную способность излучений характеризует **экспозиционная доза**. В системе СИ – это заряд одного знака, созданный в единице массы вещества - 1 Кл/кг.

Внесистемная единица – 1 рентген – соответствует такому поглощению излучения, которое в 1 кг ионизованного воздуха образует заряд, равный $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл.

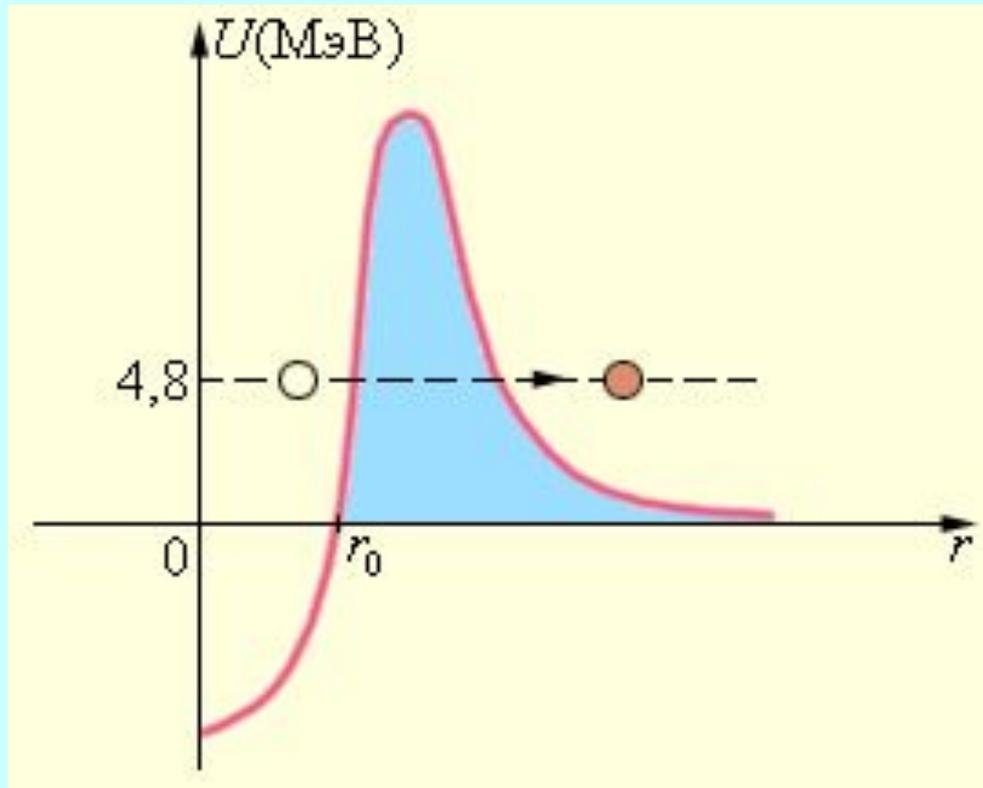
1. α -распад:



Атомный номер дочернего ядра Y на две единицы, а массовое число на четыре единицы меньше, чем у исходного (материнского) ядра X.



Энергетическая диаграмма α -распада ядер радия. Указано возбужденное состояние ядра радона. Переход из возбужденного состояния ядра радона в основное сопровождается излучением γ -кванта с энергией 0,186 МэВ.

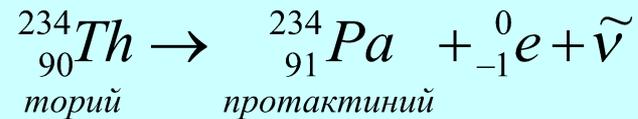


Внутри ядер могут образовываться группы, состоящие из двух протонов и двух нейтронов, т. е. α -частица.

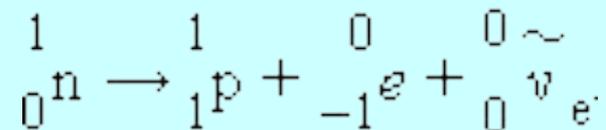
Материнское ядро является для α -частиц *потенциальной ямой*, которая ограничена потенциальным барьером. Энергия α -частицы в ядре недостаточна для преодоления этого барьера. Вылет α -частицы из ядра возможен благодаря *туннельному эффекту*.

2. β-распад

2.1. Электронный распад



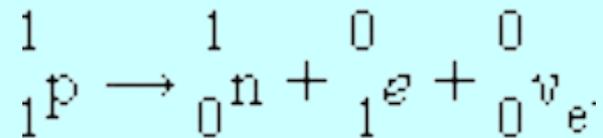
Дочернее ядро имеет атомный номер, на единицу больший, чем у материнского ядра, массовые числа обоих ядер одинаковы. Наряду с электроном испускается также антинейтрино.



2.2. Позитронный распад



Дочернее ядро имеет атомный номер, на единицу меньший, чем у материнского ядра, массовые числа обоих ядер одинаковы. Также испускаются позитрон (антиэлектрон) и нейтрино.



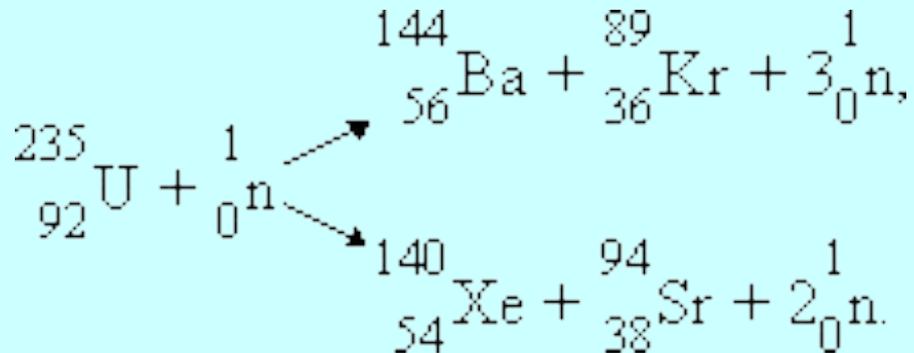
Задание N 24.

Примером e^- -захвата может быть превращение бериллия
 ${}^7_4\text{Be}$ в ...

Варианты ответа:

- ${}^7_5\text{B}$
- ${}^{11}_6\text{C}$
- ${}^7_3\text{Li}$
- ${}^6_4\text{Be}$

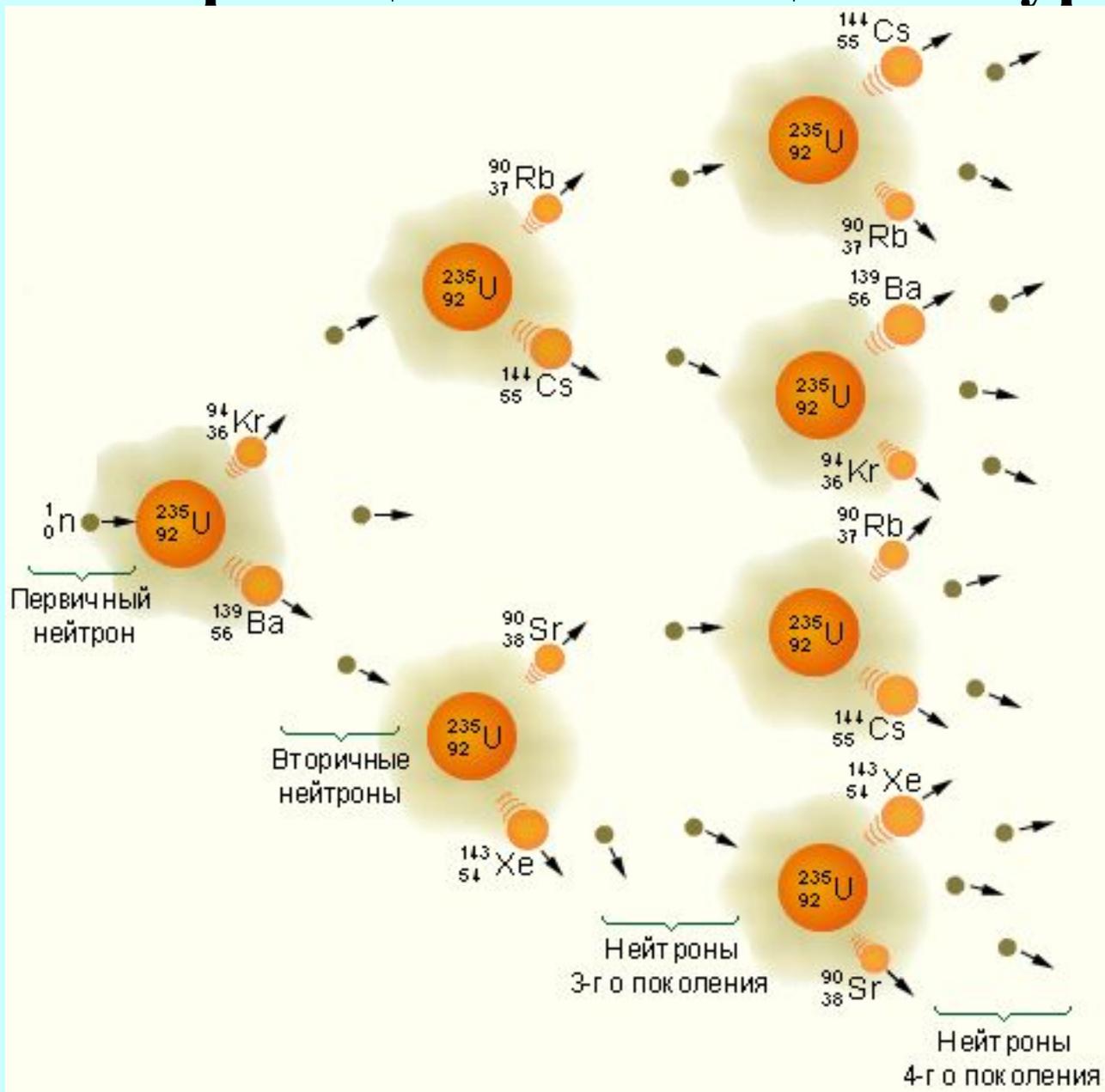
Спонтанное деление тяжелых ядер



Для осуществления *цепной реакции* необходимо, чтобы *коэффициент размножения нейтронов*

$$k > 1$$

Цепная реакция в обогащенном уране

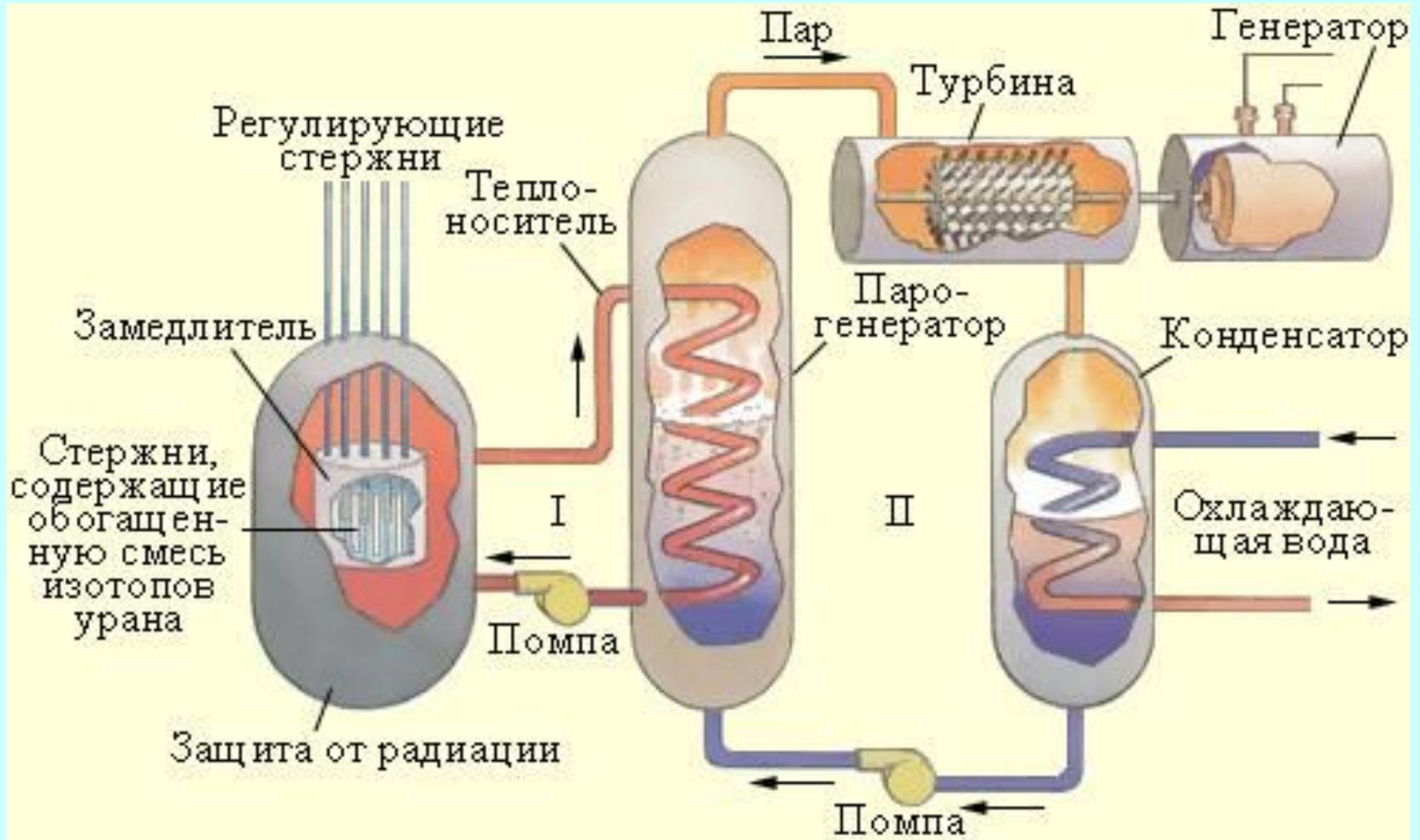


Управляемая цепная реакция в обогащенном уране происходит в реакторах атомных станций

В США в 1942г. Э. ФЕРМИ. В СССР в 1946 г. И.КУРЧАТОВ.

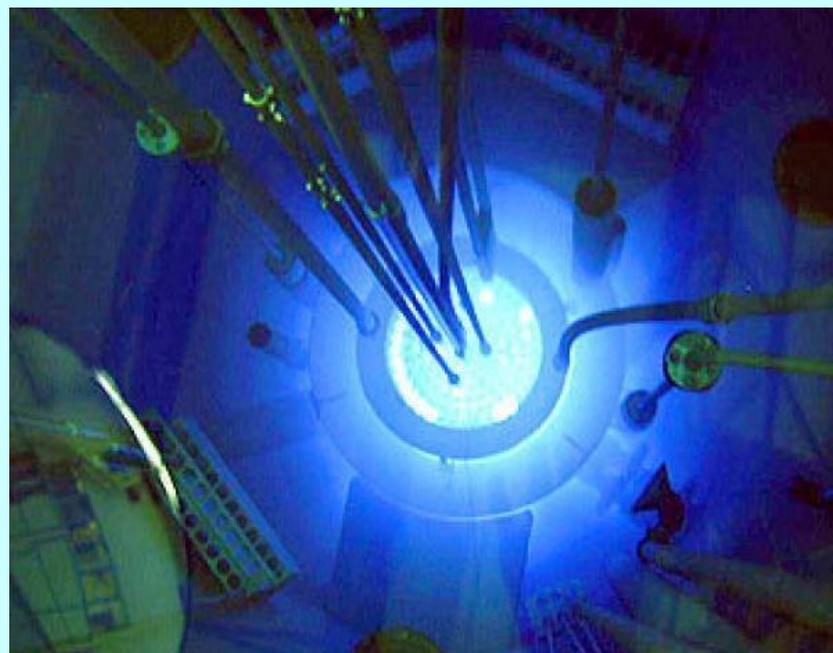


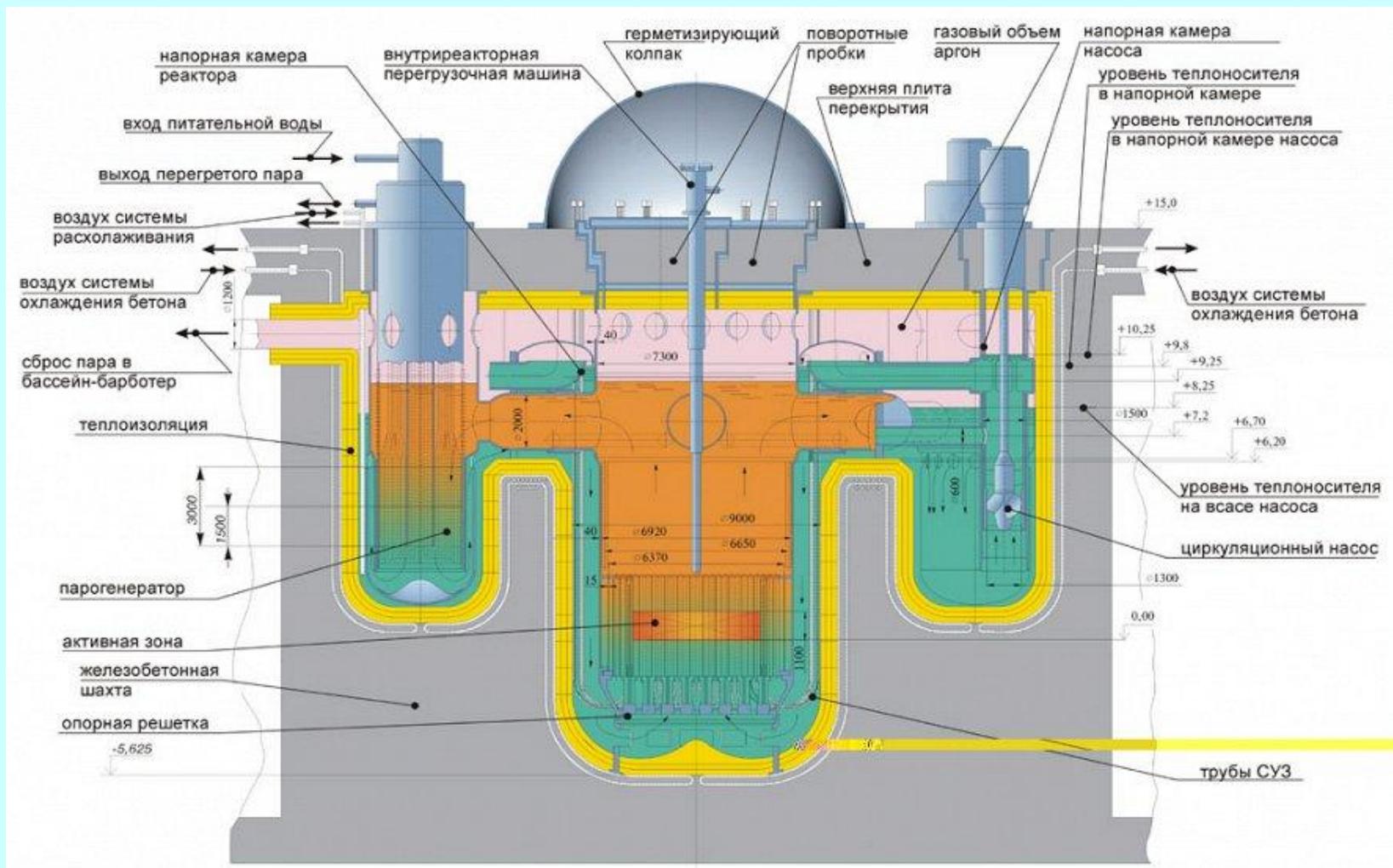
Принцип действия атомных станций



В Томске началось строительство экспериментального завода по производству топлива для первого в мире опытного реактора на быстрых нейтронах с тяжелым жидкометаллическим теплоносителем. Проект получил название «Прорыв».

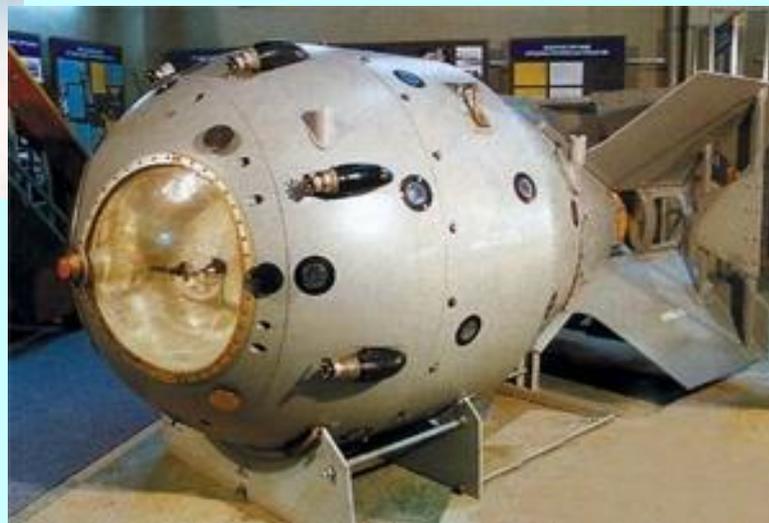
Утверждается, что он станет настоящим открытием для всего мира и изменит будущее энергетики. Отработанное ядерное топливо будет перерабатываться в «таблетки», на которых и работает новый российский реактор, т.о. цикл станет замкнутым. Исчезнет проблема «ядерных отходов» и загрязнения окружающей среды.





Помимо замкнутого цикла переработки и небывалой мощности, российский реактор нового поколения обладает и беспрецедентным уровнем безопасности. Аварии даже критического уровня диверсионного происхождения с разрушением здания реактора, крышки его корпуса не могут привести к радиоактивному выбросу, требующему эвакуации населения и появления на долгие годы отчужденных участков территории, таких как Чернобыль.

Неуправляемая цепная реакция в обогащенном уране может привести к ядерному взрыву







СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!