

Атомное ядро

Содержание лекции:

- **Состав и характеристики атомного ядра**
- **Дефект массы и энергия связи ядра**
- **Ядерные силы**
- **Радиоактивность**
- **Ядерные реакции**
- **Деление ядер**
- **Синтез ядер**

1. Состав и характеристики атомного ядра

В состав атомного ядра входят протоны и нейтроны – **нуклоны** (ядерные частицы).

Характеристики протона:

- положительно заряжен: $e^+ = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл
- масса покоя равна $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$ кг = $1836 m_e = 938,3$ МэВ ($m \cdot c^2$)
- фермион ($s = 1/2$)
- собств. магн. момент $\mu_p = +2,79 \mu_J$ где $\mu_J = 5,05 \cdot 10^{-7} \frac{\text{Дж}}{\text{Тл}}$

Характеристики нейтрона:

- электрически нейтрален
- масса покоя очень близка к массе покоя протона: $m_n - m_p = 2,5 m_e$.
- фермион ($s = 1/2$)
- собств. магн. момент $\mu_n = -1,91 \mu_J$

ядерный магнетон

Заряд ядра равен Ze:

e – заряд протона,

Z – **зарядовое число**, равное порядковому номеру химического элемента в периодической системе, т.е. **числу протонов в ядре**.

N – **число нейтронов в ядре**.

$A = Z + N$ - **массовое число** (число нуклонов).

$\boxed{\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X}$ - обозначение ядра

Ядра с одинаковым Z , но различными A называются **изотопами**.

Ядра с одинаковым A называются **изобарами**.

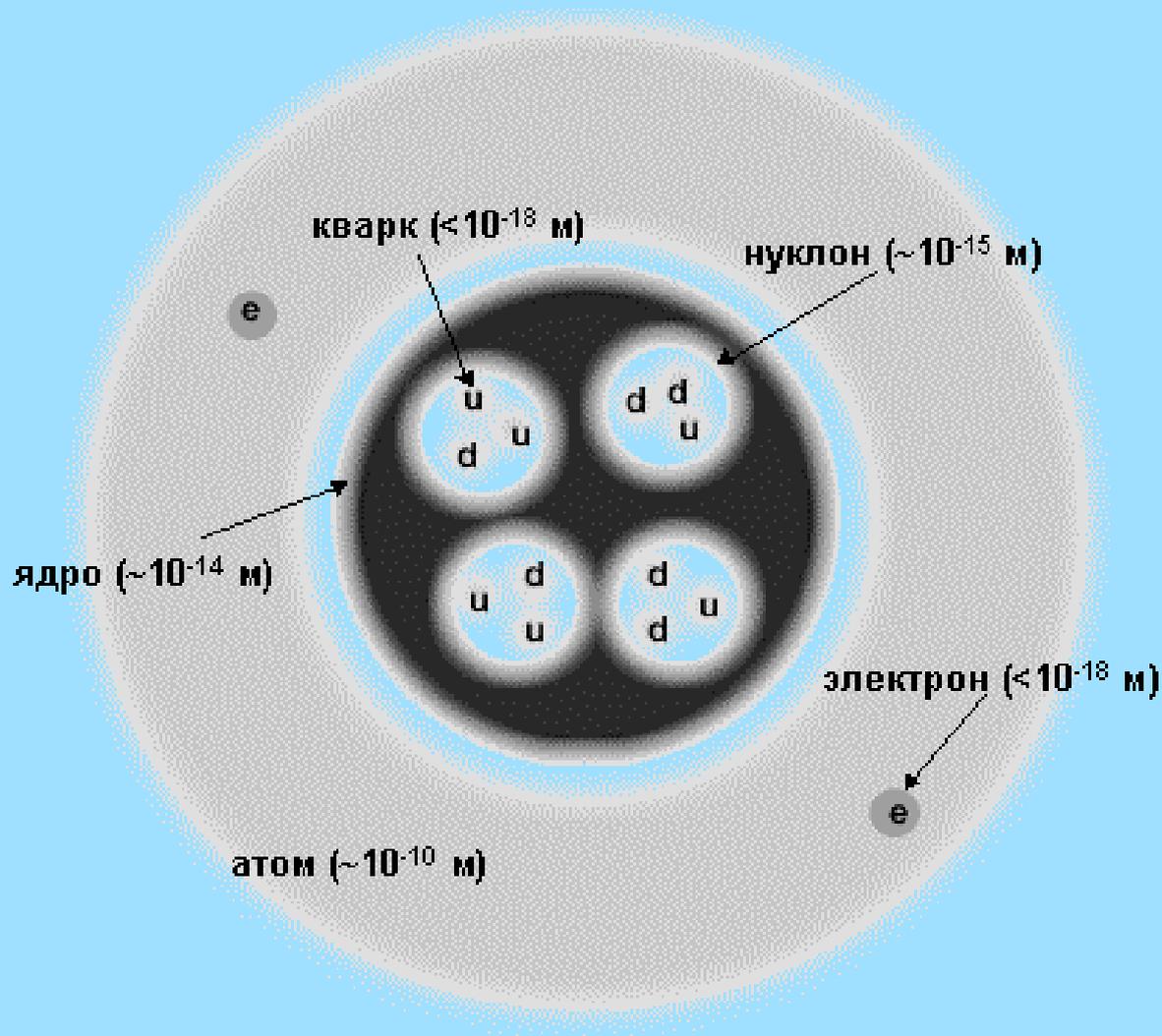
Ядра с одинаковым N называются **изотонами**.

Ядра с одинаковым A и Z , но разными периодами полураспада называются **изомерами**.

Размеры ядер

$$r = 1,3 \cdot 10^{-15} A^{1/3} \quad m = 1,3 A^{1/3} \Phi$$

$\Phi = 10^{-15} \text{ м} - \text{ферми}$



Плотность ядерного вещества составляет 10^{17} кг/м^3

2. Дефект массы и энергия связи ядра

Масса ядра меньше суммарной массы образующих его нуклонов, т.к. при объединении нуклонов в ядро выделяется энергия связи нуклонов друг с другом.

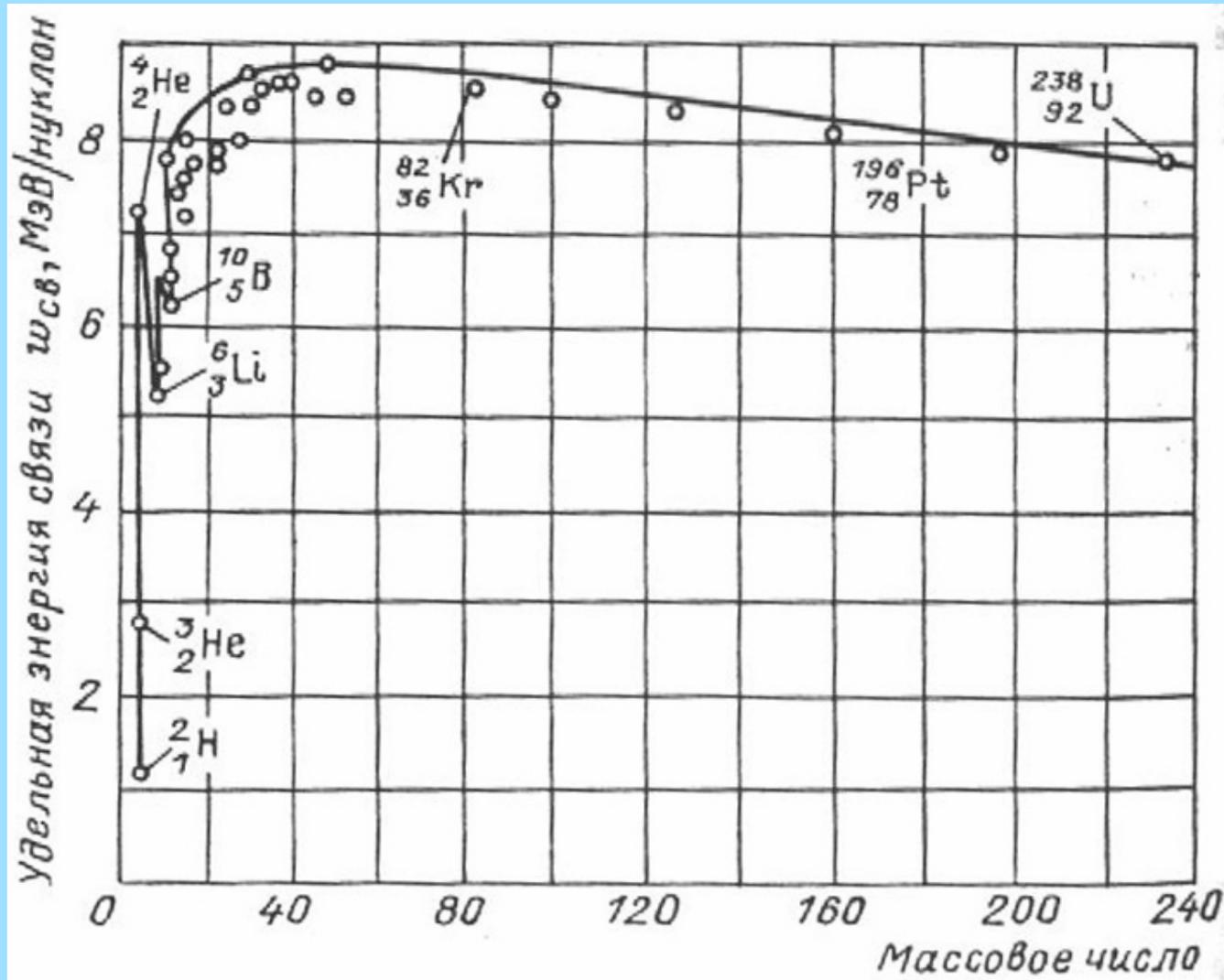
Энергия связи нуклонов в ядре равна работе, которую нужно совершить, чтобы разделить ядро на составляющие его нуклоны и удалить друг от друга на такие расстояния, при которых они практически не взаимодействуют друг с другом.

$$E_{св} = \left[Zm_p + (A - Z)m_n - m_{яд} \right] c^2$$

ИЛИ

$$E_{св} = \left[Zm_H + (A - Z)m_n - m_{яд} \right] c^2$$

Удельная энергия связи – энергия связи, приходящаяся на 1 нуклон.



3. Ядерные силы

Ядерные силы обеспечивают взаимодействие между нуклонами (притяжение), удерживая их на расстоянии 10-15 м друг от друга, несмотря на кулоновское отталкивание между протонами.

Свойства ядерных сил:

- короткодействующие: проявляются лишь на весьма малых расстояниях между нуклонами в ядре (10^{-15} м).
(на меньших расстояниях притяжение нуклонов сменяется отталкиванием).
- не зависят от заряда нуклонов (p-p, n-n, p-n) – **зарядовая независимость**.
- зависят от взаимной ориентации спинов нуклонов
- не являются центральными
- обладают свойством **насыщения** (каждый нуклон в ядре взаимодействует с ограниченным числом нуклонов)

4. Радиоактивность

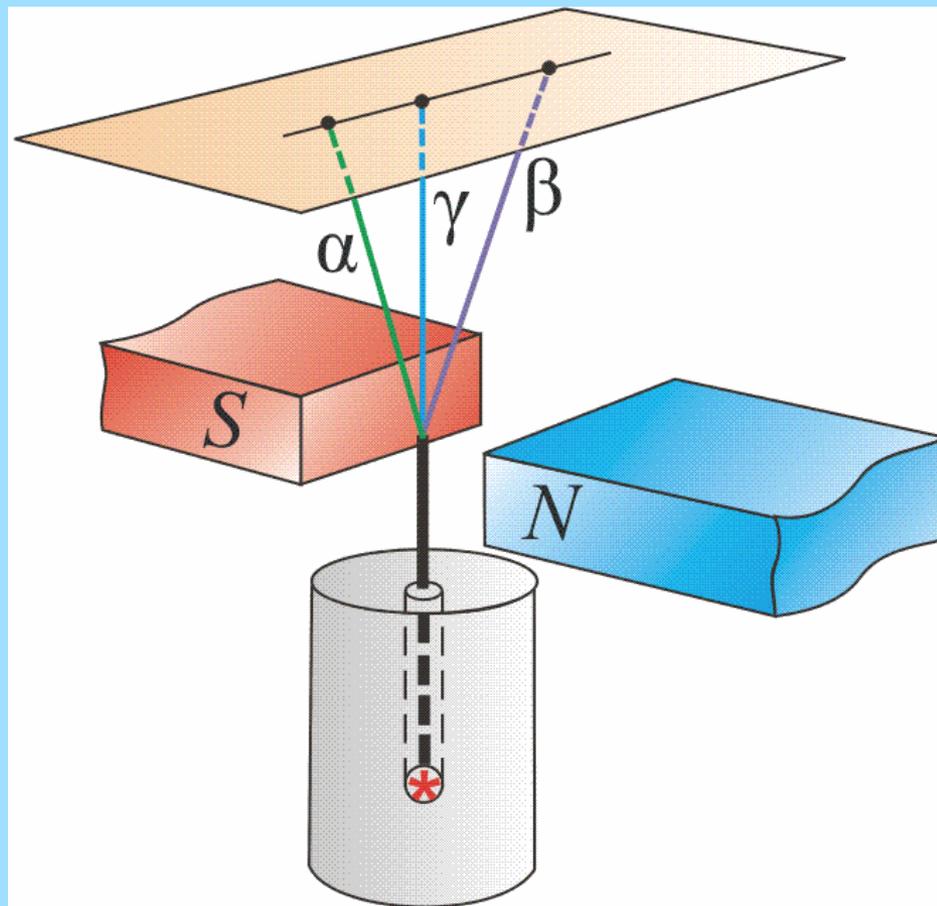
Радиоактивностью называется самопроизвольное превращение одних атомных ядер (нестабильных) в другие, сопровождающееся испусканием элементарных частиц.

Радиоактивные процессы:

- α - распад
- β – распад (в том числе электронный захват)
- γ – излучение ядер
- спонтанное деление тяжелых ядер
- протонная радиоактивность

Естественной радиоактивностью называется радиоактивность, наблюдающаяся у существующих в природе ядер.

Искусственной радиоактивностью называется радиоактивность ядер, полученных в результате ядерных реакций.



Поведение разных типов радиоактивного излучения в магнитном поле:

- Альфа-лучи отклоняются в ту же сторону, что и поток положительно заряженных частиц
- Бета-лучи – в противоположную сторону (как поток отрицательных частиц)
- Гамма-лучи никак не реагируют на действие магнитного поля

| <i>Тип радиоактивности</i> | Изменение заряда ядра Z | Изменение массового числа A | Характер процесса |
|--|---------------------------|-------------------------------|---|
| Альфа-распад | $Z - 2$ | $A - 4$ | Вылет α -частицы (два протона и два нейтрона, соединенных воедино) |
| Бета-распад: | $Z \pm 1$ | A | Взаимные превращения в ядре нейтрона и протона: |
| B_- – распад | $Z + 1$ | A | $n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}$ |
| B_+ – распад | $Z - 1$ | A | $p \rightarrow n + e^+ + \nu$ (e^+ - позитрон) |
| Электронный захват (K,L,M-захват в зависимости от оболочки) | $Z - 1$ | A | $p + e^- \rightarrow n + \nu$ ν и $\tilde{\nu}$ – электронное нейтрино и антинейтрино (нейтральные частицы малой массы). |
| Спонтанное деление | $Z - (1/2)Z$ | $A - (1/2)A$ | Деление ядра на две части примерно равные части |
| Протонная радиоактивность | | | Ядро испускает 1 или 2 протона |

Распадающееся ядро - *материнское*;

возникающее ядро – *дочернее*:

как правило, находится в возбужденном состоянии,
его переход в основное состояние сопровождается испусканием γ -излучения.

Закон радиоактивного распада:

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

- число нераспавшихся ядер убывает со временем по экспоненте.

N_0 – количество ядер в начальный момент времени $t = 0$,

N – число нераспавшихся ядер к моменту времени t ,

λ – *постоянная распада* (характеристика радиоактивного вещества).

Количество ядер, распавшихся за время t :

$$N_0 - N = N_0 (1 - e^{-\lambda t})$$

Период полураспада $T_{1/2}$ - время, за которое распадается половина первоначального количества ядер.

$$N = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

Для известных в настоящее время радиоактивных веществ $T_{1/2}$ находится в пределах от $3 \cdot 10^{-7}$ с до $5 \cdot 10^{15}$ лет.

Среднее время жизни τ радиоактивного ядра:

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

Бывает, что дочерние ядра также радиоактивные и распадаются со скоростью, характеризуемой постоянной распада λ' .

Новый продукт распада также радиоактивный и т.д...

- образуется **радиоактивный ряд (семейство)**: ^{238}U , ^{232}Th , ^{235}Ac .

Активность радиоактивного препарата = λN

- число распадов в единицу времени.

Единица измерения активности - **беккерель (Бк)** = распад в секунду.

5. Ядерные реакции

Ядерная реакция – это процесс взаимодействия атомного ядра с элементарной частицей или с другим ядром, приводящий к преобразованию ядра (или ядер).

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



Ядерные реакции могут проходить как с выделением, так и с поглощением энергии:

Энергия реакции – количество выделяющейся энергии, определяемой разностью масс исходных и конечных ядер (в энергетических единицах).

Если происходит поглощение энергии, энергия реакции отрицательна.

Бор предположил, что реакции, вызываемые не очень быстрыми частицами, протекают в два этапа:

1. захват ядром X частицы a , приблизившийся к нему на расстояние действия ядерных сил (примерно 10^{-15} м), с образованием промежуточного ядра C , называемого *составным (или компаунд – ядром)*.

Составное ядро оказывается в возбужденном состоянии, получив энергию частицы a .

2. распад составного ядра на ядро Y и частицу b .



Если $b \equiv a$ (b тождественна с a) – *рассеяние*:

- при $E_a = E_b$ – упругое рассеяние;
- при $E_a \neq E_b$ – неупругое рассеяние.

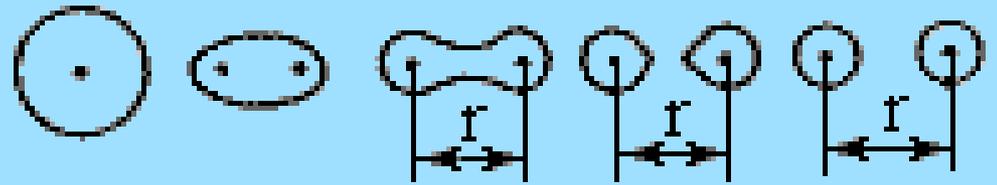
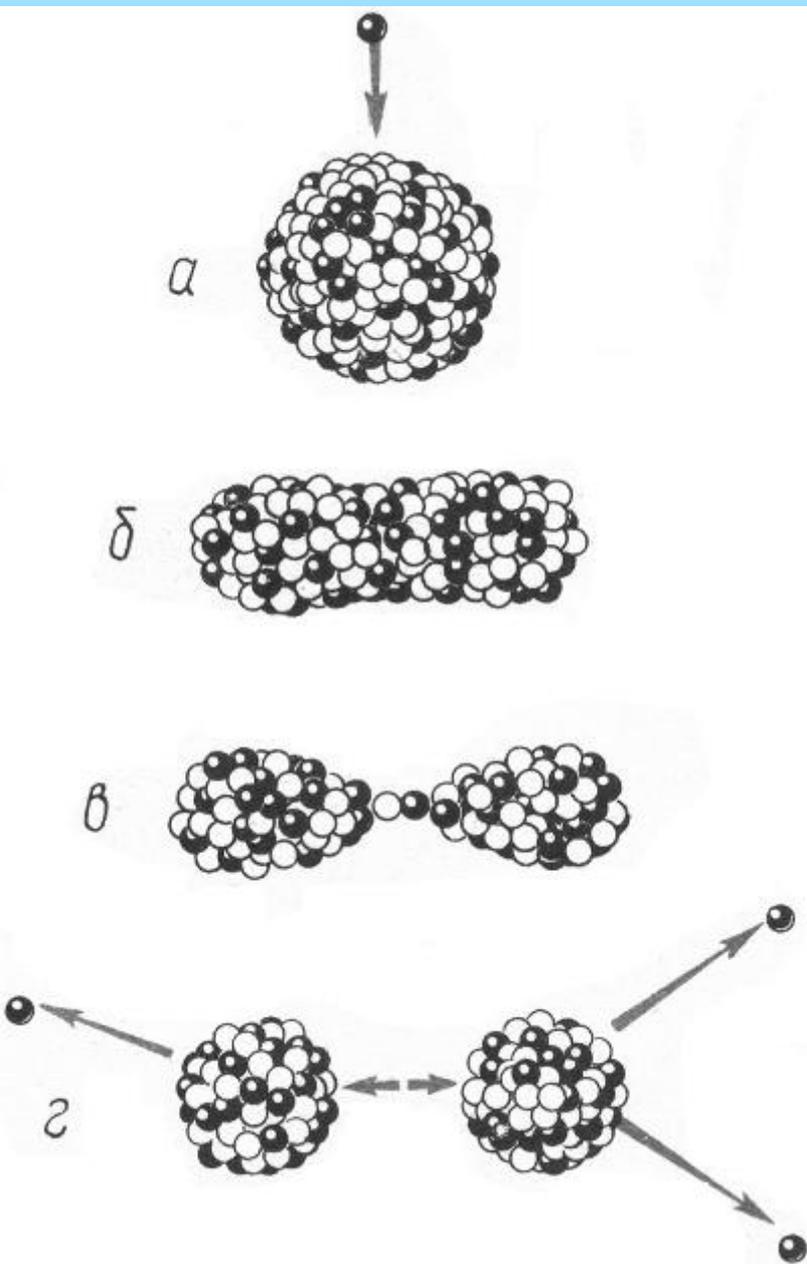
Ядерная реакция имеет место лишь при b не тождественной с a .

Ядерное время (ядерное время пролета) – время, необходимое для пролета частицей с энергией 1 МэВ (что соответствует её скорости 107 м/с) расстояния, равного диаметру ядра ($d \approx 10^{-14}$ м). По порядку величины $\tau_{\text{я}} \sim 10^{-21}$ с.

Время жизни составного ядра 10^{-14} – 10^{-12} с, т.е. составное ядро живет настолько долго, что полностью «забывает», каким образом оно образовалось.

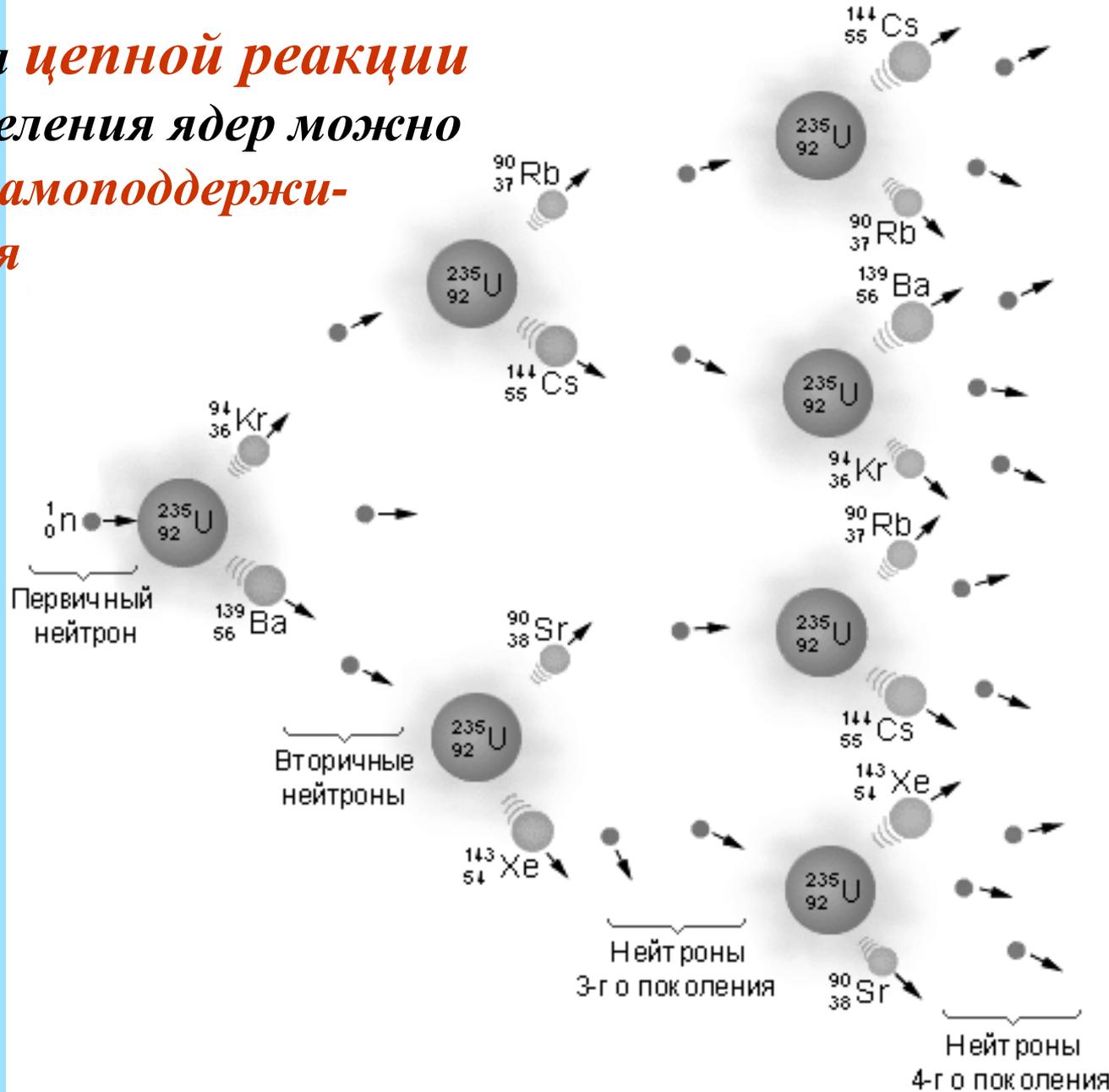
Поэтому распад составного ядра (испускание им частицы b) – вторая стадия ядерной реакции – **не зависит от способа образования составного ядра** – первой стадии.

Реакции, вызываемые быстрыми нуклонами и дейтронами (ядрами тяжелого водорода), протекают без образования составного ядра, - **прямые ядерные реакции**.



В процессе деления ядро изменяет форму — последовательно проходит через следующие стадии : шар, эллипсоид, гантель, два грушевидных осколка, два сферических осколка.

Благодаря **цепной реакции** процесс деления ядер можно сделать **самоподдерживающимся**



При каждом делении вылетают 2 или 3 нейтрона



A large, bright orange and yellow mushroom cloud from a nuclear explosion, set against a dark, cracked background. The cloud has a thick, glowing stem rising from the ground and a large, billowing, textured top. The overall scene is dramatic and powerful.

Разрушительная мощь

Разрушительная мощь
ядерных сил

На рисунке показана *предполагаемая схема конструкции термоядерного реактора.*

