

# ФИЗИКА ЯДРА

- Схематическое изображение ядра гелия



- Состав и характеристики атомного ядра



X – символ химического элемента

Z<sub>e</sub> – заряд ядра;

Z – зарядовое число, равное числу протонов, совпадает с порядковым номером элемента в периодической системе

A- массовое число, равное числу нуклонов в ядре

- Число нейтронов в ядре  $N = A - Z$

Изотопы - ядра с одинаковыми  $Z$ , но разным  $A$

Водород – имеет 3 изотопа:

${}^1_1\text{H}$  – протий;  ${}^2_1\text{H}$  – дейтерий;  ${}^3_1\text{H}$  – тритий;

Изобары – ядра с одинаковыми  $A$ , но разными  $Z$ :

${}^{10}_4\text{Be}$ ;  ${}^{10}_5\text{B}$ ;  ${}^{10}_6\text{C}$

Единицы измерения массы и энергии,  
используемые в ядерной физике

$$1 \text{ а.е.м} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг};$$

$$1 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж};$$

$$1 \text{ МэВ} = 10^6 \text{ эВ} = 1,6 \cdot 10^{-13} \text{ Дж};$$

$$1 \text{ а.е.м.} = 931,5 \text{ МэВ} \text{ – энергетический эквивалент а.е.м.}$$

•

## Нуклоны : протоны и нейтроны

Протон  $\frac{1}{1}p$   $m_p = 1,00728 \text{ а.е.м} = 938,28 \text{ МэВ};$

Нейтрон  $\frac{1}{0}n$   $m_n = 1,00866 \text{ а.е.м} = 939,57 \text{ МэВ};$

- 

$$\rho = 10^{17} \text{ КГ/М}^3$$

$$r \sim 1,3 \cdot 10^{-15} (\text{А})^{1/3} \text{ М}$$

## Дефект массы и энергия связи ядра

Дефект массы:

$$\Delta m = | Zm_p + (A-Z) m_n - m_{\text{я}} | \quad (1)$$

$$E = \Delta mc^2 \quad (2)$$

Энергия связи – энергия, которую необходимо затратить, чтобы расщепить ядро на отдельные нуклоны



# Дефект массы и энергия связи ядра

$$\Delta m = Z(m_p + m_e) + (A - Z) m_n - (m_{\text{я}} + Zm_e) = Zm_{\text{H}}^1 + (A - Z) m_n - m_a \quad (3a)$$

$$\Delta m = Zm_{\text{H}}^1 + (A - Z) m_n - m_a \quad (3b)$$

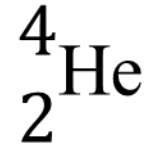
# Удельная энергия связи

Удельная энергия связи – энергия связи, относящиеся к одному нуклону –  $(E_{\text{ев}}/A)$

$(E_{\text{ев}}/A)$  – характеризует устойчивость ядер: чем она больше, тем устойчивее ядро: зависит от  $A$ .

Максимальная энергия связи приходится на элементы с  $A=50 - 60$

Найдем удельную энергию связи ( $E_{\text{св}}/A$ ) для гелия:



$$Z = 2$$

$$A = 4$$

Энергетический эквивалент а.е.м.

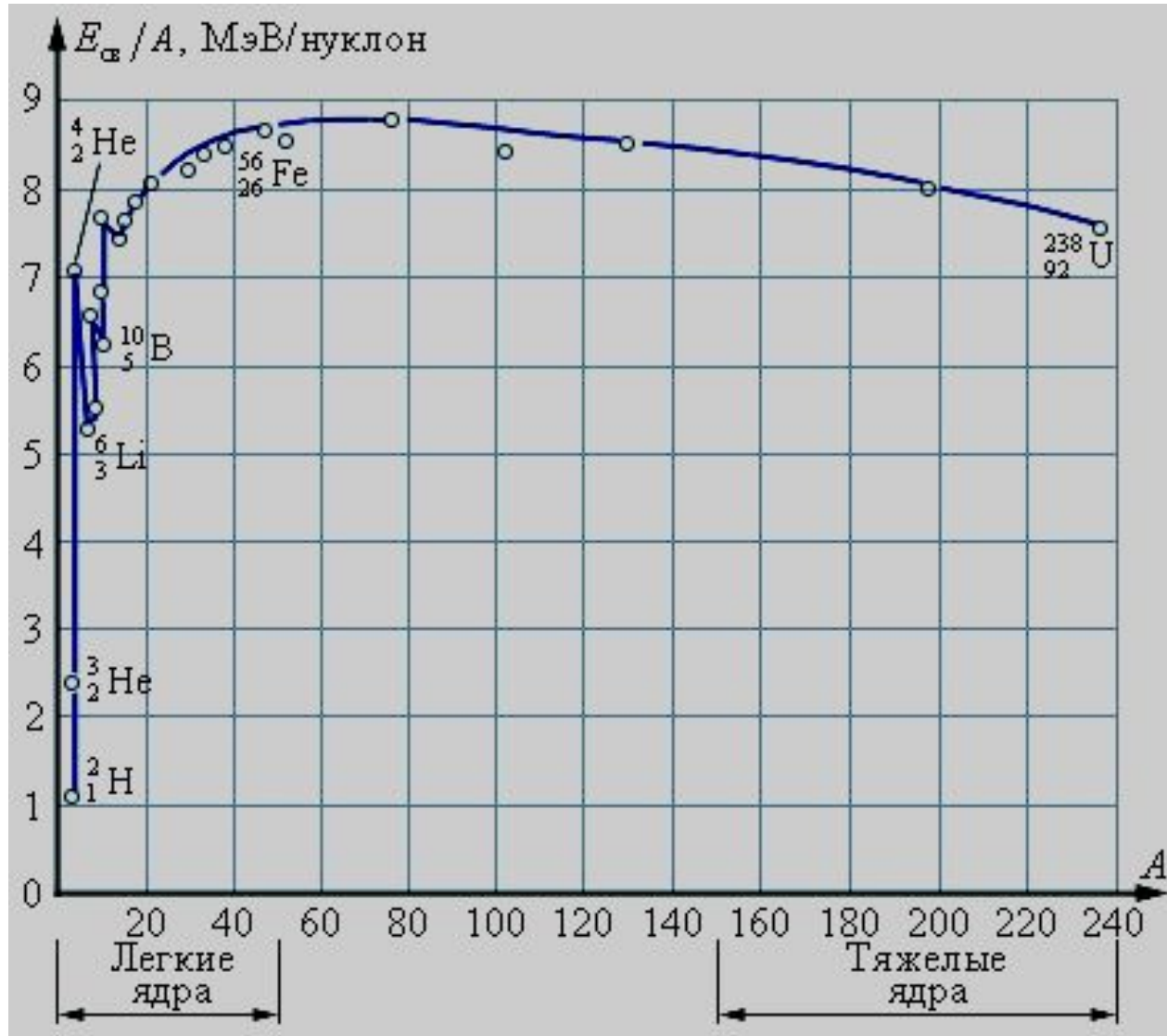
$$1 \text{ а.е.м.} = 931,5 \text{ МэВ}$$

- $\Delta m = (2 m_{\text{He}}^1 + 2 m_n - m_{\text{He}}) = (2 \cdot 1,00783 + 2 \cdot 1,00866 - 4,00260) =$   
 $= (4,03298 - 4,00260) = 0,03038 \text{ a.e.m.}$

$$E_{\text{eB}} = 0,03038 \cdot 931,5 \text{ МэВ} = 28,4 \text{ МэВ}$$

$$\frac{E_{\text{eB}}}{A} = \frac{28,4 \text{ МэВ}}{4} = 7,1 \text{ МэВ/нуклон}$$

# Зависимость удельной энергии связи от массового числа



Из зависимости удельной энергии связи от массового числа  $A$  следует, что энергетически выгодными являются 2 процесса:

- 1) Деление тяжелых ядер на более легкие
- 2) Слияние (синтез) легких ядер в более тяжелые

## Характеристика ядерных сил

Ядерные силы относятся к сильным взаимодействиям.

- 1) Ядерные силы – силы притяжения.
- 2) Ядерные силы – короткодействующие

$$r \approx 10^{-15} \text{ м}$$

# Характеристика ядерных сил

3) Зарядовая независимость

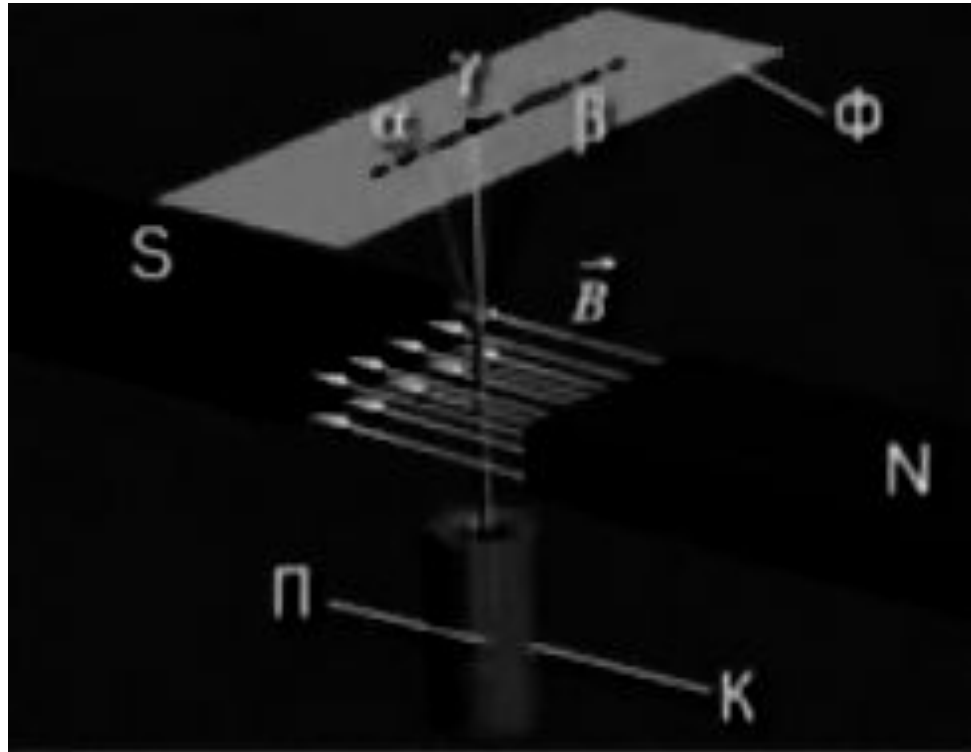
p-p, n-n, p-n

4) Насыщение: каждый нуклон в ядре взаимодействует с ограниченным числом нуклонов.



$$p \leftrightarrow n + \pi^+$$

# Схема опыта по обнаружению $\alpha$ , $\beta$ и $\gamma$ - излучений



К – свинцовый контейнер

П – радиоактивный

Ф – фотопластинка

В – магнитное поле ;

# **Закон радиоактивного распада**

- $$dN = \lambda N dt \quad (1)$$

$dN$  – число ядер, распадающихся за время  $dt$ ,

$\lambda$  – постоянная распада,

$N$  – число нераспавшихся ядер к моменту времени  $t$ .

$$\frac{dN}{N} = - \lambda dt \quad (2)$$

- $$\int \frac{dN}{N} = -\lambda \int_0^t dt$$

$$\ln \frac{N}{N_0} = -\lambda t \quad (3)$$

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (4)$$

- 

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

T - время, за которое распадается половина ядер – период полураспада.

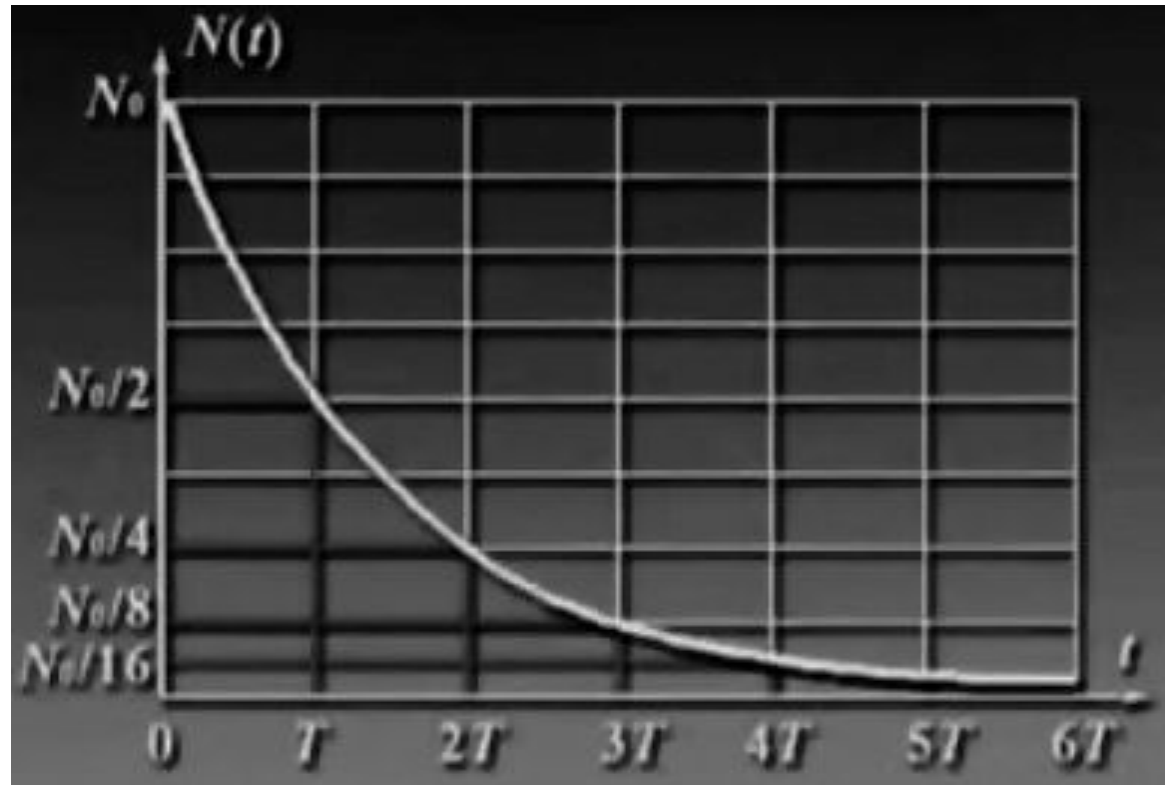
$$\frac{1}{2} N_0 = N_0 e^{-\lambda t}$$

$$\frac{1}{2} = e^{-\lambda t} \quad (5)$$

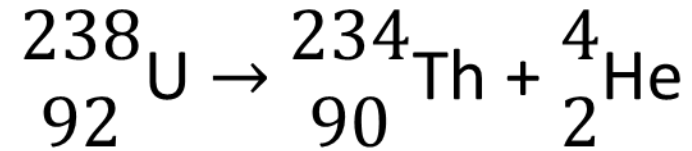
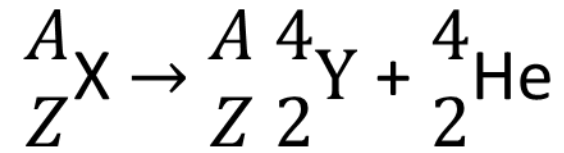
$$\ln\left(\frac{1}{2}\right) = -\lambda t$$

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} \quad (6)$$

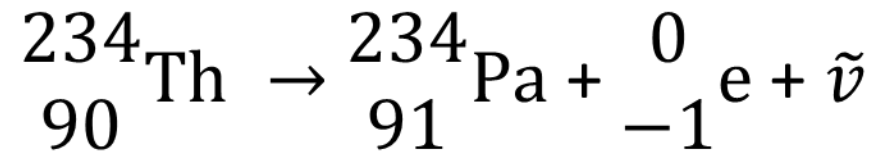
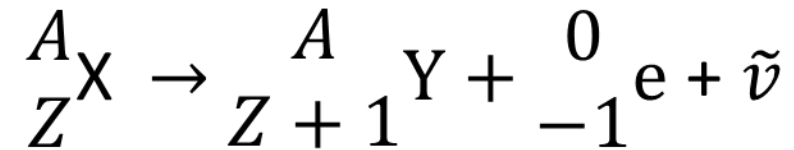
# Графическое изображение закона радиоактивного распада



•  
Альфа – распад



Бета – распад





# Ядерные реакции

## Реакция деления ядер

В конце 30-х – начале 40-х годов XX века в работах ученых – Э.Ферми (Италия); О. Гана, Ф. Штрассмана (Германия) ; О. Фриша

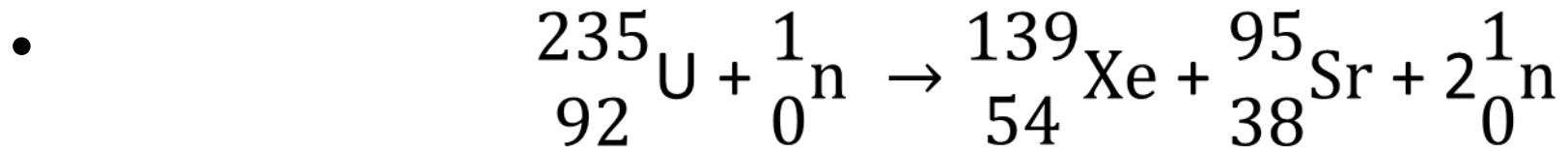
(Великобритания) ; Л. Мейтнер (Австрия) ; Г.Н. Флерова, К.Н. Петржака (СССР) было показано, что в результате облучения урана

нейтронами уран распадается, образуя лантан и барий – элементы

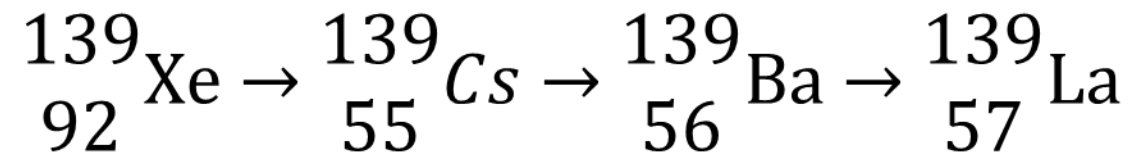
из средней части периодической системы.

Реакция деления ядер сопровождается испусканием нейтронов и выделением энергии.

При делении урана выделяется энергия 0,85 МэВ/нуклон



В результате трех бета – распадов:



При облучении нейтронами делятся:

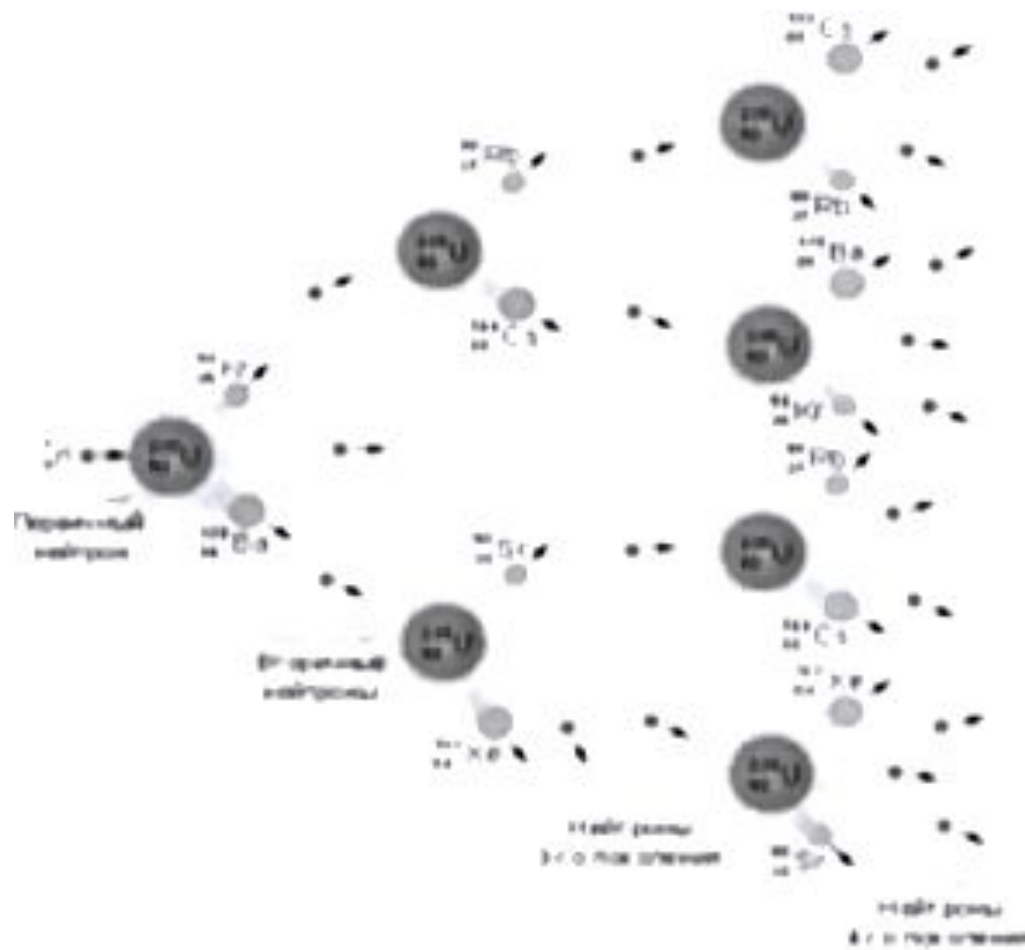
Торий 232, протактиний 231, плутоний 239.

При делении тяжелого ядра на два осколка освобождается энергия, равная  $\sim 1,1$  МэВ на один нуклон.

Ядра урана – 238 (в природе 99,27 %) делятся только быстрыми ( $\sim 1$  МэВ) нейтронами.

Ядра урана – 235 (0,27%) делятся нейтронами любых энергий, но эффективней – медленными.

# Схема развития цепной реакции



## Цепная реакция деления

При делении урана – 235 выделяется несколько нейтронов, что может привести к цепной ядерной реакции – ядерной реакции,

в которой частицы вызывающие реакцию, являются ее продуктами.

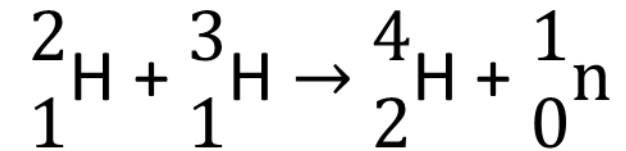
Цепная реакция протекает, если масса делящегося вещества больше некоторой критической.

Ценные реакции делятся на управляемые и неуправляемые.

Реакции первого типа протекают в ядерных реакторах, второго – в атомной бомбе.

# Реакция синтеза (термоядерные реакции)

Реакция синтеза – слияние легких ядер в более тяжелые



Выделяется 3,5 МэВ/нуклон.  $T \sim 10^7 \text{ К}$



# Реакция синтеза (термоядерные реакции)

На солнце возможны 2 типа реакций:

1) Протонно-протонный или водородный цикл

$$T \approx 10^7 \text{ К}$$

2) углеродно-азотный или углеродный цикл

$$T \approx 2 \cdot 10^7 \text{ К}$$