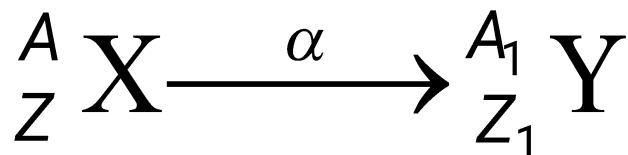


Закон радиоактивного  
распада.  
Изотопы.

# Радиоактивный распад.



- Ядро  $X$  - материнское;  $Y$  - дочернее. Под частицей  $\alpha$  в основном понимают  $\alpha$ -частицу и  $\beta^+$ -частицу.
- Радиоактивный распад, явление квантомеханическое, и он является свойством ядра. Повлиять на ход процесса радиоактивного распада нельзя, не изменив состояние ядра. Следовательно, для данного радиоактивного ядра, находящегося в определенном состоянии, вероятность распада постоянна. Эта вероятность носит название **постоянной распада** -  $\lambda$  (вероятность распада в единицу времени)  $[\lambda]=\text{с}^{-1}$

- Количество радиоактивных ядер в зависимости от времени подчиняется экспоненциальному (*exp*) закону:

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

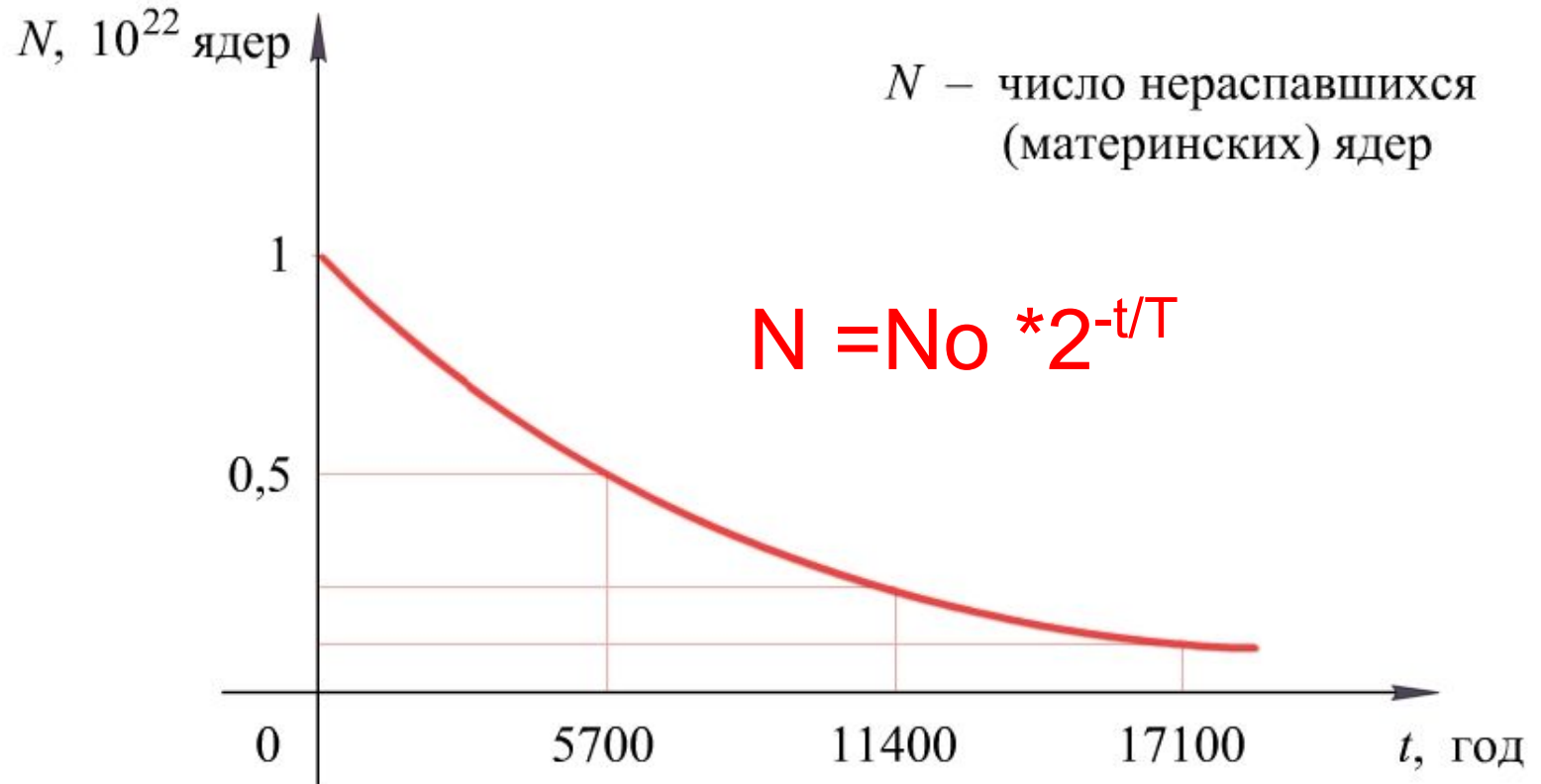
- где  $N_0$  - число радиоактивных ядер в момент времени  $t = 0$ ,  $T_{1/2}$  - период полураспада - время, в течение которого распадается половина радиоактивных ядер.

- Кроме используют величину среднего времени жизни радиоактивных ядер -  $\tau$
- По физическому смыслу среднее время жизни радиоактивных ядер - это время, за которое число радиоактивных ядер и скорость распада уменьшается в  $e$  раз. На практике более удобно использовать **период полураспада  $T_{1/2}$**  - это время, за которое количество радиоактивности уменьшится вдвое.

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

- $(\ln 2 \approx 0.693)$

## Закон радиоактивного распада



Зависимость числа нераспавшихся ядер в образце углерода от времени. Период полураспада углерода равен 5700 лет.

# АКТИВНОСТЬ

Активность радиоактивного источника — число элементарных [радиоактивных распадов](#) в единицу [времени](#)

$$C(t) = -\frac{dN(t)}{dt} = \lambda N(t) = \frac{N(t)}{\tau} = \frac{\ln 2 \cdot N(t)}{T_{1/2}},$$

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

- Обозначив  $\lambda N_0$  как  $C_0$ , где  $C_0$  — активность материала в момент времени  $t=0$ , получаем, что активность уменьшается во времени по экспоненциальному закону:

$$C(t) = C_0 \exp(-\lambda t).$$

- Если имеется радиоактивное вещество массой  $M$  и массовым числом  $A$  с постоянной распада  $\lambda$  (или периодом полураспада), то для того, чтобы определить активность этого вещества, необходимо вычислить количество радиоактивных ядер, содержащихся в массе  $M$  этого вещества, а затем умножить на постоянную распада

$$C = \frac{\lambda N_a M}{A} = \frac{\ln 2 \cdot N_a M}{A T_{1/2}},$$

- где  $N_a$  — число Авогадро;  $A$  — массовое число.
- Пользуясь этим выражением, можно решить обратную задачу — определить массу радиоактивного нуклида, зная его измеренную активность:

$$M = \frac{CA}{\lambda N_a} = \frac{C T_{1/2} A}{N_a \ln 2}.$$

## Основные радиологические величины и единицы

Величина	Наименование и обозначение единицы измерения		Соотношения между единицами
	Внесистемные	СИ	
Активность нуклида, А	Кюри (Ки, Ci)	Беккерель (Бк, Bq)	$1 \text{ Ки} = 3.7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$ $1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп/с}$ $1 \text{ Бк} = 2.7 \cdot 10^{-11} \text{ Ки}$
Экспозиционная доза, Х	Рентген (Р, R)	Кулон/кг (Кл/кг, C/kg)	$1 \text{ Р} = 2.58 \cdot 10^{-4} \text{ Кл/кг}$ $1 \text{ Кл/кг} = 3.88 \cdot 10^3 \text{ Р}$
Поглощенная доза, D	Рад (рад, rad)	Грей (Гр, Gy)	$1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$ $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$
Эквивалентная доза, Н	Бэр (бэр, rem)	Зиверт (Зв, Sv)	$1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{ Зв}$ $1 \text{ Зв} = 100 \text{ бэр}$
Интегральная доза излучения	Рад-грамм (рад*г, rad*g)	Грей- кг (Гр*кг, Gy*kg)	$1 \text{ рад*г} = 10^{-5} \text{ Гр*кг}$ $1 \text{ Гр*кг} = 10^5 \text{ рад*г}$



# Задача 1

- Какая доля первоначального количества ядер радиоактивного препарата со средним временем жизни  $\tau$ :
- останется через интервал времени, равный  $10\tau$ .
- распадется за интервал времени между  $t_1 = \tau$  и  $t_2 = 2\tau$

# Решение

- Число ядер препарата к моменту времени  $t$ :
- $N(t) = N_0 \exp(-t/\tau)$
- Доля ядер, оставшихся к моменту  $t = 10\tau$ ,
- $N(10\tau) / N_0 = \exp(-10)$
- Доля ядер, распавшихся за интервал времени  $\Delta t = t_2 - t_1$

$$\Delta N = \frac{N(t_1) - N(t_2)}{N_0} = \frac{1}{e} \left( 1 - \frac{1}{e} \right)$$

## Задача 2

- Вычислить постоянную распада, среднее время жизни и период полу распада радиоактивного нуклида, активность которого уменьшается в 1,07 раза за 100 дней.

- Активность по определению – число распадающихся ядер в единицу времени:  $A = dN_d / dt$
- где  $N_d$  – число ядер, которые должны испытать распад за время  $t$ ,
- $N_d(t) = N_0 - N(t) = N_0(1 - e^{-\lambda t})$
- Продифференцируя последнее выражение по времени, получим
- $A(t) = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-\lambda t}$ ,
- где  $A_0 = \lambda N_0$  – активность в начальный момент времени.
- Таким образом,

$$\frac{A_0}{A} = \frac{A_0}{A_0 \cdot \exp(-\lambda t)} = e^{\lambda t} = 1,07$$

- Решая последнее уравнение относительно  $\lambda$ , получим

$$\lambda = \frac{\ln 1,07}{100} = 6,8 \cdot 10^{-4} \text{ сут}^{-1}$$

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{6,8 \cdot 10^{-4}} = 1024,26 \text{ сут}$$

# Задача 3

- Свежеприготовленный препарат содержит 1,4 мкг радиоактивного нуклида  $^{24}\text{Na}$ . Какую активность он будет иметь через сутки?

# Решение

- Согласно  $C(t) = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t} = C_0 e^{-\lambda t}$ ,
- $1 \text{ а. е. м.} \approx 1,660\,540\,2 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,660\,540\,2 \cdot 10^{-24} \text{ г}$ .

$$\begin{aligned} C(t) &= \lambda N_0 e^{-\lambda t} = \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m}{M} \cdot e^{-\lambda t} = \\ &= \frac{\ln 2}{T_{1/2}} \cdot \frac{m}{A_{am} \cdot 1,66 \cdot 10^{-24}} \cdot \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) = \\ &= \frac{0,693}{15 \cdot 3600} \cdot \frac{1,4 \cdot 10^{-6}}{24 \cdot 1,66 \cdot 10^{-24}} \cdot \exp\left(-\frac{0,693}{15} \cdot 24\right) = \\ &= 1,5 \cdot 10^{11} \text{ Бк} = 4 \text{ Ки} \end{aligned}$$

## Задача 4

- Определить число радиоактивных ядер в свежеприготовленном препарате  $^{82}\text{Br}$ , если известно, через сутки его активность стала равной  $S(t) = 7,4 \cdot 10^{-9}$  Бк (0,4 Ки).

# Решение

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

$$N_0 = \frac{C(t)}{\lambda} e^{\lambda t} = \frac{T_{1/2} C(t)}{\ln 2} \exp\left(\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t\right) =$$

$$= \frac{36 \cdot 3600 \cdot 7,4 \cdot 10^{-9}}{0,693} \exp\left(\frac{0,693}{36} 24\right) = 2,3 \cdot 10^{15}$$



# Эквивалентная доза

<b>Весовые множители излучения</b>	
<b>Вид излучения и диапазон энергий</b>	<b>Весовой множитель</b>
Фотоны всех энергий	1
Электроны и мюоны всех энергий	1
Нейтроны с энергией < 10 КэВ	5
Нейтроны от 10 до 100 КэВ	10
Нейтроны от 100 КэВ до 2 МэВ	20
Нейтроны от 2 МэВ до 20 МэВ	10
Нейтроны > 20 МэВ	5
Протоны с энергий > 2 МэВ (кроме протонов отдачи)	5
$\alpha$ -частицы, осколки деления и другие тяжелые ядра	20

# Эквивалентная доза

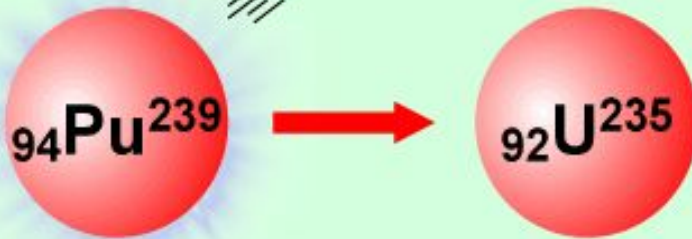
**Значения тканевых весовых множителей  $w_t$  для различных органов и тканей.**

Ткань или орган	$w_t$	Ткань или орган	$w_t$
Половые железы	0.20	Печень	0.05
Красный костный мозг	0.12	Пищевод	0.05
Толстый кишечник	0.12	Щитовидная железа	0.05
Легкие	0.12	Кожа	0.01
Желудок	0.12	Поверхность костей	0.01
Мочевой пузырь	0.05	Остальные органы	0.05
Молочные железы	0.05		

# Радиоактивные превращения

АЛЬФА - РАСПАД

АЛЬФА-ЧАСТИЦА



ЯДРО ПЛУТОНИЯ

ЯДРО УРАНА

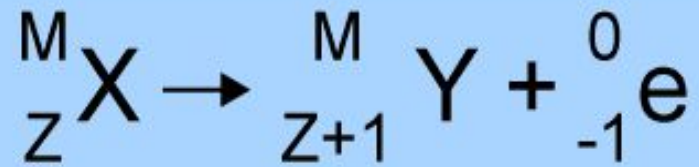
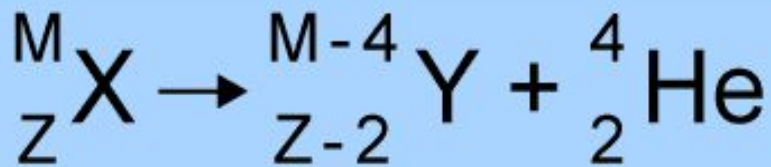
БЕТА - РАСПАД

ЭЛЕКТРОН



ЯДРО КАЛИЯ

ЯДРО КАЛЬЦИЯ



*Правило смещения*

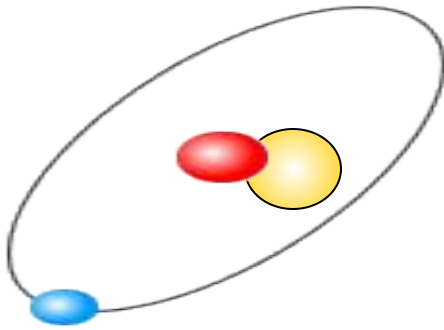
# *Изотопы*



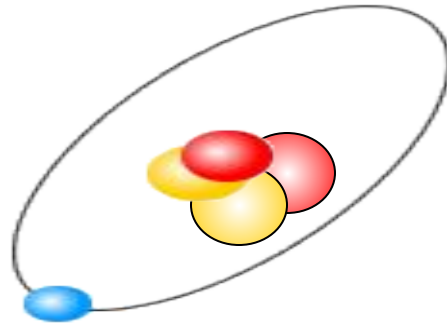
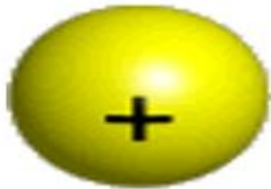
*Химический элемент с одинаковым числом протонов, но различным числом нейтронов.*

*Изотопы имеют одинаковые химические свойства, обусловленные зарядом ядра, но разные физические свойства, обусловленные массой.*

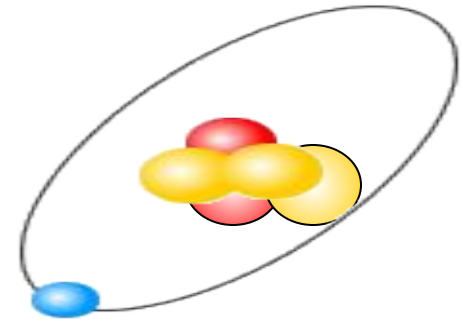
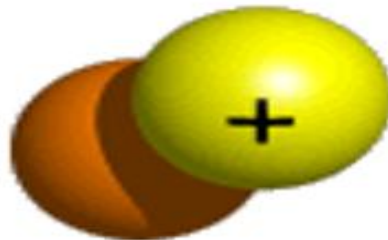
# Изотопы водорода



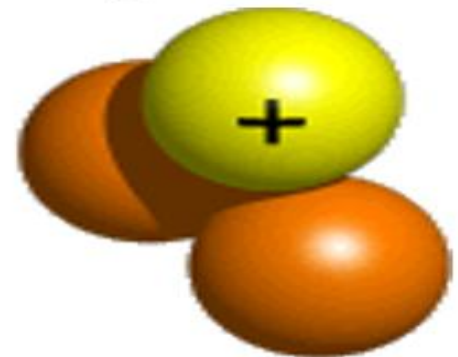
**Протий**



**Дейтерий**



**Тритий**



## *Получение радиоактивных изотопов*

Получают радиоактивные изотопы  
в атомных реакторах и на  
ускорителях  
элементарных частиц в стабильном  
состоянии.

С помощью ядерных реакций  
получены

Трансурановые элементы,  
начиная с нептуния и плутония

# *Применение радиоактивных изотопов*

***Меченые атомы:*** химические свойства

***Радиоактивных изотопов не отличаются от свойств нерадиоактивных изотопов тех же элементов. Обнаружить радиоактивные изотопы можно по их излучению.***

***Применяют:*** в медицине, биологии, криминалистике, археологии, промышленности, сельском хозяйстве.

# Энергия связи ядра

**Энергия связи ядра** равна минимальной работе, которую надо совершить, чтобы ядро распалось на составляющие его нуклоны.

**Энергия связи** — это та энергия, которая выделяется при образовании ядра из отдельных частиц — нейтронов и протонов.



# ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ

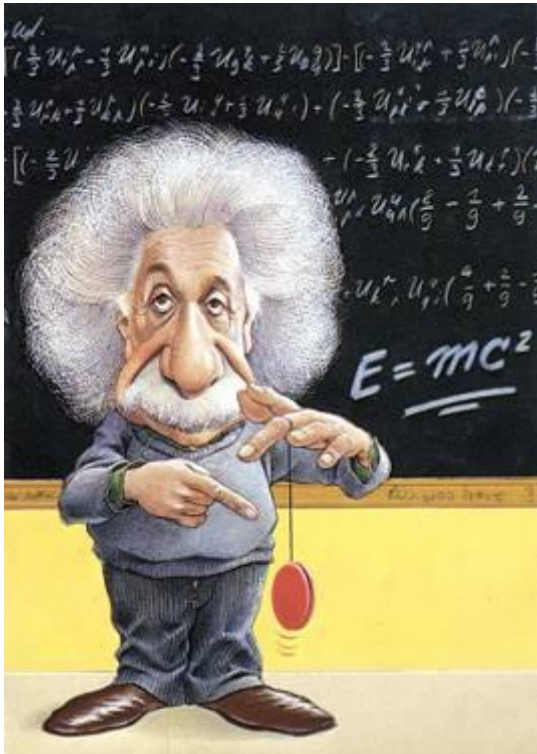
Расчетная формула для энергии связи:

$$E = \Delta mc^2$$

(с - скорость света в вакууме)

При образовании ядра уменьшается энергия системы.

**1905 г. Открытие закона взаимосвязи массы и энергии А.Эйнштейном**



# ДЕФЕКТ МАСС

Масса ядра всегда меньше суммы масс свободных нуклонов.

$$M_{\text{я}} < Z \cdot m_{\text{p}} + (A - Z) \cdot m_{\text{n}}$$

**Дефект масс** - недостаток массы ядра по сравнению с суммой масс свободных нуклонов

Расчетная формула для дефекта масс:

$$\Delta m = (Z \cdot m_{\text{p}} + (A - Z) \cdot m_{\text{n}}) - M_{\text{я}}$$

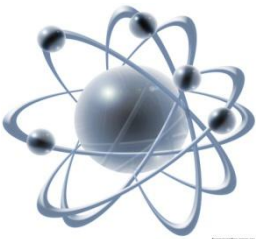
$M_{\text{я}}$  = масса ядра

$m_{\text{p}}$  = масса свободного протона

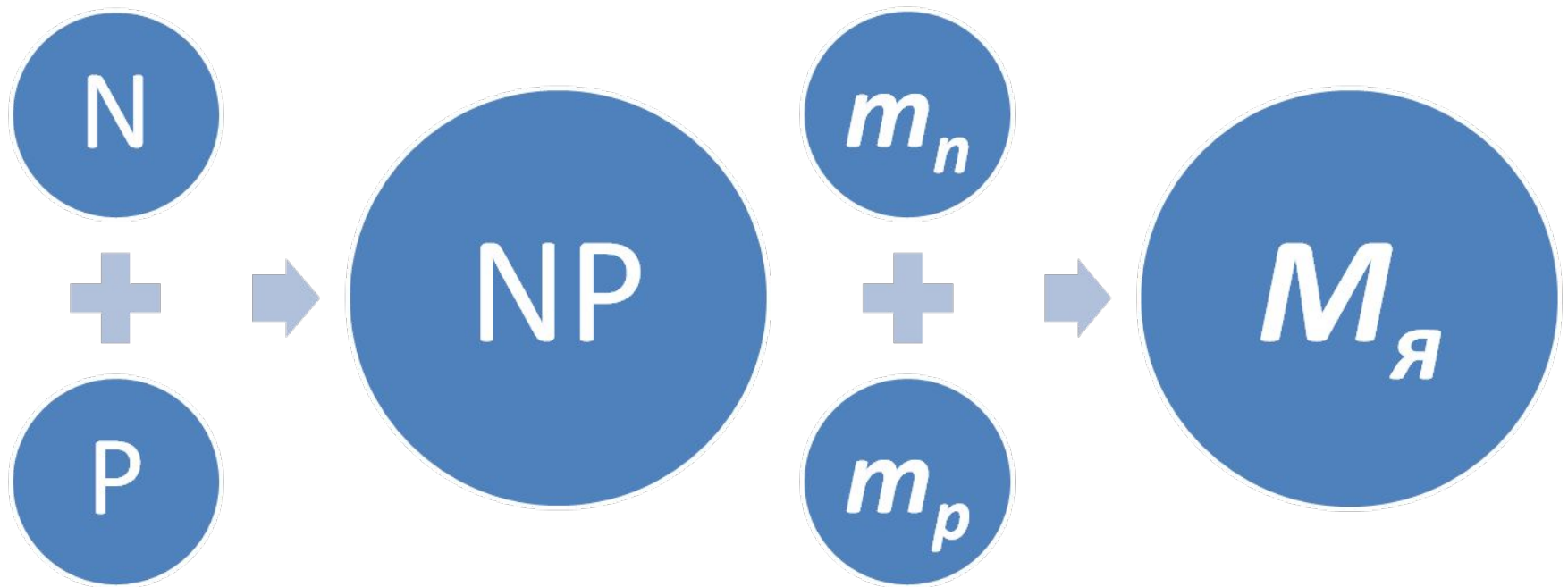
$m_{\text{n}}$  = масса свободного нейтрона

$Z$  = число протонов в ядре

$N$  = число нейтронов в ядре



# *Схема дефекта масс*

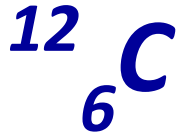


# Масса и атомный вес некоторых частиц

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

Частица	Символ	Масса, кг	Масса в физической шкале а.е.м.
Электрон	${}^0_{-1}e$	$9,1 \cdot 10^{-31}$	$5,486 \cdot 10^{-4}$
Протон	$p_1^1$	$1,6724 \cdot 10^{-27}$	1,00759
Нейтрон	$n_0^1$	$1,675 \cdot 10^{-27}$	1,00897
Альфа-частица	$\alpha_2^4$	$6,643 \cdot 10^{-27}$	4,0028

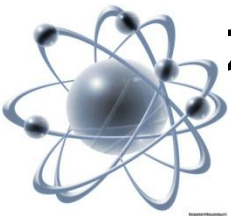
# Определите дефект массы:



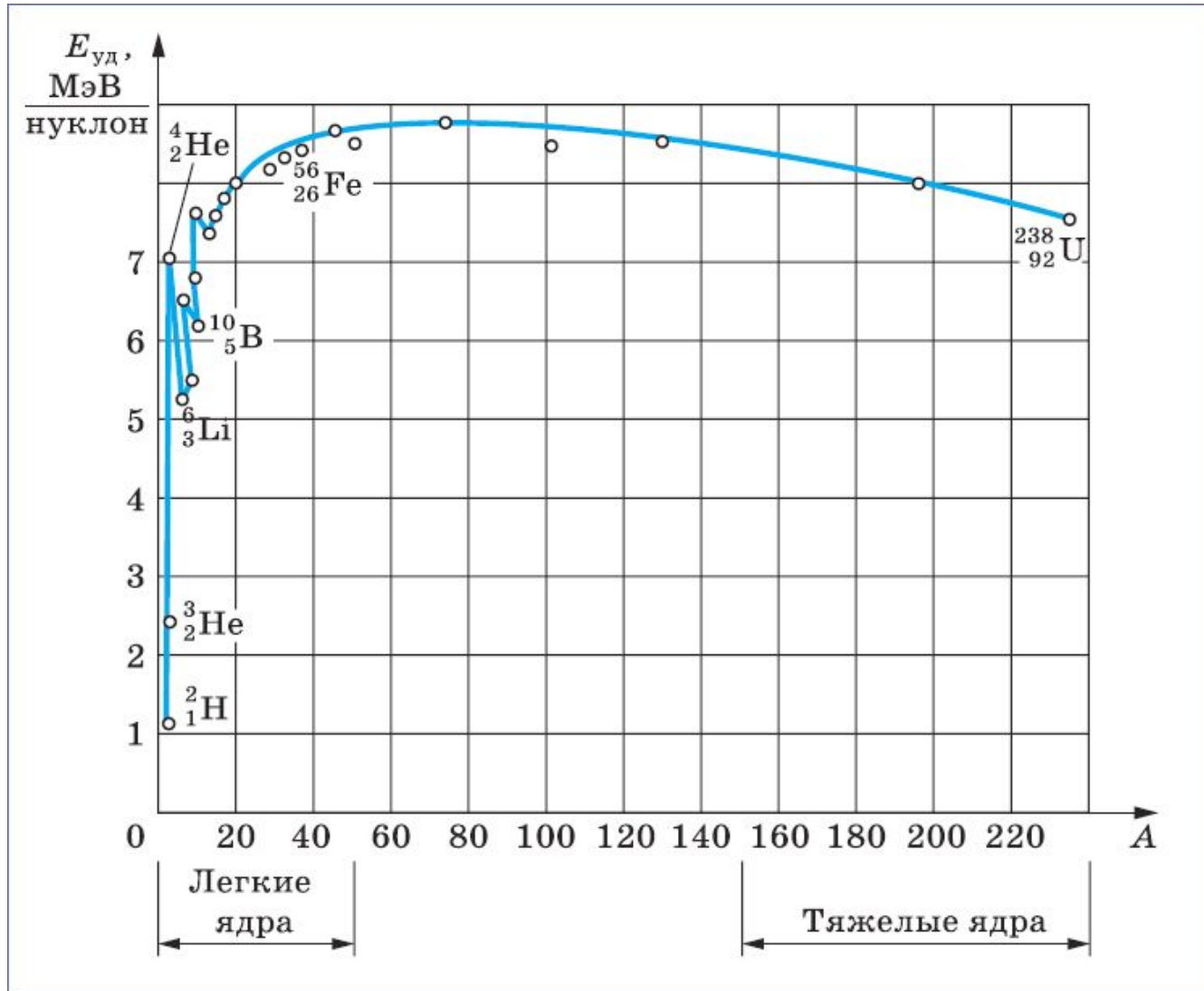
- $M_{\text{я}} = 12$  а.е.м.
- $m_p = 1,00759$  а.е.м.
- $m_n = 1,00897$  а.е.м.
- $6 \cdot m_p + 6 \cdot m_n = 6 \cdot (1,00759 \text{ а.е.м.} + 1,00897 \text{ а.е.м.}) = 12,09936$  а.е.м.
- $12 < 12,09936$
- $12,09936 - 12 = 0,09936$
- $0,09936$  а.е.м. – **дефект масс**

$$1 \text{ а.е.м.} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$0,09936 \text{ а.е.м.} \cdot 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 0,165 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$



## Удельная энергия связи



## Ядерные реакции

**Ядерные реакции** – изменения атомных ядер при взаимодействии их с элементарными частицами или друг с другом.



**Энергетический выход ядерной реакции** — это разность энергий покоя ядер и частиц, вступивших в реакцию, и энергий покоя ядер и частиц, возникших в результате реакции.

$$Q = (m_1 + m_2 - m_3 - m_4) c^2$$

# Домашнее задание

На 26 марта 2020 года по физике: ответить на вопросы после §101-106.

**Домашнее задание необходимо выслать в любое время до 9 часов дня, 1 апреля 2020.**

Задания из учебника:

Г.Я. Мякишев, Б.Б. Буховцев, В.М. Чаругин.  
Физика 11 класс - М. «Просвещение» 2010  
год