

ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА

ЕГЭ. ФИЗИКА
РЕПЕТИЦИЯ ПО ФИЗИКЕ
Владимир Петрович Сафронов
г. Ростов-на-Дону, 2015
Звоните: т. 8 928 111 7884
Пишите: safron-47@mail.ru

Нуклонная модель ядра Гейзенберга-Иваненко

Состав ядра

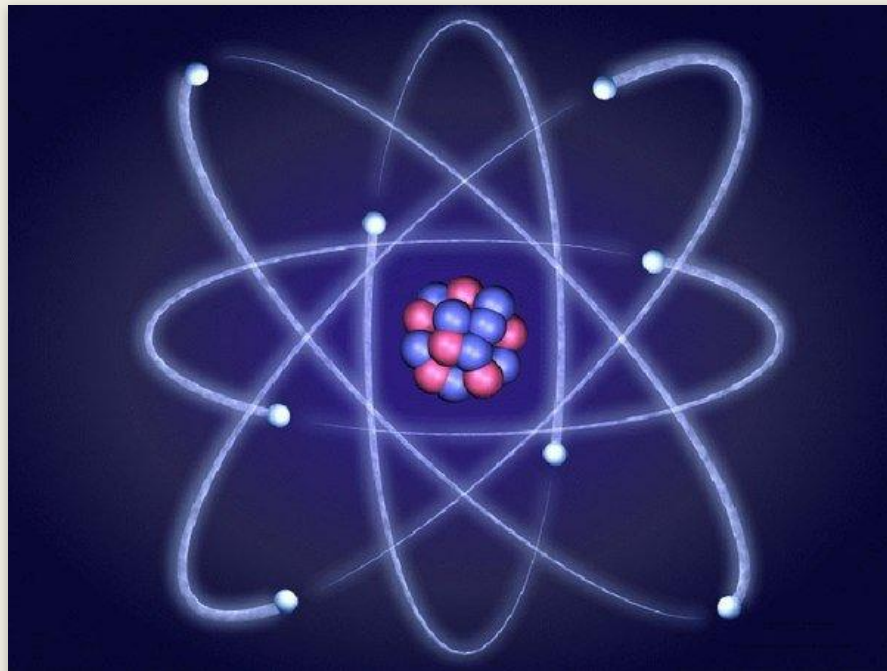
Ядро атома состоит из элементарных частиц — протонов (**p**) и нейтронов (**n**). Их общее название — **нуклоны**.

Масса протона примерно равна массе нейтрона

$$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг}; \quad m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг}.$$

Это в **1886** раз больше массы электрона $m_e = 9,1095 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$.

Линейный размер ядра составляет $\sim 10^{-15}$ м, атома $\sim 10^{-10}$ м.



Характеристики ядра:

Зарядовое число Z — число протонов в ядре, равное порядковому номеру элемента в таблице Менделеева.

Массовое число A — число нуклонов в ядре.

Число нейтронов в ядре $N = A - Z$.

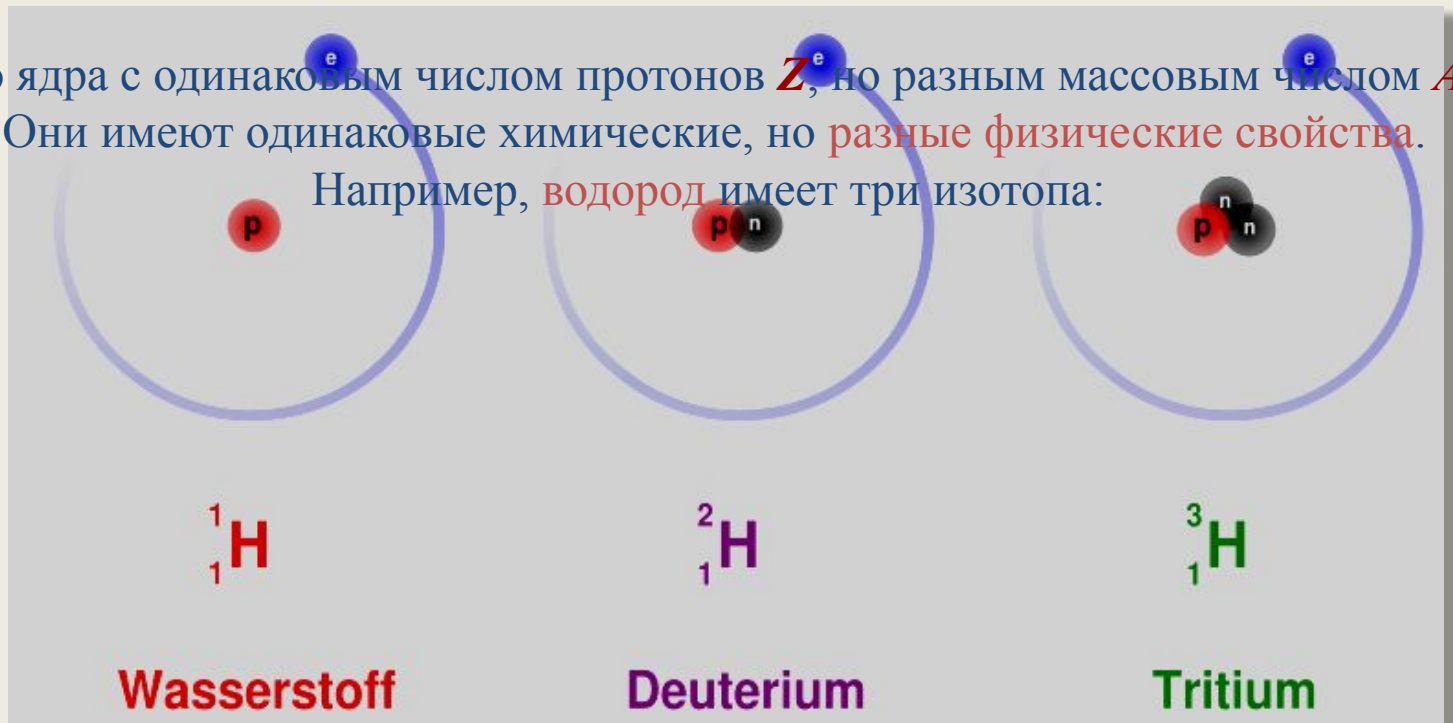
Ядро химического элемента X обозначается тем же символом, что и атом с указанием чисел A и Z :



Изотопы

это ядра с одинаковым числом протонов Z , но разным массовым числом A . Они имеют одинаковые химические, но **разные физические свойства**.

Например, **водород** имеет три изотопа:

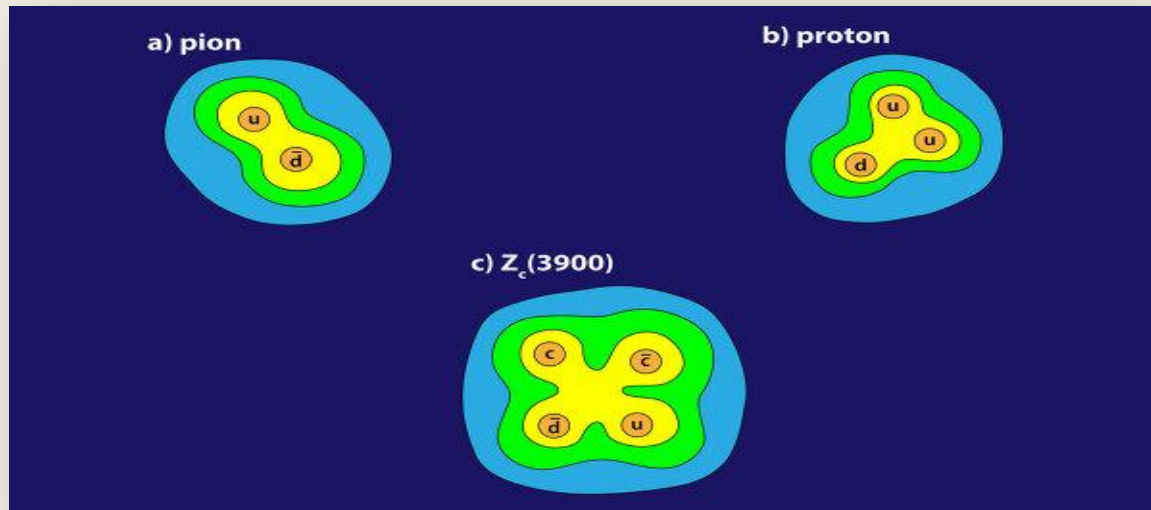


Ядерные силы

обеспечивают притяжение нуклонов и существенно больше сил кулоновского отталкивания протонов.

Ядро сохраняет стабильность, если **силы ядерного притяжения** нуклонов больше сил кулоновского отталкивания протонов.

Притяжение нуклонов в ядре объясняется тем, что они обмениваются квантами ядерного поля — элементарными частицами — **глюонами**.



Из обменного характера взаимодействия вытекают свойства ядерных сил:

Близкодействие — радиус действия ядерных сил $< 2,2 \cdot 10^{-15}$ м.

Насыщенность — каждый нуклон взаимодействует с ограниченным количеством соседей.

Зарядовая независимость — не зависят от электрического заряда нуклона.

Энергия связи атомных ядер

$E_{\text{св}}$ — это энергия, которую надо затратить для расщепления ядра на нуклоны.

Энергия свободных нуклонов больше, чем их энергия в ядре

Взаимосвязь массы и энергии

$$E = m \cdot c^2$$

объясняет уменьшение исходной массы протонов и нейтронов при образовании ядра (дефект массы Δm):

так как масса свободных нуклонов больше, чем их энергия в ядре, то

$$\Delta m = Z \cdot m_{\text{прот}} + N \cdot m_{\text{н}} - m \quad .$$

По дефекту массы определяется энергия связи ядра:

$$E_{\text{св}} = \Delta m \cdot c^2$$

$m_{\text{п}}, m_{\text{н}}$ — масса протона и нейтрона,

$m_{\text{ядро}}$ — масса ядра,

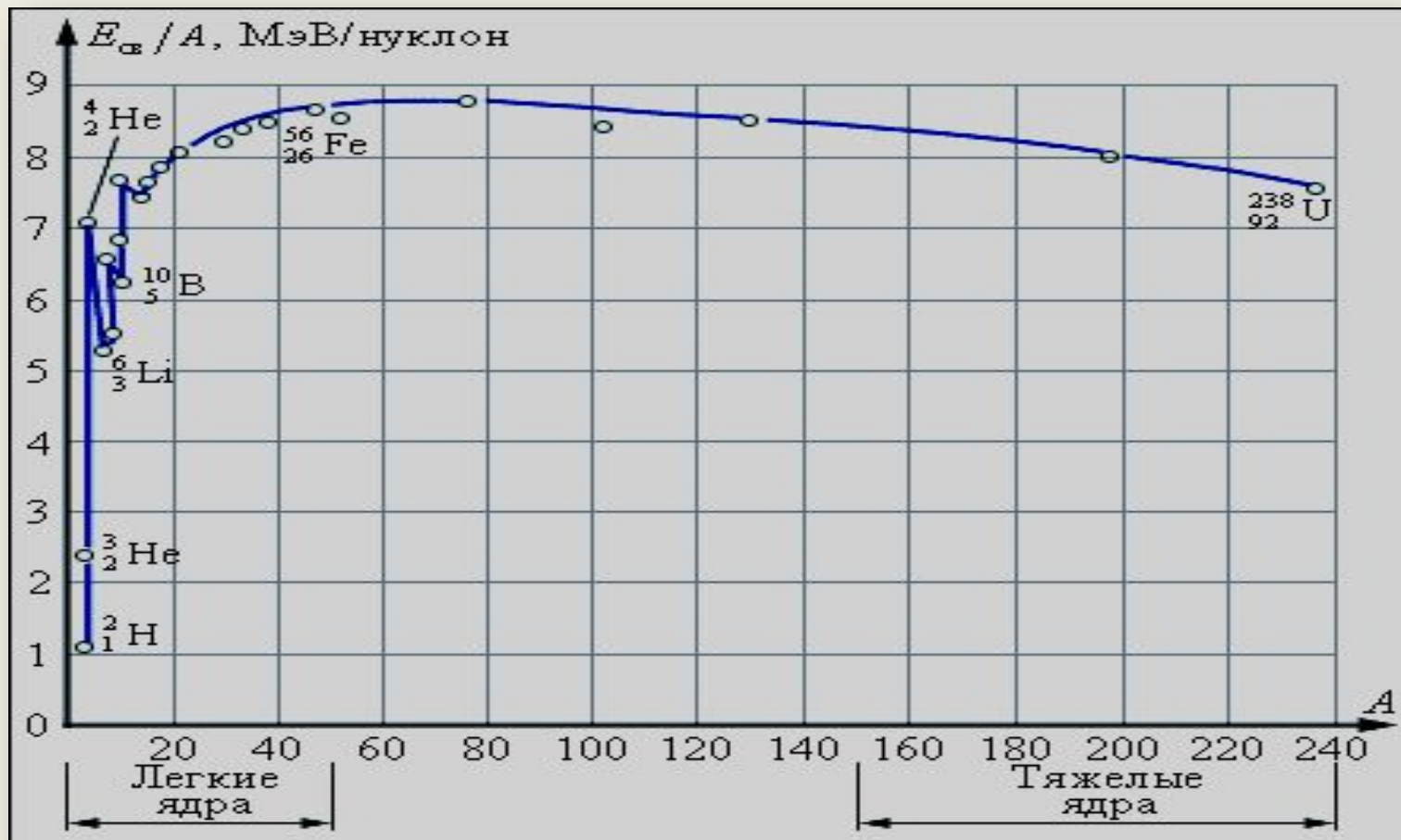
c — скорость света.

Удельная энергия связи

$\Delta E_{\text{св}}$, эВ — это энергия связи ядра, приходящаяся на один нуклон:

$$\Delta E_{\text{св}} = E_{\text{св}} / A. \quad \text{Она зависит от массового числа } A \text{ ядра.}$$

Чем больше энергия связи, тем устойчивей (стабильней) ядро элемента.



Наиболее устойчивыми являются ядра с массовыми числами $A = 50 \div 60$ (элементы от **Cr** до **Zn**) с $\Delta E_{\text{св}} = 8,7$ МэВ/нуклон.

Атомная и водородная бомбы

С дальнейшим ростом числа нуклонов A энергия связи $\Delta E_{\text{св}}$ убывает, поскольку увеличивается энергия кулоновского отталкивания.

Для самого тяжелого природного элемента – урана $\Delta E_{\text{св}} = 7,5 \text{ МэВ/нуклон.}$

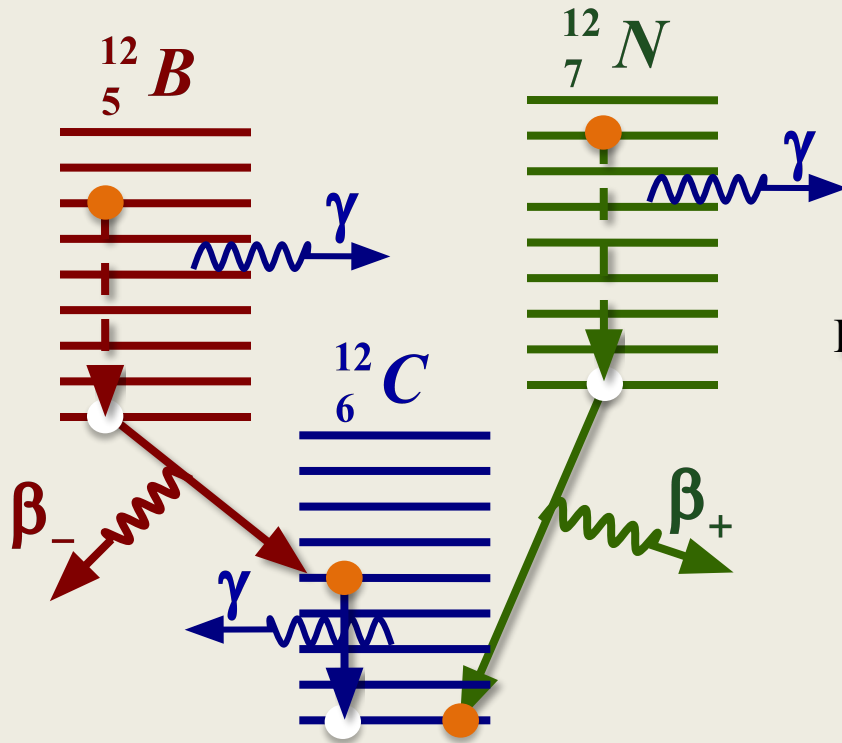
Энергетически выгодным является деление тяжелых ядер на более легкие (взрыв атомной бомбы) или слияние (синтез) легких ядер в более тяжелое ядро (взрыв водородной бомбы).

Такие процессы сопровождаются выделением огромной энергии.



Радиоактивность

Оболочечная модель атомного ядра



Каждый нуклон ядра движется в ограниченном пространстве в электрическом и ядерном поле остальных нуклонов.

Поэтому в ядре существуют энергетические уровни (подобные уровням атома), заполняемые нуклонами (уровни атома заполняются электронами).

Эти уровни группируются в оболочки.

Полностью заполненная оболочка – это особо устойчивое образование.

Неустойчивые (возбужденные) ядра переходят в стабильное состояние, испуская энергию в виде радиоактивного γ -излучения.

При испускании α -, β - частиц происходит превращение ядер одних элементов в ядра других химических элементов .

Радиоактивность

самопроизвольное превращение нестабильных атомных ядер в другие, сопровождающееся излучением элементарных частиц.

Виды радиоактивных излучений

Альфа-распад

происходит с испусканием α -частиц — ядер атома гелия ${}^4_2\text{He}$.

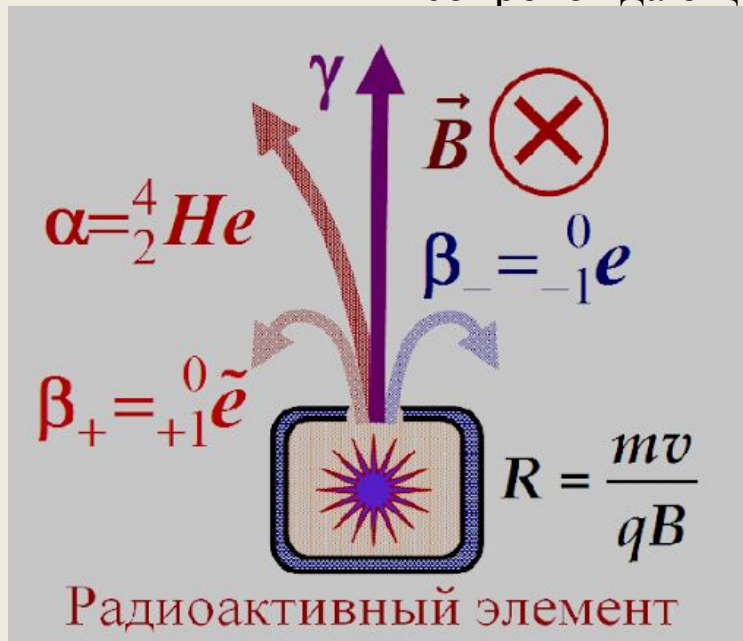
Бета-распад

происходит с испусканием β -частиц — электронов ${}^0_{-1}e$

или их античастиц — позитронов 0_1e

Гамма-излучение

излучение электромагнитной энергии с длиной волны $\lambda \sim 10^{-12}$ м, сопровождающее α - и β -распады.



Типы частиц определяют по их поведению *в магнитном поле (см. рис).*

Радиоактивность ядер в **природных** условиях называется *естественной*.

Радиоактивность ядер, полученных в ядерных реакциях — *искусственной*.

Любые радиоактивные превращения подчиняются одинаковым законам.

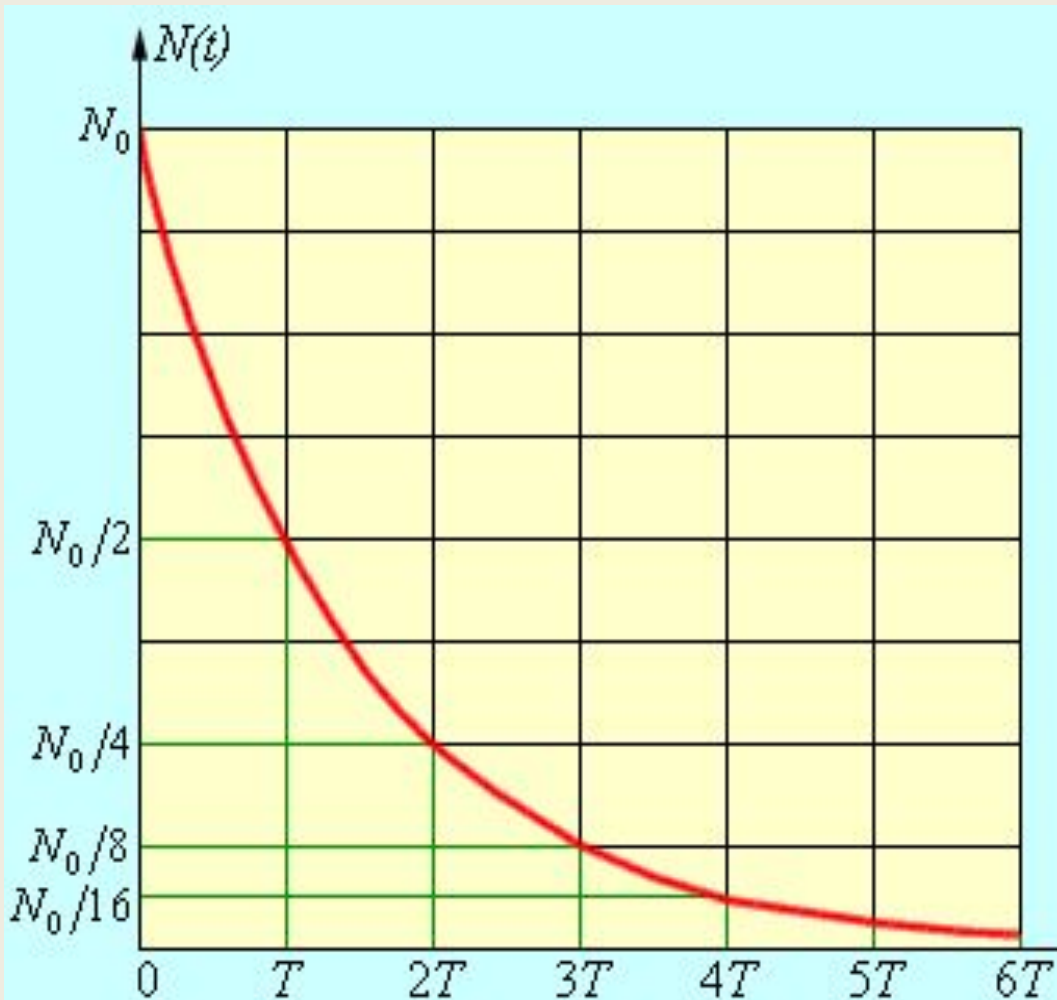
Период полураспада

T, c - это время, за которое распадается половина первоначальных ядер.

Закон радиоактивного распада

определяет количество *нераспавшихся* ядер в заданный момент времени t .

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



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

N — количество нераспавшихся ядер в момент времени t .

T — **период полураспада** известен для любого элемента.

Правила смещения

позволяют установить, какое ядро возникает в результате распада данного материнского ядра



Период полураспада – основная величина, определяющая скорость радиоактивного распада.

элемент	Период полураспада
уран	4,5 млрд. лет
торий	10^{10} лет
Радий	1620 лет
висмут (210)	5 дней
полоний(218)	3 минуты
полоний(214)	10^{-6} секунд

Активность радиоактивного источника

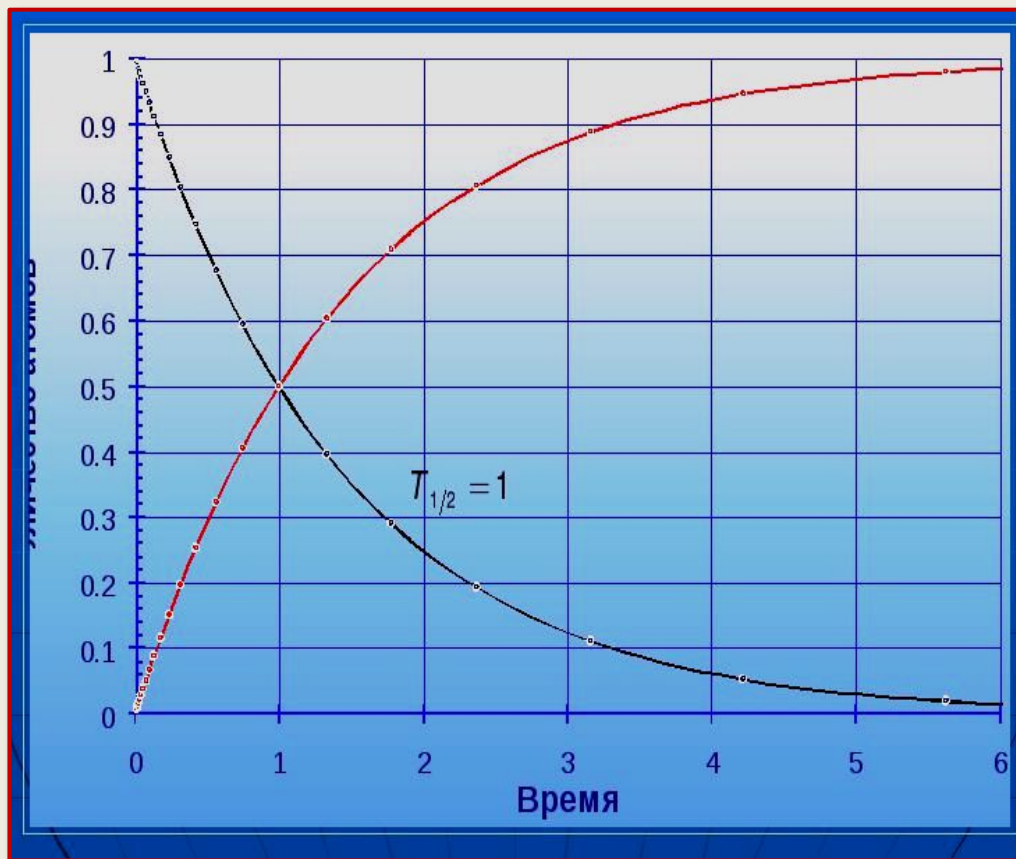
(или *скорость распада*) — число распадов в единицу времени.

A (Бк, беккерель); $1 \text{ Бк} = \text{с}^{-1}$.

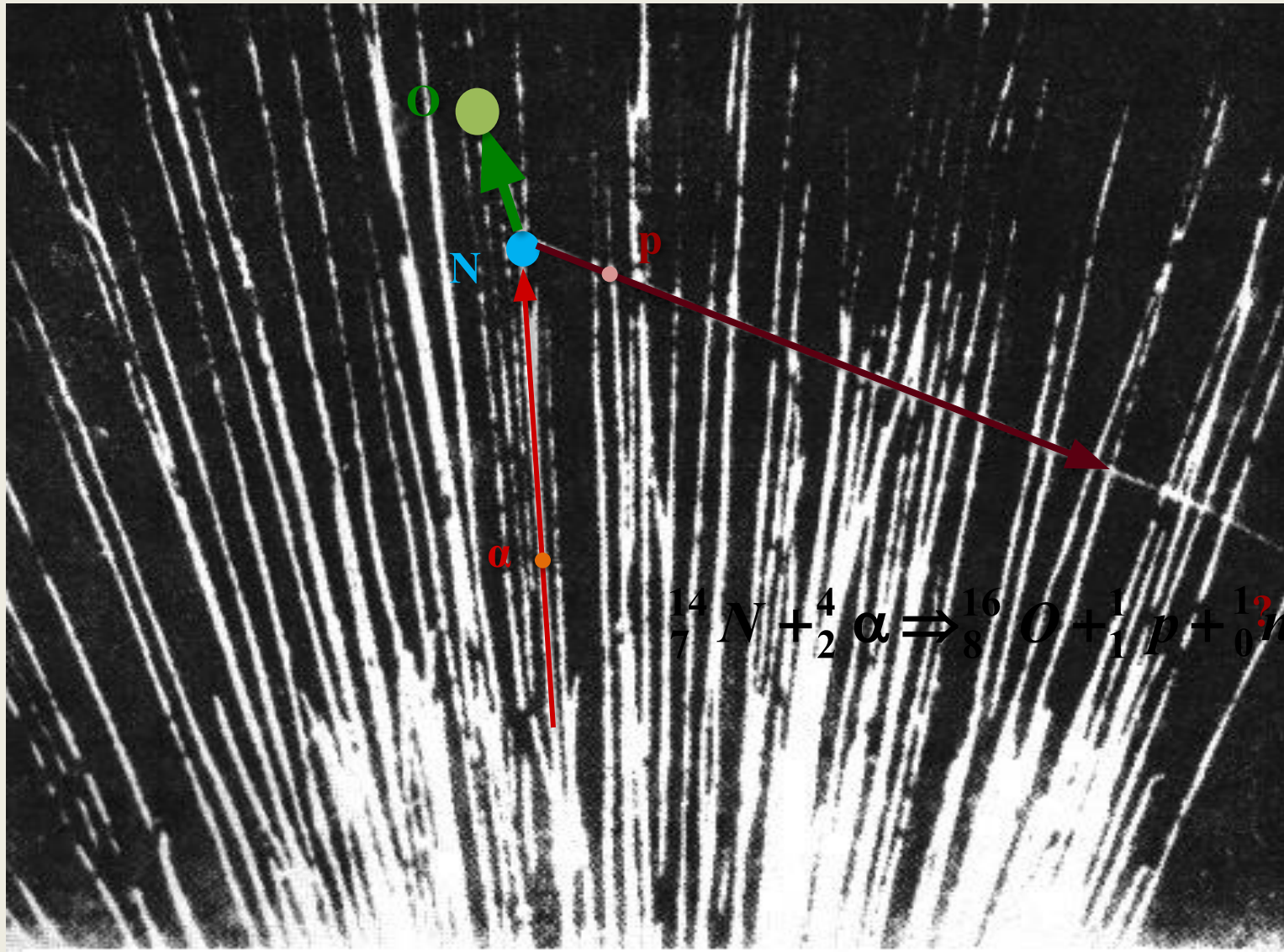
В образце с активностью **1 Бк** происходит в среднем **1** распад в секунду.

$$A(t) = A_0 2^{-\frac{t}{T}}$$

Активность уменьшается со временем.



Ядерные реакции



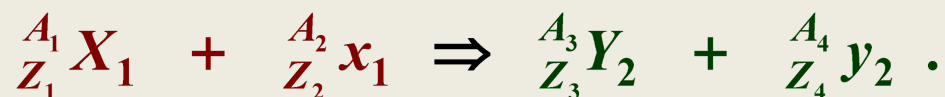
Первое искусственное превращение элементов — взаимодействие α -частицы с ядром азота, в результате которого образовались ядро кислорода и протон.

Ядерные реакции

– это превращения атомных ядер ${}_{Z_1}^{A_1}X_1$,
вызванное взаимодействием с элементарными частицами ${}_{Z_2}^{A_2}x_2$,
или с другими ядрами.

Образование новых ядер ${}_{Z_3}^{A_3}Y_3$
сопровождается испусканием элементарных частиц ${}_{Z_4}^{A_4}y_4$.

Ядерную реакцию можно представить так:



При ядерных реакциях **выполняются** следующие **законы сохранения**:

закон сохранения **массового числа**: $A_1 + A_2 = A_3 + A_4$,

закон сохранения **зарядового числа**: $Z_1 + Z_2 = Z_3 + Z_4$,

а также,

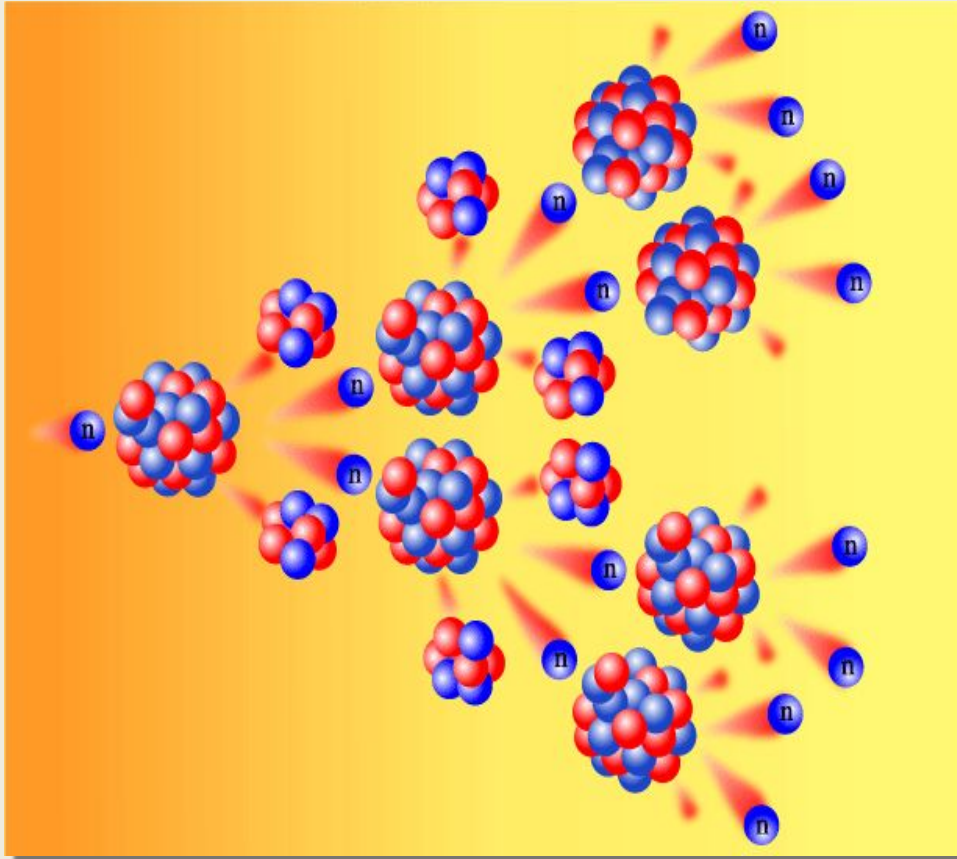
закон сохранения **энергии**,

закон сохранения **импульса**,

закон сохранения **момента импульса**.

Деление ядер урана

пример ядерной реакции.



Уран ${}_{92}^{235}\text{U}$, поглощая нейтрон, превращается в радиоактивный изотоп – уран **236**, который делится на стронций и ксенон, выделяя два-три новых нейтрона и энергию.

При поглощении нейтронов соседними ядрами урана возникает цепная реакция – взрыв.

По выделяемой энергии
1 грамм урана эквивалентен 3000000 г (3 т) угля.
1 тонна урана эквивалентна 3 000 000 тонн угля.

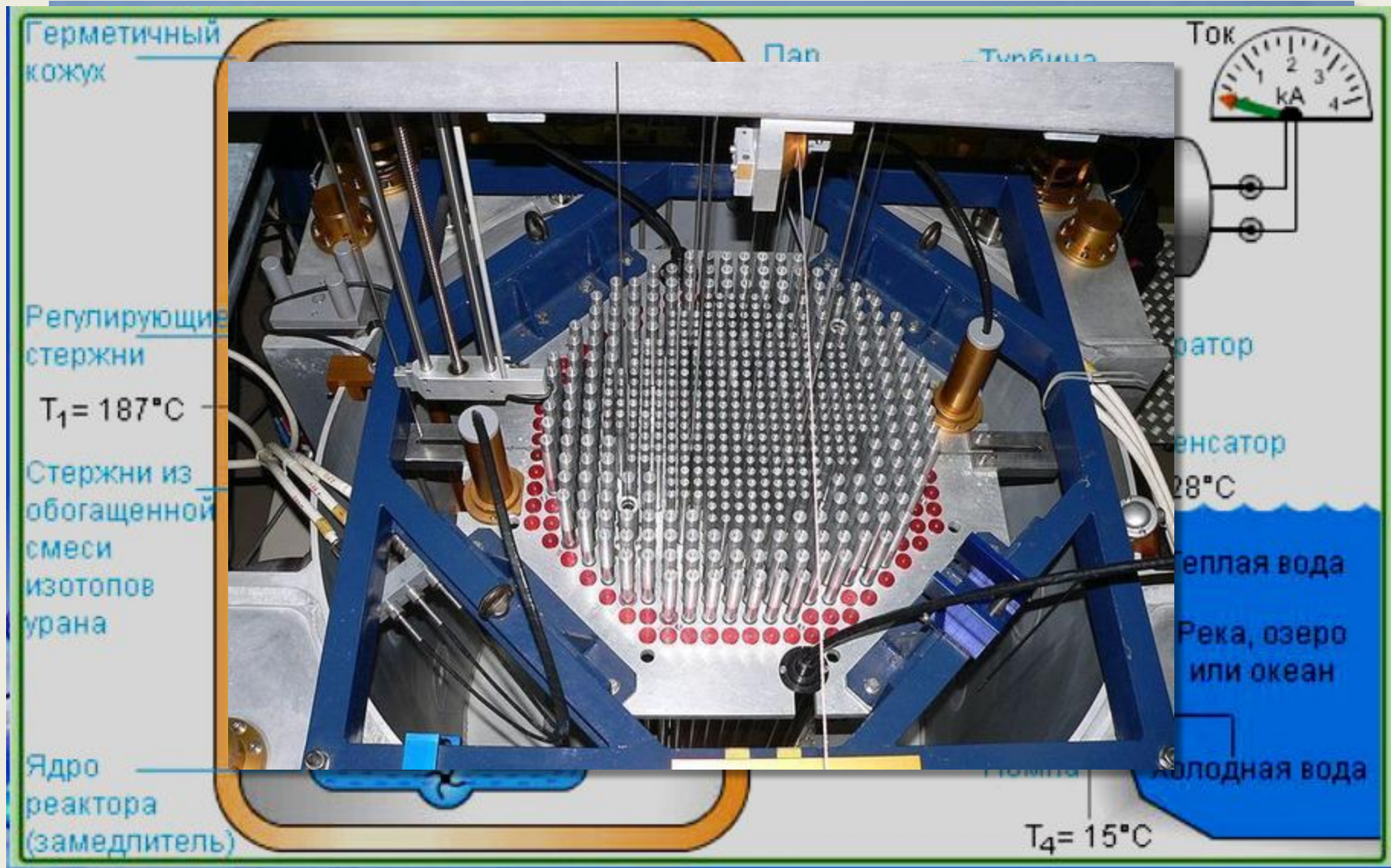
Критическая масса

это минимальное количество делящегося вещества, необходимое для начала самоподдерживающейся цепной реакции деления.

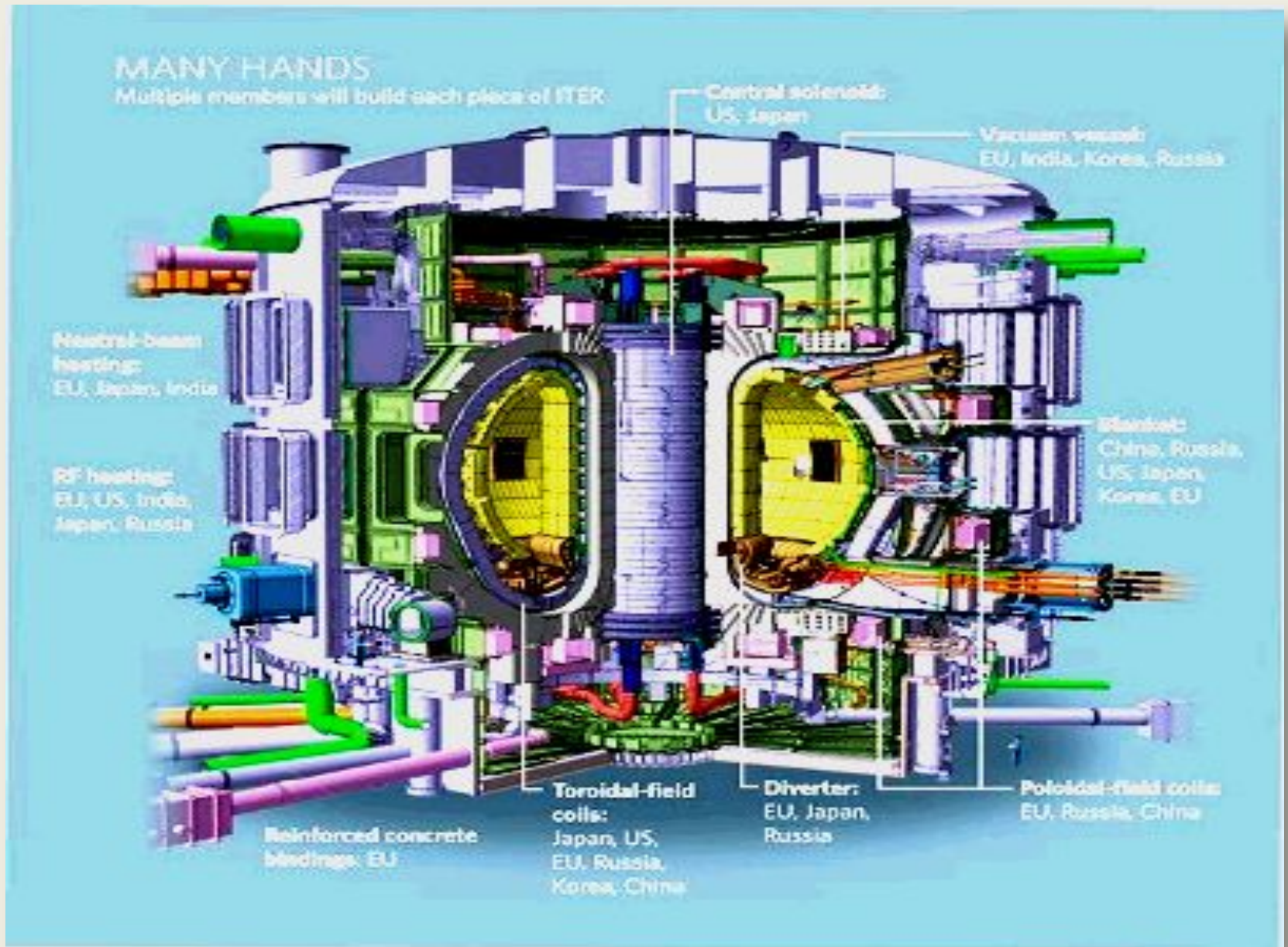
Например, для урана **235** критическая масса **0,8÷45 кг**.
Зависит от количества примесей, формы изделия, а также от окружения.

Ядерный реактор

устройство для управления цепной ядерной реакцией.



Термоядерная реакция



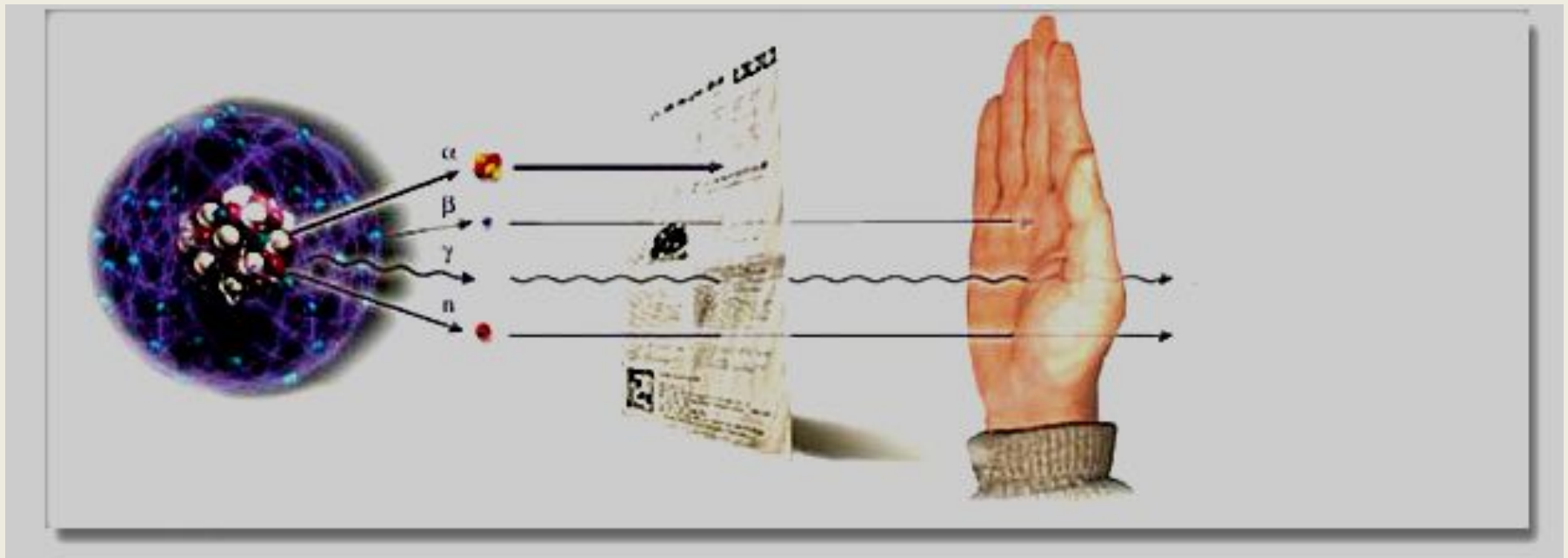
Биологическое действие радиоактивных излучений

объясняется ионизацией молекул клеток организма радиоактивными излучениями.

В клетках возникают мутации, что приводит к злокачественным образованиям и лучевой болезни.

Опасной для человека является доза облучения в **500 Р** (рентген) — без лечения 50% смертность.

Биологический эквивалент рентгена — **бэр**.



КОНЕЦ
«ФИЗИКА АТОМНОГО ЯДРА»
КОНЕЦ КУРСА ФИЗИКИ