

Элементы ядерной физики. Общие сведения о радиоактивном излучении.

1. Строение ядра, его основные характеристики.
2. Ядерные силы.
3. Альфа-, бета- и гамма-распад. Характеристики альфа-, бета- и гамма - излучения.
4. Биологическое действие ионизирующего излучения.
5. Ядерные реакции. Ядерный реактор
5. Виды распада ядер. Закон радиоактивного распада
5. Взаимодействие излучения с веществом.

К 20-м годам XX - атомы и атомные ядра,
имеют сложную структуру.

К настоящему времени - атомные ядра
различных элементов состоят из 2х частиц,
протонов и нейтронов.

- **Протон** – ядро атома водорода.

$$e_p \sim 1,6^{-19} \text{ Кл.}$$

Масса покоя:

$$m_p \sim 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1836 m_e = 1,007 \text{ а. е. м.}$$

Иногда - в значениях энергии ($E = mc^2$);

$$m_p \sim 938,27 \text{ МэВ.}$$

Спин протона: $\frac{1}{2}$ (фермион)

Нейтрон - Дж.Чедвик (1932 г.)

Масса покоя:

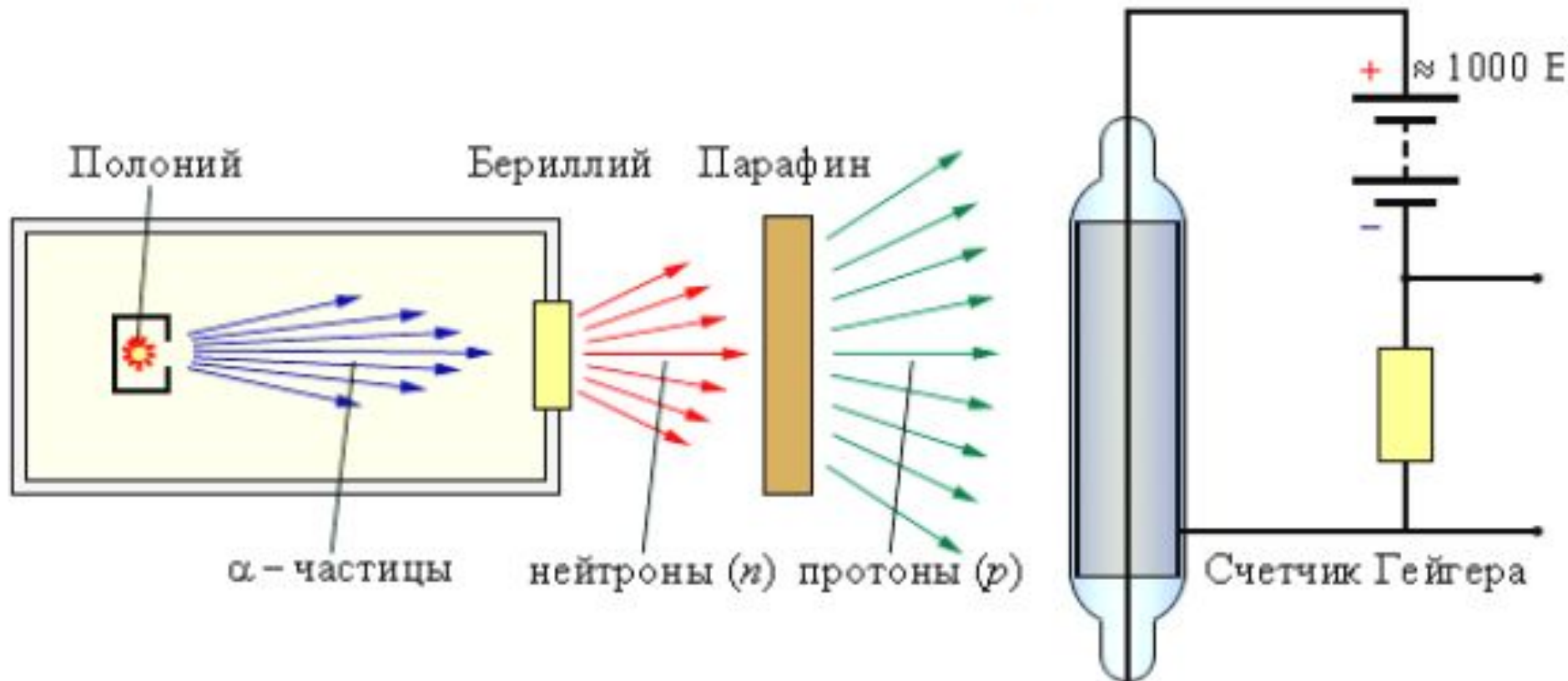
$$m_n \sim 1,674 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,008 \text{ а. е. м} = \\ = 939,56 \text{ МэВ. } (> m_p = 938,27 \text{ МэВ})$$

Не имеет заряда.

Спин нейтрона: $\frac{1}{2}$ (фермион) – не смотря на отсутствие заряда, так как в состав входят заряженные кварки.

Протоны и нейтроны - нуклоны.

Опыт Дж. Чедвика



Сильное проникающее излучение (нейтроны) возникает при бомбардировке **Be** α -частицами, испускаемыми радиоактивным **Po** (полоний).

Для характеристики атомных ядер

- **Z** - зарядовое число или атомный номер,
число протонов в ядре,
 Ze – заряд ядра,
 N - число нейтронов,
 $A = Z + N$ - массовое число,
 ${}^A_Z X$ - ядра химических элементов,
 X – химический символ элемента

В настоящее время известны ядра:

$$Z = 1 - 118$$

Описание атомного ядра

Обозначение	Определение
$\begin{matrix} A \\ Z \end{matrix} X$	<p>Пример:</p> $\begin{matrix} 16 \\ 8 \end{matrix} O$ <p>Массовое число (16 нуклонов)</p> <p>Зарядовое число (8 протонов)</p> <p>Число нейтронов $N = A - Z$. В ядре 8 нейтронов</p>

ИЗОТОПЫ - ядра одного хим. эл., отличаются числом нейтронов N .

У них $A = Z + N$ – разное.

Хим. элемент в природе - **смесь изотопов.**

Н-р, **у водорода 3 изотопа:**

${}^1\text{H}_1$ – протий, обычный водород, 1 протон,

${}^2\text{H}_1$ – дейтерий, 1 протон + 1 нейтрон,

${}^3\text{H}_1$ – тритий, 1 протон + 2 нейтрона

Углерод – **6** изотопов,
Кислород-**3** изотопа

Изобары - одинаковые A , но разные Z ,

Изотоны - одинаковые N , но разные Z и A .

Изотопы, изобары и изотоны - **нуклиды**.

Нуклиды	Примеры
Изотопы	${}^{10}_5B$ ${}^{11}_5B$
Изобары	${}^{210}_{82}Pb$ ${}^{210}_{83}Bi$
Изотоны	${}^{14}_7N$ ${}^{15}_8O$

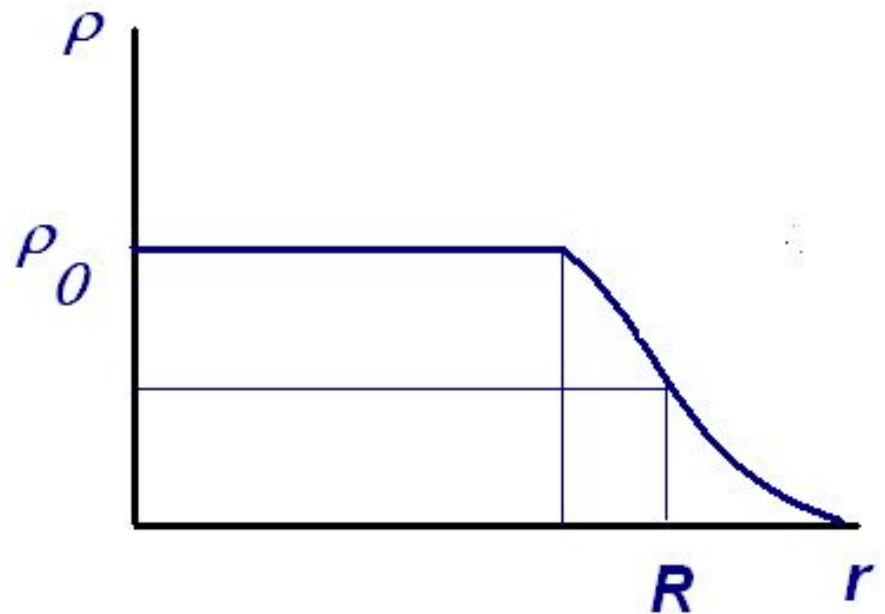
2300 ядер с разными Z , A и другими числами

**Радиусы ядер хорошо аппроксимируются
выражением.....**

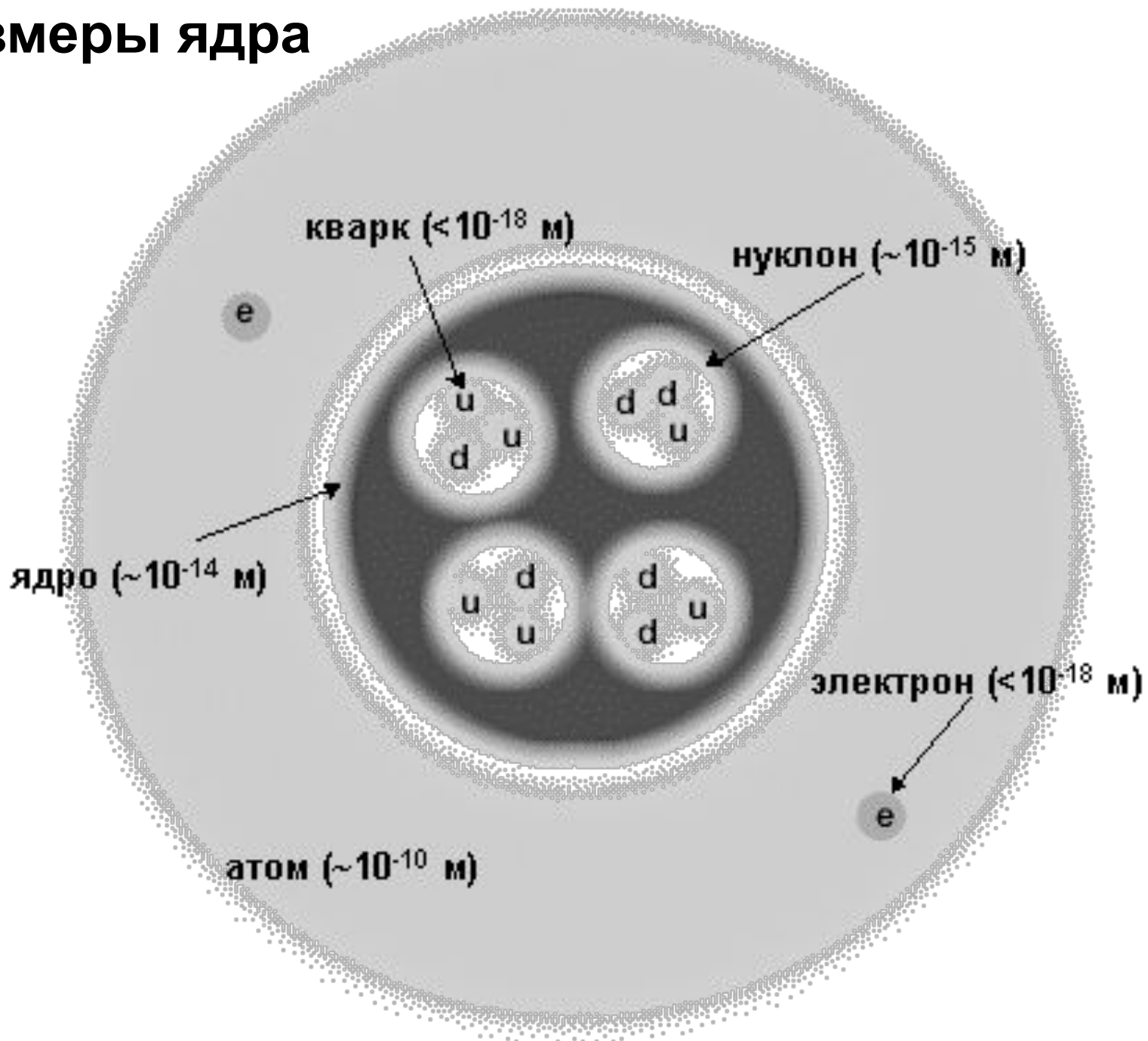
$$R = R_0 A^{\frac{1}{3}} \quad (6)$$

$$R_0 = (1,3 - 1,7)10^{-15} \text{ м}$$

**Плотность числа
нуклонов постоянна во
внутренней области ядра
и уменьшается до нуля
вблизи его поверхности.**



Размеры ядра



Энергия связи и масса ядер

- Масса ядра меньше суммы масс покоя составляющих нуклонов ($m_{\text{я}}$ - масса ядра)

$$m_{\text{я}} < Zm_p + (A - Z)m_n$$

m_p и m_n - массы покоя протона и нейтрона

Энергия связи ядра - минимальная энергия, необходимая для того, чтобы разделить ядро на составляющие его нуклоны (протоны и нейтроны).

$$E_{\text{св}} = (Zm_p + (A - Z)m_n - m_{\text{я}})c^2$$



Δm - дефект масс

(7)

Энергия, выделяющаяся при образовании ядра

Удельная энергия связи... на один нуклон:

$$E_{св}^{уд} = \frac{E_{св}}{A} = \frac{\Delta m}{A} c^2 \quad (8)$$

Для большинства ядер ≈ 8 МэВ

Для разрыва химической связи - в 10^6 раз меньше.

Наибольшая для тяжелых ядер $m > 50$.

Если ядро имеет наименьшую возможную энергию

$$-W_{min} = -W_{CB}$$

ОНО - В ОСНОВНОМ СОСТОЯНИИ.

Если ядро имеет энергию

$$W > W_{min},$$

ОНО - В ВОЗБУЖДЕННОМ СОСТОЯНИИ.

При $W = 0$

– расщепление ядра на составляющие его нуклоны.

Аналогично энергии связи электрона в атоме!

Ядерные силы (ЯС)

Протоны и нейтроны связаны в ядре **ядерными силами**.



Большая плотность ядерного вещества
($\sim 10^{17}$ кг/м³).

В ядре реализовано самое интенсивное из всех видов –
т.н. **сильное взаимодействие**.

ЯС притяжения между нуклонами
в сотни раз больше
электромагнитных сил отталкивания (протоны в ядре).

ЯС:

- 1) силы притяжения;
- 2) короткодействующие, радиус действия $\sim 10^{-15}$ м;
на меньших расстояниях - отталкивание;
- 3) не зависят от заряда, одинаковы между двумя любыми нуклонами ($n - p, p - p, n - n$), имеют незлектрическую природу;
- 4). свойственно насыщение (каждый нуклон в ядре взаимодействует только с ограниченным числом ближайших нуклонов).

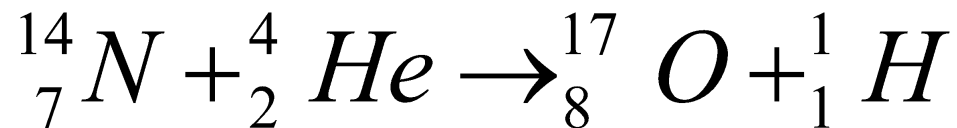
Полное насыщение ядерных сил достигается у
 α – частицы

**5) зависят от взаимной ориентации спинов
взаимодействующих нуклонов.**

6) не являются центральными.

Ядерные реакции (ЯР)

- Ядерная реакция - превращение атомных ядер при взаимодействии с протонами, нейтронами, α -частицами, ионами и γ -квантами, или друг с другом.
Впервые - Э. Резерфорд, при прохождении α -частиц через газ азот.

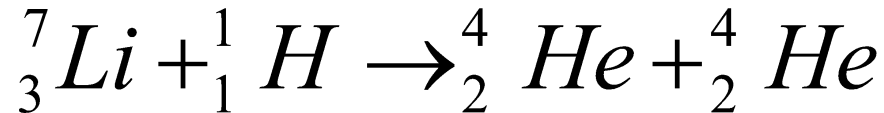


${}_{2}^{4}\text{He}$ – α – частица

${}_{1}^{1}\text{H}$ – протий, протон

В результате ЯР - новые радиоактивные изотопы, в том числе, которых нет в естественных условиях

Первая **ЯР** (1932 г.) - при бомбардировке протонами большой энергии, полученных на ускорителе:



Наиболее интересны для практики – ЯР при взаимодействии ядер с нейтронами.

(лишены заряда, свободно проникают в атомные ядра и вызывают их превращения).

Э. Ферми : ЯР вызываються не только быстрыми, но и медленными нейтронами движущимися с тепловыми скоростями.

В любой ядерной реакции выполняются: законы сохранения :

1) электрических зарядов и массовых чисел:

Равны до и после реакций

2) энергии,

3) импульса,

4) момента импульса.

Важный параметр ЯР – **энергетический выход ЯР**:
разность суммы масс покоя продуктов до реакции
(m) и после нее (m'):

$$\Delta Q = \left(\sum m - \sum m' \right) c^2 = \Delta m c^2 \quad (1)$$

ЯР могут быть:

$$\Delta Q < 0$$

эндотермические (с поглощением энергии):
 $\Delta m < 0$

$$\Delta Q > 0$$

экзотермические (с выделением энергии),
 $\Delta m > 0$

Для понимания!!! **Полная энергия в ЯР сохраняется!**

$$E_0 + K = E'_0 + K'$$

E_0 и E'_0 , K и K' — энергии покоя и кинетические энергии продуктов до и после **ЯР**.

Убыль суммарной энергии покоя = приращению суммарной кинетической энергии и наоборот.

Это и есть ΔQ :

$$E_0 - E'_0 = K' - K = \Delta Q$$

ЯР с $Q > 0$ - с выделением энергии, кинетической), **$K' > K$**

ЯР с $Q < 0$ - с поглощением..... , **$K' < K$**

Порог ядерной реакции

Эндотермические (с поглощением энергии) ЯР возможны при ударе ядра частицей с пороговой кинетической энергией

(с меньшей ЯР невозможны):

(1)

$$E_{\text{пороговая}} = \frac{m_{\text{я}} + m}{m_{\text{я}}} |\Delta Q| \quad (2)$$

$m_{\text{я}}$ – ядро – мишень

m – налетающая (ядро, частица, γ – квант)

Эффективное сечение σ ЯР.

σ – характеризует вероятность того, что при падении пучка частиц на вещество произойдёт ЯР

$$[\sigma] - (1\text{барн} = 10^{-28} \text{ м}^2).$$

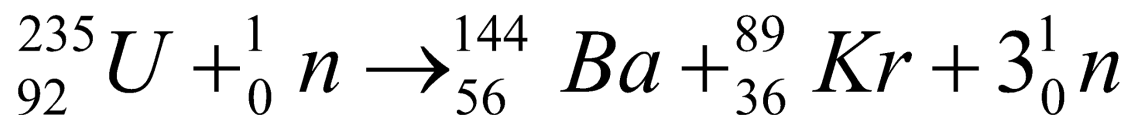
σ интерпретируется как площадь сечения ядра X , попадая в которую налетающая частица вызывает ЯР.

Возможны два принципиально различных способа освобождения ядерной энергии:

- 1) Реакция деления ядер тяжелых элементов**
- 2) Реакция синтеза ядер легких элементов
(термоядерный синтез)**

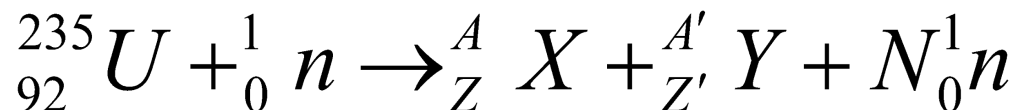
Реакция деления тяжелых ядер - нестабильное ядро делится на два крупных фрагмента сравнимых масс.

В 1939 г. О. Ганом и Ф. Штрассманом было открыто деление ядер урана ($^{235}_{92}\text{U}$ - сейчас основной интерес для энергетики)



Тепловой нейтрон с энергией $\sim 0,1$ эВ освобождает энергию
 $\Delta Q \sim 200$ МэВ > 0

Реакция в общем виде...



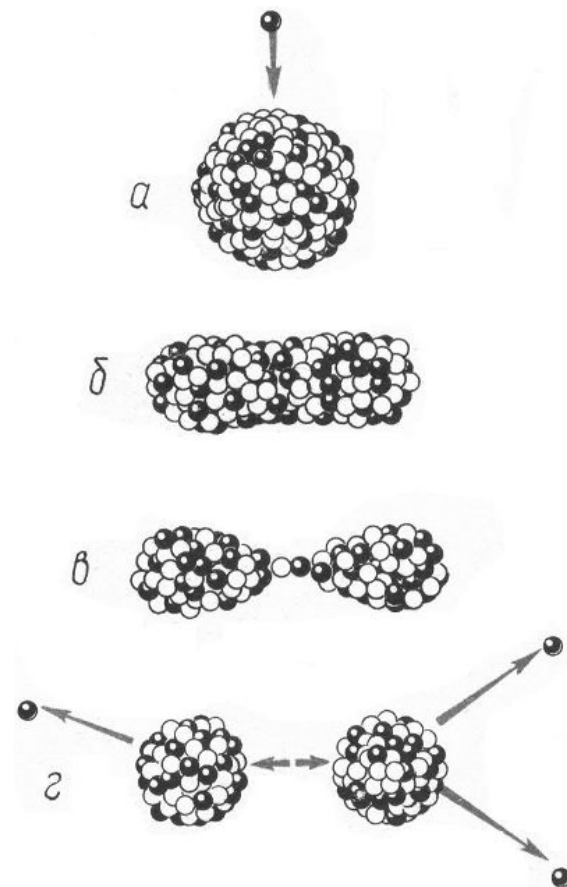
$N = 2, 3;$

До 100 изотопов в ходе реакции...

Объяснение в капельной модели..

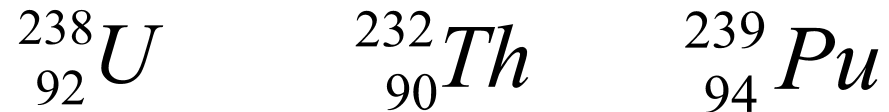
- Избыточная энергия ($>$ энергии активации) при поглощении нейтрона ядром переводит его в возбужденное состояние \rightarrow движение нуклонов \rightarrow деформация ядра \rightarrow ослабление ядерных сил \rightarrow деление с нейтронным осколком.

Если изб. энергия $<$ эн. актив. \rightarrow
ядро в исходное состояние
испустив γ – квант

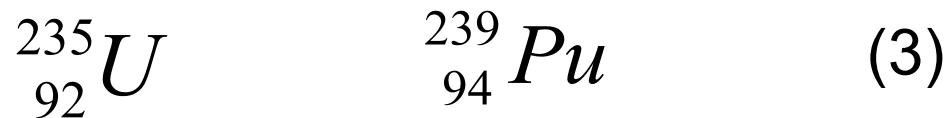


В процессе деления ядро изменяет форму : шар, эллипсоид, гантель, два грушевидных осколка, два сферических осколка.

Нейтроны с энергией ~ 1 МэВ и выше, вызывают деление ядер урана, тория, плутония и др:



Эти ядра делятся нейтронами любых энергий, но особенно эффективно медленными нейтронами:

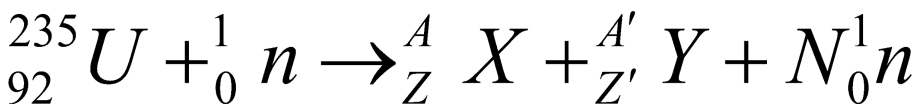


Уран в природе - в виде двух изотопов:

${}^{238}U$ (99,3 %) и ${}^{235}U$ (0,7 %).

Ядерное сырье - ${}^{235}U$.

Необходим процесс обогащения урана изотопом ${}^{235}U$.



- Продукты деления ядра ${}^{235}\text{U}$ нестабильны: в них содержится избыточное число нейтронов.

При делении ядра ${}^{235}\text{U}$ + 2 или 3 нейтрона.
Они могут попасть в другие ядра ${}^{235}\text{U}$ - вызывают их деление.

Появятся 4 - 9 нейтронов - новые распады ядер ${}^{235}\text{U}$ и т. д.

Лавинообразный процесс деления ядер - **цепная реакция.**

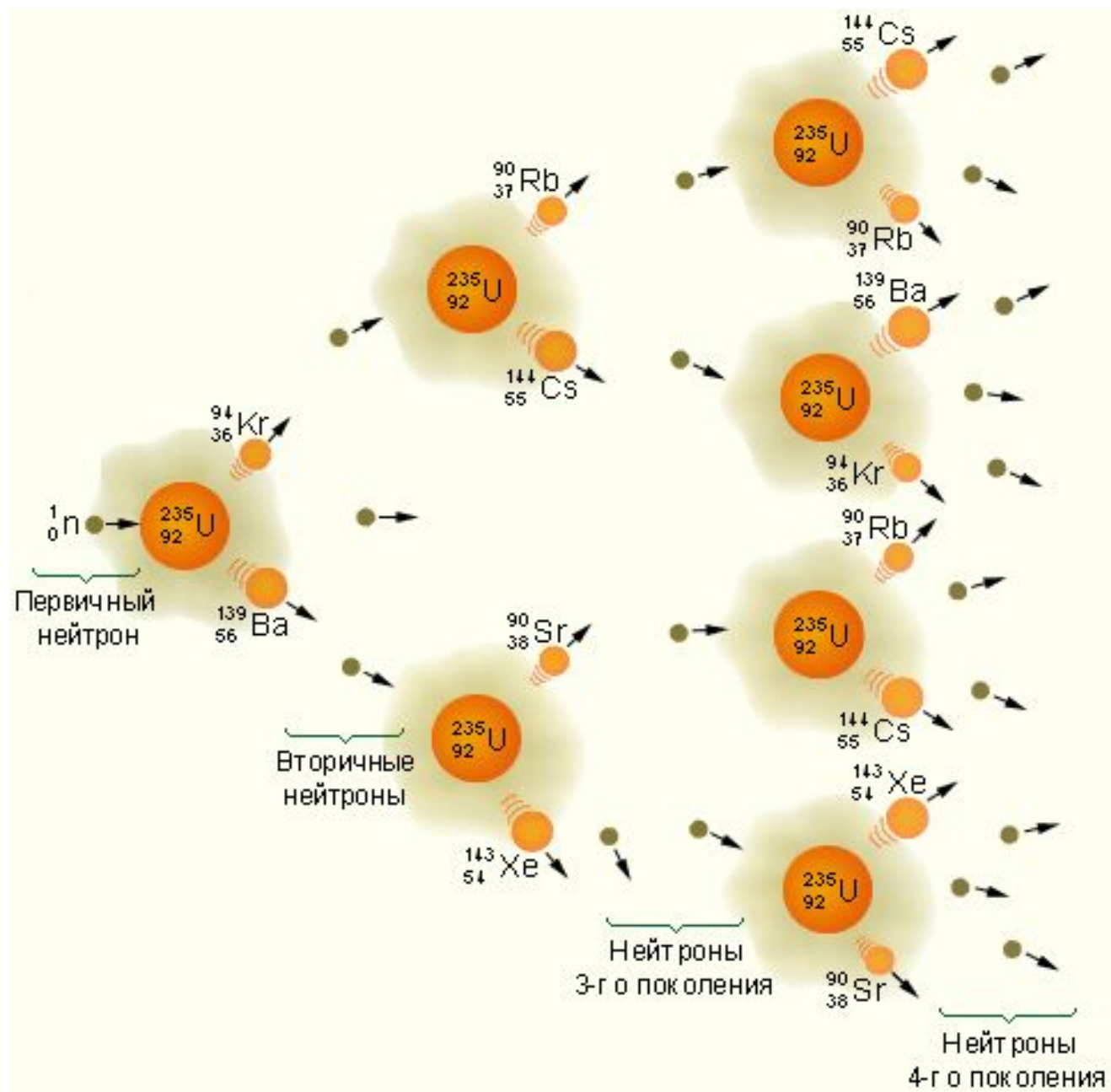
Для **ЦР** - коэффициент размножения нейтронов д.б. $k > 1$

ЦР в уране с повышенным содержанием ^{235}U развивается, когда масса урана превосходит **критическую массу**.

В небольших кусках U большинство нейтронов, не попав ни в одно ядро, вылетают наружу.

Для чистого ^{235}U - 50 кг.

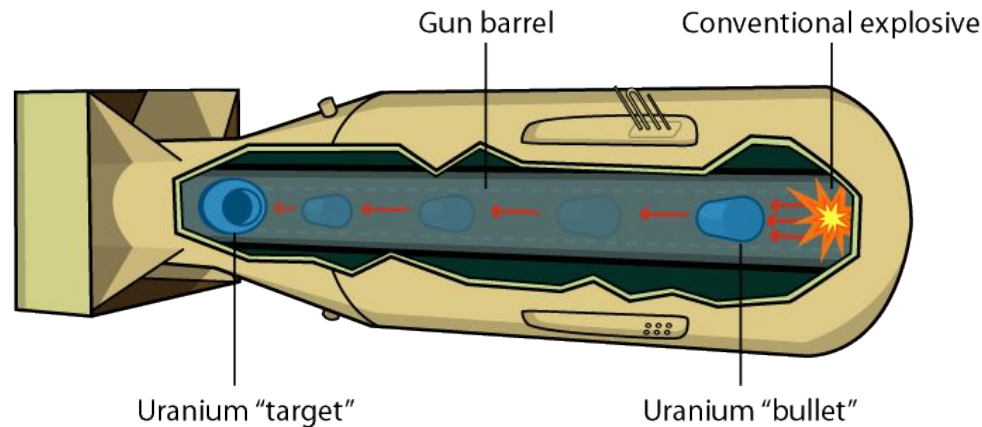
~250 г - применение замедлителей нейтронов (н-р, тяжелая вода D_2O , графит) и оболочки из Be , которая отражает нейтроны.



ЦР: **управляемые и неуправляемые.**

Взрыв атомной бомбы - неуправляемая реакция.

Чтобы атомная бомба при хранении не взорвалась, в ней ^{235}U или ^{239}Pu (плутоний) делятся на две удаленные части с массами ниже критических. С помощью обычного взрыва массы сближаются



При полном делении всех ядер в 1 г ^{235}U , выделяется энергия, как и при сгорании 3 т угля или 2,5 т нефти.

Ядерный (или атомный) реактор - устройство, в котором поддерживается управляемая ЦР.

Это тепловая машина.

Выделение тепла - за счет экзотермической реакции деления ядер.

1 МВт мощности - $3 \cdot 10^{16}$ актов деления ядер в секунду.

Первый ядерный реактор был построен в 1942 г. в США под руководством Э. Ферми.

В СССР - в 1946 г.- под руководством И. В. Курчатова.

Активная зона - основная часть реактора, в ней протекает ЦР и выделяется энергия. Объем АЗ - от **0,0n** литра до **n10 м³** (в больших тепловых реакторах).

**Активная зона реактора на
тепловых нейтронах**

(с энергией 0,0n эВ) состоит из:

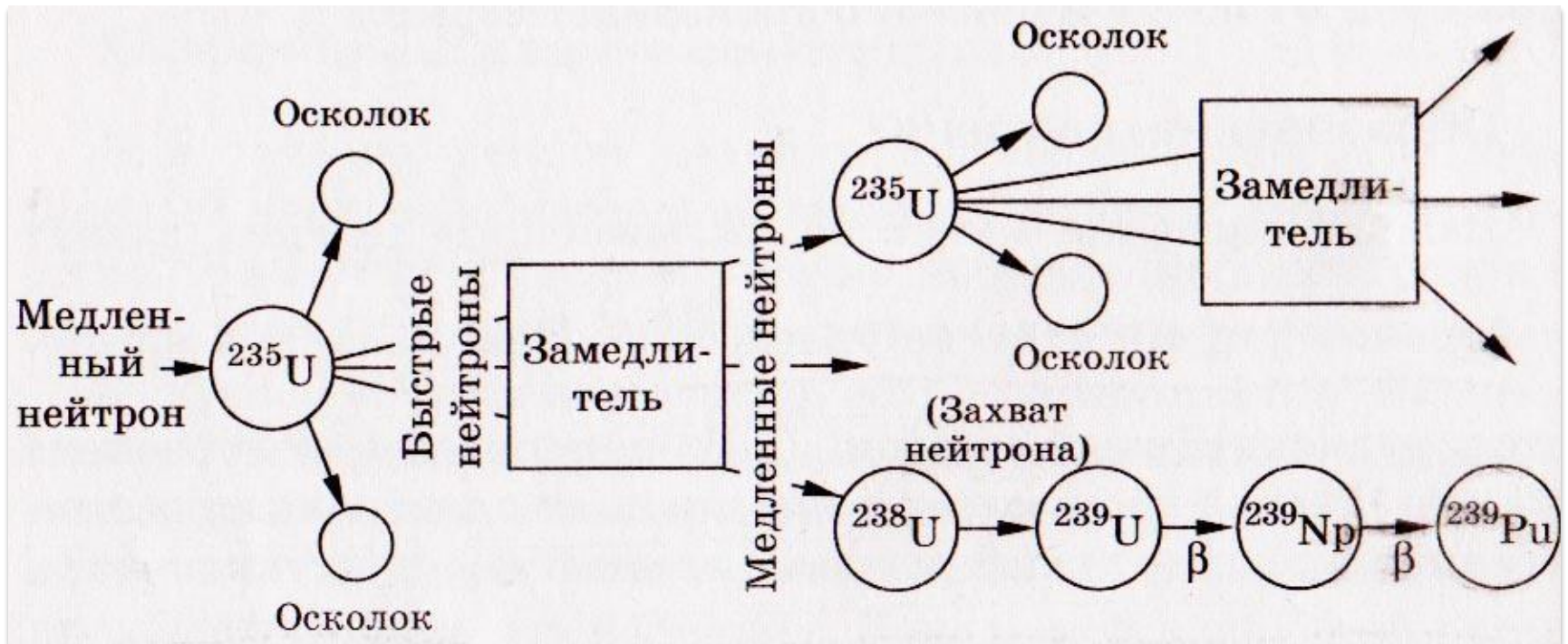
ядерного топлива (**²³⁵U**, даже слабо обогащ. **U**),

замедлителя (вода, графит, **Be**),

теплоносителя (н-р, вода, для отвода тепла на парогенератор.... пар.....на турбину....электроэнергия),

конструкционных материалов с малым сечением захвата нейтронов (**Al, Mg, Zr** и др).

Замедлитель: для снижения энергии вторичных и т.д. быстрых нейтронов до тепловых, т. к. именно они эффективно продолжают взаимодействие с ^{235}U .



**Управление реактором - при помощи регулирующих стержней, содержащих *Cd* или *B*.
(*k*- коэффициент размножения нейтронов)**

При выдвинутых из АЗ стержнях $k > 1$.

При полностью вдвинутых стержнях $k < 1$.

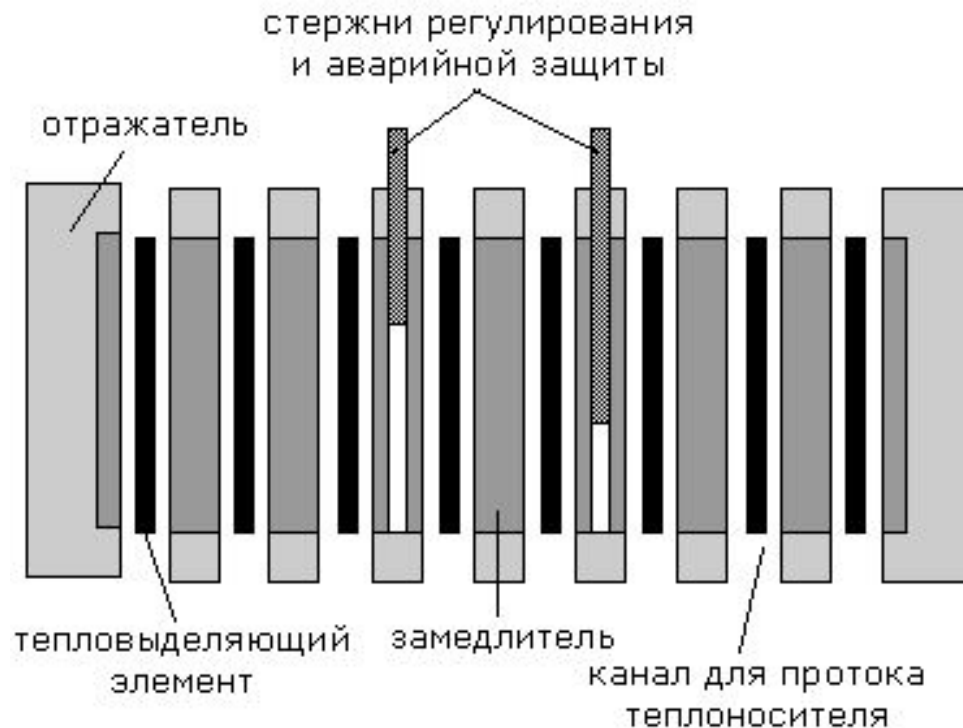
Вдвигая стержни внутрь АЗ можно в любой момент времени приостановить развитие ЦР.

Модели ядерных реакторов :

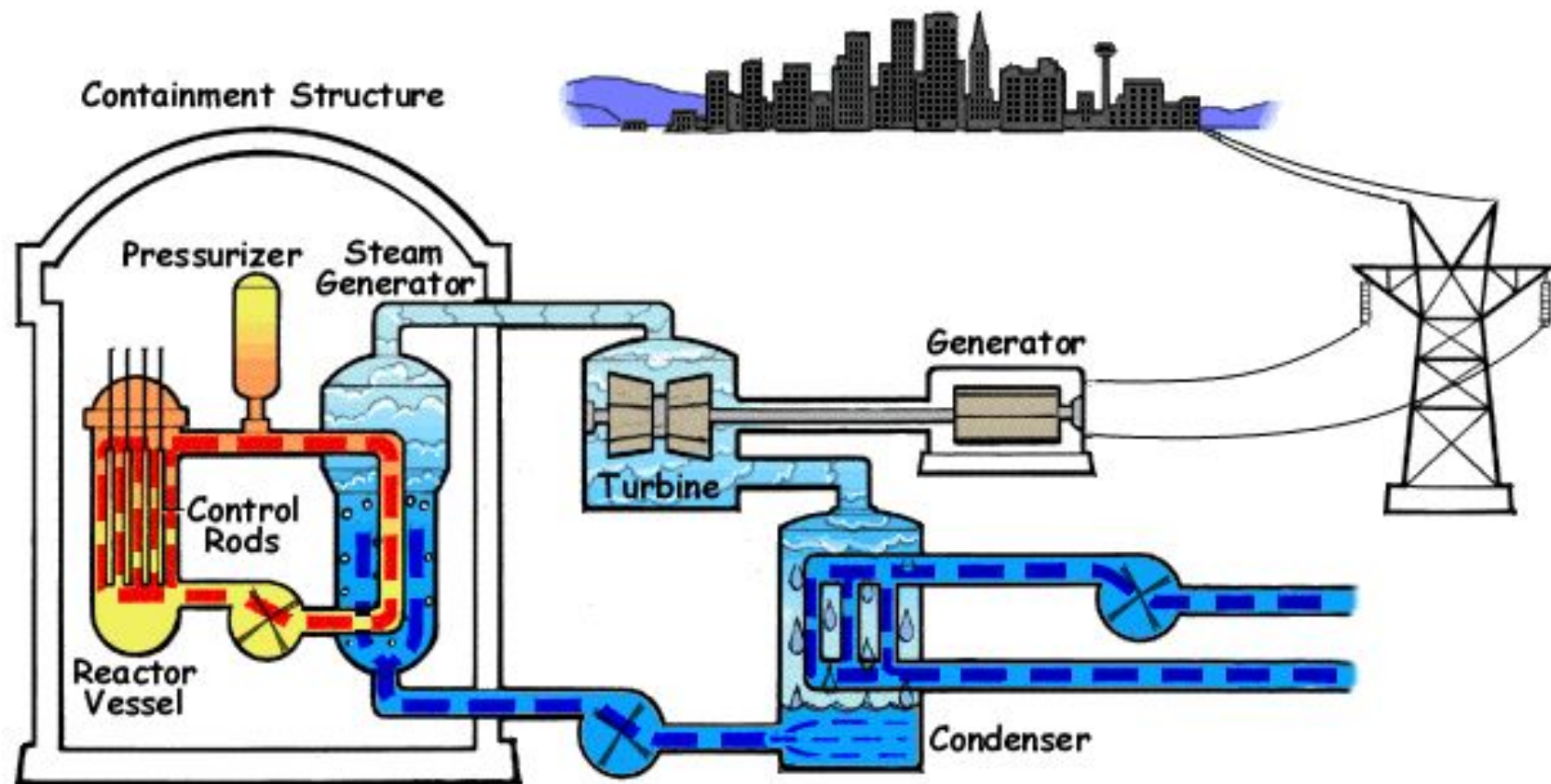
-

Гомогенные реакторы (в АЗ - смесь ядерного топлива и замедлителя).

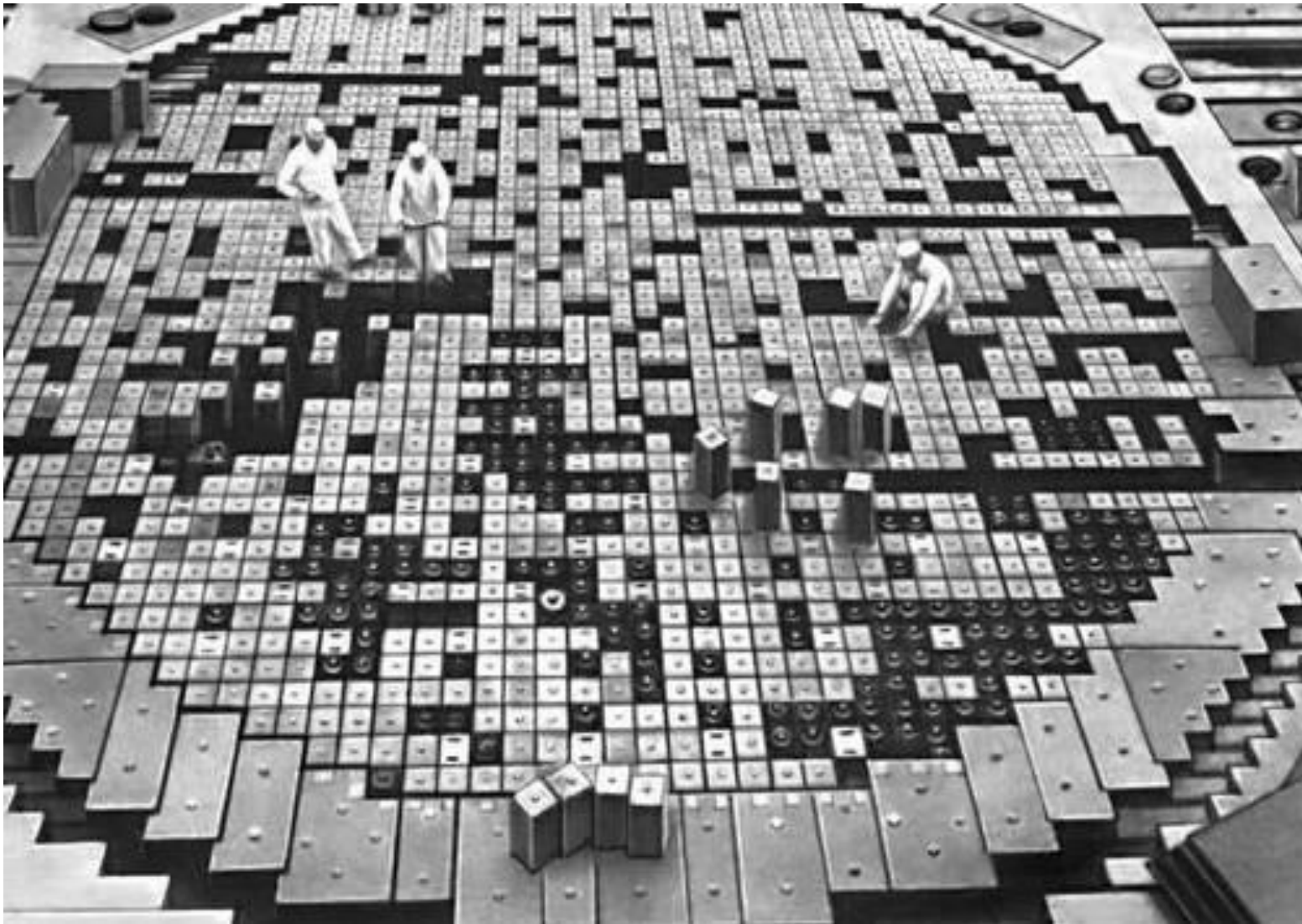
Гетерогенные реакторы – в АЗ замедлитель, в который помещаются кассеты с ядерным топливом - тепловыделяющие элементы (ТВЭЛы). Энергия выделяется в ТВЭЛах.



Реакторы типа **ВВРд** (PWR)- **водоводяной** реактор (строится в Беларуси)



Сборка гетерогенного реактора



В гетерогенном реакторе ядерное топливо распределено в активной зоне дискретно в виде блоков, между которыми находится замедлитель нейтронов



ЯВЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ

- 1. Радиоактивность атомных ядер.**
- 2. Виды распада ядер. Закон радиоактивного распада.**
- 3. Взаимодействие излучения с веществом.**
- 4. Дозы и биологическое действие ионизирующего излучения**

Радиоактивность - способность нестабильных ядер самопроизвольно превращаться в другие ядра с испусканием радиоактивного излучения.

Естественная радиоактивность - у существующих в природе неустойчивых изотопов.

Искусственная радиоактивность – у изотопов, полученных в результате ЯР.

Оба явления подчиняется одним и тем же законам.

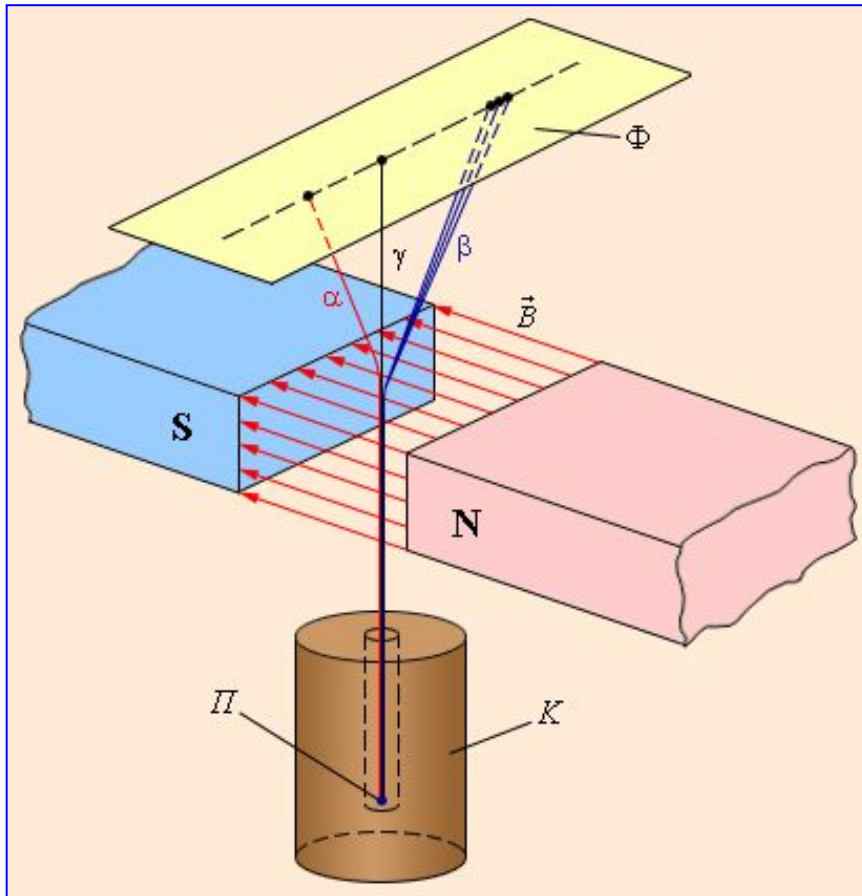
Впервые А. Беккерель (1896 г.) обнаружил, что соли урана испускают неизвестное излучение, проникающее через непрозрачные для света преграды и вызывают почернение фотоэмульсии.

М. и П. Кюри (1898 г.) обнаружили радиоактивность тория и открыли 2 новых радиоактивных элемента – полоний и радий.

Э. Резерфорд, его ученики и др. далее исследовали природу радиоактивных излучений

.....радиоактивные ядра могут испускать частицы
трех видов: положительно и отрицательно
заряженные и нейтральные.....

α - , β - и γ -излучения



**В магнитном поле:
 α – и β –лучи
отклоняются в
противоположных
направлениях, причем
 β -лучи - больше.
 γ -лучи не отклоняются.**

**К – свинцовый контейнер, П – радиоактивный
препарат, Ф – фотопластинка.**

Материнское ядро – испытывает радиоактивный распад.

Дочернее ядро - возникающее,

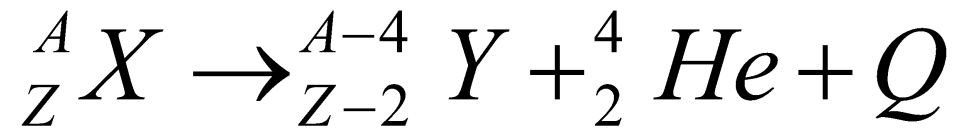
как правило, возбужденное, его переход в основное состояние происходит с испусканием

γ -фотона

Основные типы радиоактивности

Альфа-распад

- Сильное проникающее излучение возникает при бомбардировке **Be** α -частицами, испускаемыми радиоактивным **Pu** (полоний).



X — материнское ядра, Y — дочернее,
 Q — возможная избыточная энергия

Например:



При α -распаде массовое число **A** дочернего ядра уменьшается на 4, а зарядовое число **Z** - на 2

Только тяжелые ядра испускают α -частицы.

Их кинетическая энергия -- **несколько МэВ** - избыток энергии покоя материнского ядра над суммой энергий покоя дочернего ядра и α -частицы,

Пробег в воздухе при н.у. -- несколько см

α -частицы м.б с дискретными значениями энергий - ядра могут находиться, подобно атомам, в разных возбужденных состояниях.

Дочернее ядро - **в возбужденном** состоянии \rightarrow переход в **основное** состояние с испусканием γ -кванта

Основной закон радиоактивного распада

- Закономерности радиоактивном распаде носят вероятностный характер и выполняются тем точнее, чем больше число радиоактивных ядер.

В теории α -распада \rightarrow внутри материнского ядра может «образоваться» α -частица.

«Дочернее ядро» - еще в материнском ядре.

Пусть ядра распадаются независимо друг от друга.

λ - постоянная распада - вероятность распада ядра в единицу времени.

Смысл λ : из N нестабильных ядер в единицу времени распадается в среднем λN ядер.

К моменту времени $t + dt$ число радиоактивных ядер уменьшится на

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

Проинтегрируем (1), считая, что λ не зависит от времени.

$$\int_{N_0}^N \frac{dN}{N} = - \int_0^t \lambda dt$$

Н-р, у водорода 3 изотопа:

${}^1\text{H}_1$ – протий, обычный водород, 1 протон,

${}^2\text{H}_1$ – дейтерий, 1 протон + 1 нейтрон,

${}^3\text{H}_1$ – тритий, 1 протон + 2 нейтрона

Углерод – 6 изотопов,
Кислород – 3 изотопа

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

$$N(t) = N_0 e^{-\lambda t} \quad (2)$$

$N(t)$ — число нераспавшихся ядер в момент времени t .

N_0 — число нераспавшихся при $t = 0$.

(2) - **Закон радиоактивного распада:** число нераспавшихся ядер убывает с течением времени по экспоненциальному закону.

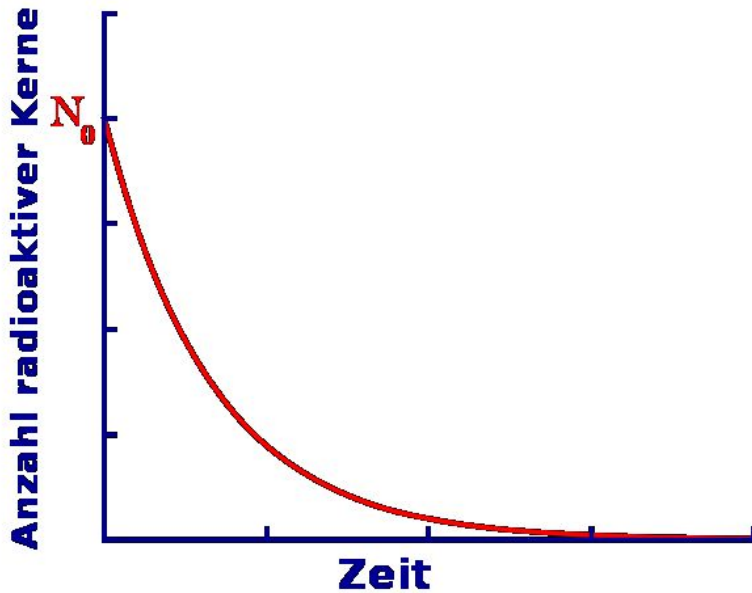
Число распавшихся ядер за время t :

$$N_0 - N(t) = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (3)$$

Среднее время жизни материнского ядра

$$\tau = \frac{1}{\lambda} \quad (4)$$

$$N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (2) \approx (5)$$



m_p И m_n - МАССЫ ПОКОЯ
протона и нейтрона

5) зависят от взаимной ориентации спинов взаимодействующих нуклонов.

Н-р, p и n образуют дейтрон (ядро изотопа) только при условии параллельной ориентации их спинов;

6) не являются центральными.

$$\frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\frac{T_{1/2}}{\tau}} \quad (4)$$

$$T_{1/2} = 0,693\tau$$



ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА $T_{1/2}$ НЕКОТОРЫХ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ (ВЫБОРОЧНО)

Z		A	$T_{1/2}$
1	Водород	3	12,3 лет
6	Углерод	14	5730 лет
7	Азот	13	10 мин
8	Кислород	15	124 с
11	Натрий	22	2,6 лет
		24	15 ч
15	Фосфор	32	14,3 сут.
16	Сера	35	87сут.
17	Хлор	36	3-10 ⁵ лет
		38	38 мин

86	Радон	222	3,83 сут.
88	Радий	226	1601 год
90	Торий	232	$1,41 \cdot 10^{10}$ лет
91	Протактиний	231	$3,25 \cdot 10^4$ лет
		233	27,4 сут.
92	Уран	233	$1,6 \cdot 10^5$ лет
		234	$2,5 \cdot 10^5$ лет
		235	$7,1 \cdot 10^8$ лет
		238	$4,5 \cdot 10^9$ лет
93	Нептуний	237	$1,15 \cdot 10^5$ лет
		239	2,3 сут.
94	Плутоний	239	$2,44 \cdot 10^4$ лет

- 1) силы притяжения;
- 2) короткодействующие, радиус действия $\sim 10^{-15}$ м; на меньших расстояниях - отталкивание;
- 3) не зависят от заряда, одинаковы между двумя любыми нуклонами ($n-p, p-p, p-n, n-n$), имеют незлектрическую природу;
- 4). свойственно насыщение (каждый нуклон в ядре взаимодействует только с ограниченным числом ближайших нуклонов).

...это - число распадов, происходящих в нем в единицу времени.

$$A = \frac{dN}{dt} \quad \leftarrow \quad N = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (3)$$

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \left(\frac{N_0}{\tau} \right) e^{-\frac{t}{\tau}} = \lambda N$$

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

τ (4) - среднее время жизни материнского ядра

- **Единица активности (СИ) - беккерель (Бк),
один распад в секунду.
Внесистемная единица - кюри (Ки),
активность 1 г изотопа радия
(1 Ки = 3,7*10¹⁰ Бк).**

**Удельная активность- активность единицы массы
радиоактивного препарата:**

$$a = \frac{A}{m}$$

Бета-распад (β – распад)

- Самопроизвольный процесс, внутриядерное превращение нейтрона в протон, или протона в нейтрон, а также свободного нейтрона в протон.

β -распад реализуется путем испускания:

а) электрона

б) позитрона

и к ним + электронные антинейтрино (а) и нейтрино (б)

$$\bar{\nu}_e$$
$$\nu_e$$

в) захватом электрона из К- оболочки атома.

Три разновидности β – распада

- 1). Электронный β^- - распад,
ядро испускает электрон и зарядовое число ядра:

$$Z \rightarrow Z + 1;$$

- 2). Позитронный β^+ - распад,
ядро испускает позитрон и зарядовое число ядра:

$$Z \rightarrow Z - 1;$$

- 3). **K - захват**,

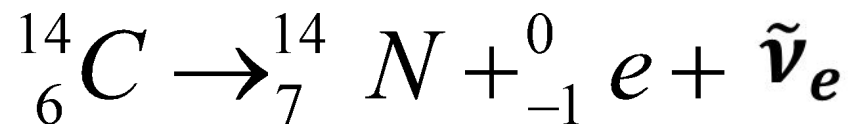
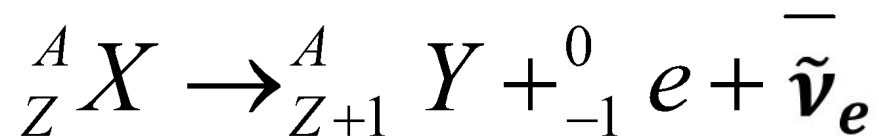
ядро захватывает один электрон из из K-оболочки атома и зарядовое число ядра:

$$Z \rightarrow Z - 1;$$

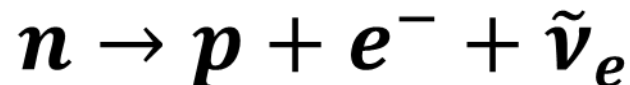
На пустое место в K-оболочке переходит электрон с другой оболочки, и поэтому **K - захват** всегда сопровождается характеристическим рентгеновским излучением.

Электронный β^- - распад

Электрон: $Z = -1$ и массовое число $A = 0$, чтобы выполнить законы сохранения заряда и числа нуклонов в процессе распада.



В основе электронного β^- - распада - превращение в ядре нейтрона в протон:



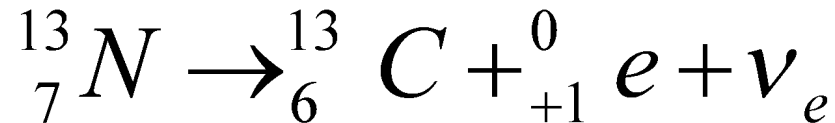
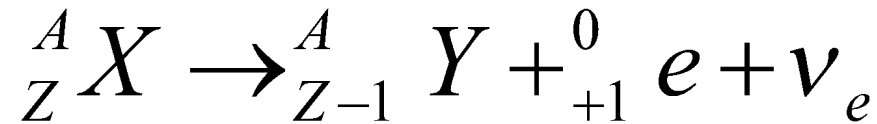
Важный параметр ЯР – энергетический выход ЯР:
разность суммы масс покоя продуктов до реакции
(m) и после нее (m'):

- **Дочернее ядро при β^- - распаде может быть в возбужденном состоянии. При переходе ядра в основное - испускается γ -квант, аналогично α – распаду.**

2. Позитронный β^+ - распад.

Позитрон: $Z = +1$ и массовое число $A = 0$

Ядро испускает позитрон, в результате чего его $Z \rightarrow Z - 1$. Происходит по схеме.....



Для понимания!!! Полная энергия в ЯР сохраняется!

E_0 и E'_0 , K и K' — энергии покоя и кинетические энергии продуктов до и после ЯР.

Убыль суммарной энергии покоя = приращению суммарной кинетической энергии и наоборот.

Это и есть ΔQ :

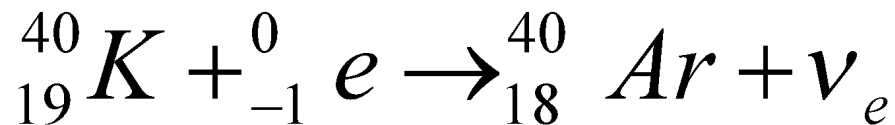
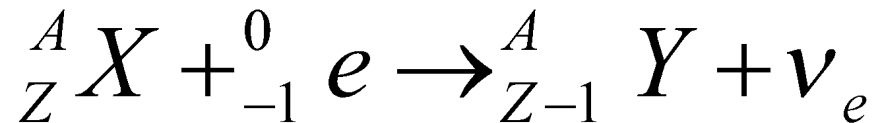
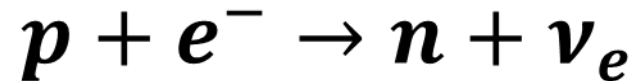
ЯР с $Q > 0$ - с выделением энергии, кинетической), $K' > K$

$$E_0 - E'_0 = K' - K = \Delta Q$$

Позитронный β^+ - распад сопровождается испусканием
позитрона e^+ и нейтрино ν_e , - античастиц,
по отношению к частицам в электронном β^- - распаде.

К-захват

При захвате ядром электрона
(с электронной К-оболочки)
происходит превращение одного из протонов ядра в
нейтрон, что сопровождается испусканием нейтрино:



Гамма-излучение (γ -излучение)

- Коротковолновое эл.магн. излучение, испускаемое ядрами при переходе из возбужденного состояния в состояние с меньшей энергией.

Ядро - квантовая система с дискретным набором энергетических уровней,

потому спектр γ -излучения - дискретен.

Энергия γ -квантов E_γ , испускаемых различными ядрами:

$$10 \text{ кэВ} \leq E_\gamma \leq 5 \text{ МэВ.}$$

$$\text{Длина волны: } 2 \cdot 10^{-13} \text{ м} \leq \lambda \leq 10^{-10} \text{ м.}$$

- **Испускание γ -излучения - внутриядерный процесс.**

γ -излучение сопровождает α - и β -распады ядер, при переходе дочернего ядра из возбужденного в основное состояние

Среднее время жизни ядра в возбужденном состоянии различно для разных ядер

$$**10^{-15} \text{ с} \leq \tau_n \leq 10^{-7} \text{ с.}**$$

За это время ядро переходит на более низкий энергетический уровень, испуская γ -излучение.

Взаимодействие излучения (α -, β -, γ -) с веществом –

Уран в природе - в виде двух изотопов:

^{238}U (99,3 %) и ^{235}U (0,7 %).

Ядерное сырье - ^{235}U .

Необходим процесс обогащения урана изотопом ^{235}U .

**Характер взаимодействия излучения с веществом
зависит от:**

**его вида, энергии, плотности потока, а также от
физических и химических свойств самого вещества.**

**Продукты деления ядра ^{235}U нестабильны: в них
содержится избыточное число нейтронов.**

**При делении ядра ^{235}U + 2 или 3 нейтрона.
Они могут попасть в другие ядра ^{235}U - вызывают их
деление.**

**Появятся 4 - 9 нейтронов - новые распады ядер ^{235}U и
т. д.**

**Лавинообразный процесс деления ядер - **цепная
реакция.****

Для **ЦР - коэффициент размножения нейтронов
д.б. $k > 1$**

Упругое рассеяние частиц ИИ– процесс столкновения частицменяются только их импульсы, а внутреннее состояния остаются неизменным.

Неупругое рассеяние частиц ИИ приводит к изменению их внутреннего состояния, превращению в другие частицы или дополнительному рождению новых частиц.

Пробег R - минимальная толщина в-ва в направлении скорости частиц ИИ до их остановки или полного поглощения в-вом.

**Пробег α - частиц - очень мал:
сотые доли мм - в биологических средах;
2,5 - 8 см - в воздухе;
несколько мкм - в живой ткани.**

α -частицы приводят к большей линейной плотности ионизации.

Вдоль их короткого пути - большое число ионов.

При полном делении всех ядер в 1 г ^{235}U , выделяется энергия, как и при сгорании 3 т угля или 2,5 т нефти.

- **Активная зона** - основная часть реактора, в ней протекает ЦР и выделяется энергия. Объем АЗ - от $0,0\text{n}$ литра до $\text{n}10 \text{ м}^3$ (в больших тепловых реакторах).

**Активная зона реактора на
тепловых нейтронах**

(с энергией $0,0\text{n}$ эВ) состоит из:

ядерного топлива (^{235}U , даже слабо обогащ. U),

замедлителя (вода, графит, Be),

теплоносителя (н-р, вода, для отвода тепла на парогенератор.... пар.....на турбину....электроэнергия),

конструкционных материалов с малым сечением захвата нейтронов ($\text{Al}, \text{Mg}, \text{Zr}$ и др).

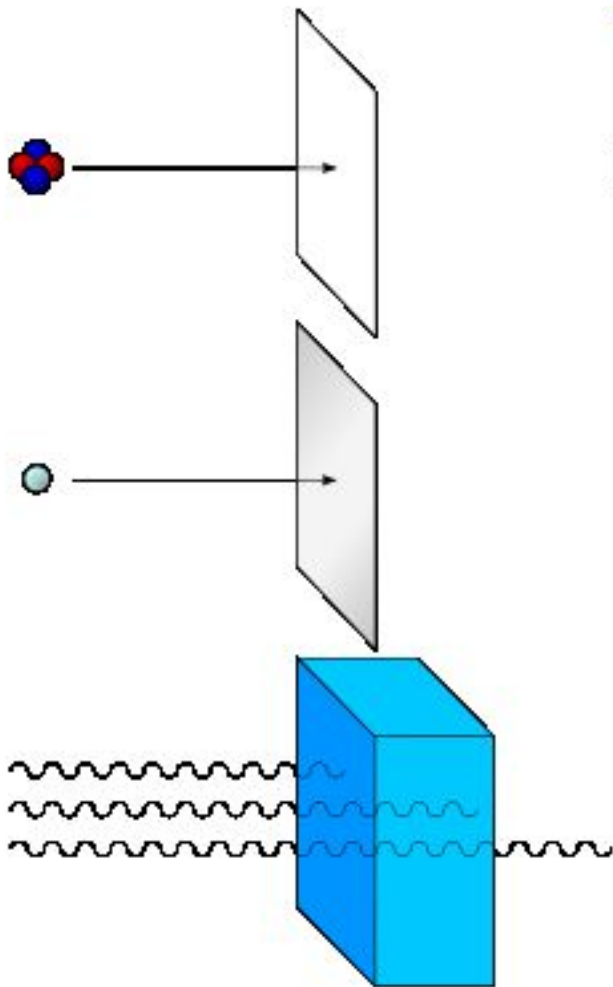
γ –излучение (γ -кванты) взаимодействует с электронными оболочками атомов, передавая часть своей энергии электронам, в результате чего наблюдаются:

- фотоэффект ($E_\gamma \leq 100$ кэВ) + характеристическое X-излучение
- эффект Комптона ($E_\gamma \sim 0,5$ МэВ): возникающие быстрые электроны отдачи производят ионизацию атомов среды + рассеянные γ -кванты с уменьшенной энергией.
- рождение электронно-позитронных пар ($E_\gamma > 2m_0c^2$), основной результат при больших энергиях γ -квантов.

- Пробеги γ -квантов и нейтронов в воздухе - сотни метров,

в ТТ – десятки см и даже метры.

γ –излучение - наиболее проникающее ИИ,
**поэтому при внешнем облучении они
представляют для человека наибольшую
опасность.**



α -частицы - легко остановить листом бумаги.

β -излучение до 1 МэВ -
Al - пластины толщиной в
несколько мм.

γ - излучение - эффективны
тяжёлые элементы (свинец и т.
д.), поглощают МэВ-ные фотоны
при толщине несколько см.

Проникающая способность всех видов ИИ
зависит от энергии частиц или квантов.

Дозы и биологическое действие ионизирующего излучения

Доза поглощения - энергия ИИ, которая поглощается при прохождении через единицу массы вещества.

$$D_n = \frac{\Delta E}{\Delta m}$$

СИ -1 Грей (Гр) → 1кг вещества поглощает 1 Дж
энергии излучения.

$$1 \text{ Рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$$

Экспозиционная доза – для характеристики

X- и γ-излучения -

- заряд ионов одного знака, образующихся в единице массы сухого воздуха под их действием

$$D_{\text{эксп}} = \frac{\Delta Q}{\Delta m},$$

$$\Delta Q = \sum q_i$$

СИ - Кл/кг.

Внесистемная единица - рентген (Р).

$$1\text{Р} = 2,58 * 10^{-4} \text{ Кл / кг};$$

М.б. использована для расчета поглощенной дозы.

В дозиметрии - сравнивают эффекты, вызванные различными ИИ, с эффектом от X – или γ – излучения.

Эквивалентная доза - поглощенная доза в органе или ткани, умноженная на коэффициент качества данного излучения.

Коэффициент качества излучения показывает во сколько раз эффективность действия данного вида излучения больше, чем X - или γ -излучения.

Определяется из опыта.

Зависит от вида излучения, и энергии частиц.

$$D_{\text{экв}} = kD_n = k \frac{\Delta E}{\Delta m} \quad \text{СИ - Дж/кг, зиверт (Зв).}$$

Коэффициент качества излучения

*Фотоны любой энергии	- 1
*Электроны и мюоны любых энергий	- 1
*Нейтроны энергией менее 10 кэВ	- 5
от 10 до 100 кэВ	- 10
от 100 до 2 МэВ	- 20
от 2 до 20 МэВ	- 10
более 20 МэВ	- 5
*Протоны с энергией более 2 МэВ, кроме протонов отдачи	- 5
*Альфа частицы, осколки деления, тяжелые ядра	-10

Минимальная летальная доза для человека -
6 Зв за один раз.

Эффективная эквивалентная доза - для оценки ущерба здоровью человека при неравномерном облучении тела, отдельных его органов с учетом их радиочувствительности.

$$D_{\text{экв}}^{\text{эф}} = k_p D_{\text{экв}}$$

k – коэффициент риска для отдельного органа при облучении всего тела одинаковой $D_{\text{ЭКВ}}$

Костный мозг, толстый кишечник, легкие, желудок - 0,12

Мочевой пузырь, грудная железа, печень, пищевод, щитовидная железа - 0,05

Кожа, клетки костных поверхностей - 0,01

Остальное - 0,05