

РАДИОАКТИВНОСТЬ

Радиоактивность – свойство атомных ядер самопроизвольно изменять свой состав в результате испускания частиц или ядерных фрагментов.

Радиоактивный распад может происходить только в том случае, если масса исходного ядра M больше суммы масс продуктов распада $M > \sum_i M_i$.

Разность $Q = (M - \sum_i M_i) \cdot c^2$

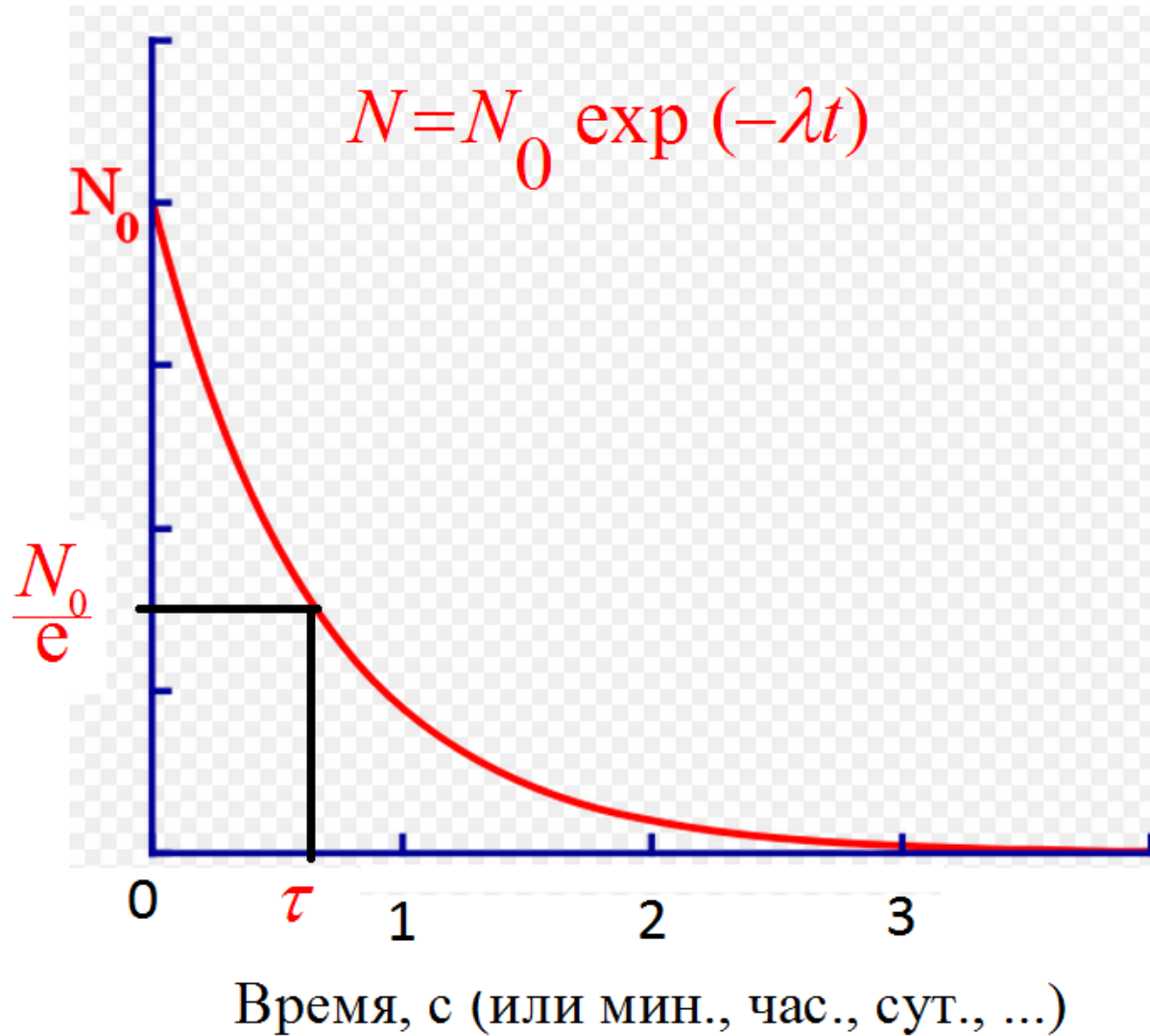
выделяется в виде энергии продуктов распада.

Основными видами радиоактивного распада являются:

- **α -распад** – испускание ядрами α -частиц,
- **β -распад** – испускание (или поглощение) лептонов,
- **γ -распад** – испускание γ -квантов,
- **спонтанное деление** – распад ядра на два осколка сравнимой массы.

Редкие виды радиоактивного распада - **испускание** ядрами **одного или двух протонов**, а также **кластеров** – лёгких ядер от ^{12}C до ^{32}S . Во всех видах радиоактивности (кроме гамма-радиоактивности) изменяется состав ядра – число протонов Z , массовое число A или то и другое одновременно.

Закон радиоактивного распада $N(t) = N_0 e^{-\lambda t} = N_0 e^{-t/\tau}$



Постоянная распада λ характеризует вероятность распада атомного ядра в единицу времени: $\lambda = 1/\tau$

Среднее время жизни ядра τ – время, за которое число радиоактивных ядер уменьшается в $e = 2,71$ раз:

$$\tau = 1/\lambda$$

Период полураспада $T_{1/2}$ – время, за которое число радиоактивных ядер уменьшается вдвое.

Активность препарата = Число распадов в единицу времени

$$I = dN / dt = N \lambda$$

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

Если в образце в момент времени t содержится N радиоактивных ядер, то количество dN ядер, распадающихся в интервале времени $t \rightarrow t+dt$, определяется соотношением $dN = -N \lambda dt$. Знак «минус» означает, что общее число радиоактивных ядер уменьшается в результате распада.

N_0 — количество ядер в радиоактивном источнике в начальный момент времени $t=0$, $N(t)$ — количество радиоактивных ядер, оставшихся в источнике в момент времени t , λ — постоянная распада.

Количество ядер радиоактивного источника, распавшихся за время t :

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

ЕДИНИЦЫ ИЗМЕРЕНИЯ РАДИОАКТИВНОСТИ

Измеряется в **Беккерелях** (Бк), что соответствует **1 распаду в секунду**. Также встречается еще такая единица активности, как Кюри (Ки). Это - огромная величина: **$1 \text{ Ки} = 37 \cdot 10^9 \text{ Бк}$** .

При распадах источник испускает ионизирующее излучение. Мерой ионизационного воздействия этого излучения на вещество является *экспозиционная доза*. Измеряется в **Рентгенах** (Р). На практике удобнее пользоваться миллионной (мкР) или тысячной (мР) долями Рентгена. Действие распространенных бытовых дозиметров основано на измерении ионизации за определенное время, то есть *мощности экспозиционной дозы*. Единица измерения - **микроРентген/час**.

Для оценки воздействия на организм человека используются понятия *эквивалентная доза* и *мощность эквивалентной дозы*. Измеряются, соответственно, в **Зивертах** (Зв) и Зивертах/час. **$1 \text{ Зиверт} = 100 \text{ Рентген}$** .

«Обнаружен радиоактивный источник, вплотную к которому дозиметр показывает 10 тысяч микроРентген в час, при том, что среднее значение радиационного фона в нашем городе не превосходит 20 микроРентген в час».

**Пример расчета: Активность препарата ^{32}P равна 2 мкКи.
Определить массу препарата?**

$$N = \frac{mN_A}{A},$$

Количество ядер в образце массой m грамм
где N_A — число Авогадро, A — массовое число.

Активность препарата

$$I_0 = N_0 \lambda = \frac{mN_A \ln 2}{T_{1/2} A}$$

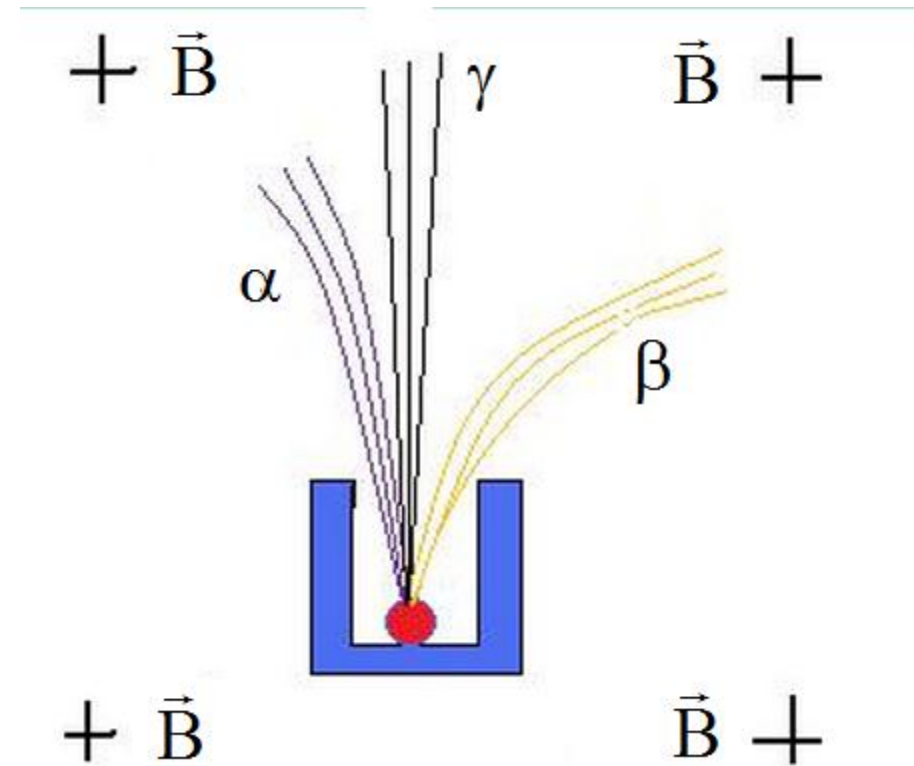
тогда его масса

$$m = \frac{I_0 T_{1/2} A}{N_A \ln 2} =$$

$$= \frac{2 \cdot 10^{-6} \text{ Ки} \times 3,7 \cdot 10^{10} \text{ расп./с} \cdot \text{Ки} \times 14,5 \text{ суток} \times 86400 \text{ с/сутки} \times 32}{6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1} \times 0,693} =$$
$$= 7,1 \cdot 10^{-12} \text{ Г.}$$

Примеры радиоактивных ядер U^{238} , Th^{232} и U^{235} . Они являются родоначальниками радиоактивных рядов урана, тория и актиноурана. Конечные продукты - изотопы свинца Pb^{206} , Pb^{208} и Pb^{207} .

$$\vec{F} = q[\vec{v}, \vec{B}]$$

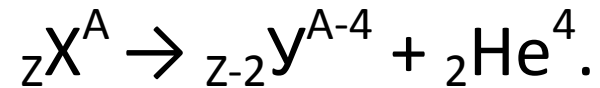


Естественная радиоактивность открыта в 1896 г. франц. ученым А. Беккерелем. Изучена Пьером и Марией Кюри.

Было обнаружено, что радиоактивное вещество является источником трех видов излучения. Одно из них под действием магнитного поля отклоняется в ту же сторону, в которую отклонялся бы поток положительно заряженных частиц; оно получило название **α -лучей**. Второе, названное **β -лучами**, отклоняется магнитным полем в противоположную сторону, т. е. так, как отклонялся бы поток отрицательно заряженных частиц. Наконец, третье излучение, никак не реагирующее на действие магнитного поля, было названо **γ -лучами**.

Впоследствии выяснилось, что γ -лучи представляют собой электромагнитное излучение весьма малой длины волны (от 10^{-4} нм до 10^{-1} нм).

Альфа-распад. Альфа-лучи представляют собой поток ядер гелия ${}^4_2\text{He}$. Распад протекает по следующей схеме:



Буквой X обозначен химический символ распадающегося ядра, буквой Y — химический символ образующегося ядра. Альфа-распад обычно сопровождается возникновением γ -лучей. Как видно из схемы, атомный номер дочернего вещества на 2 единицы, а массовое число на 4 единицы меньше, чем у исходного вещества. Примером может служить распад изотопа урана U^{238} , протекающий с образованием тория:



Скорости, с которыми α -частицы (т. е. ядра ${}^4_2\text{He}$) вылетают из распавшегося ядра, очень велики ($\approx 10^7$ м/сек) кинетическая энергия порядка нескольких Мэв). Пролетая через вещество, α -частица постепенно теряет свою энергию, затрачивая ее на ионизацию молекул вещества, и, в конце концов, останавливается.

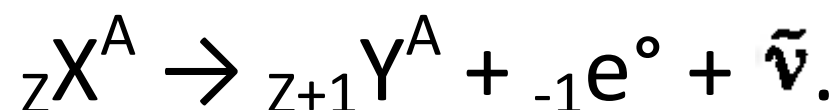
На образование одной пары ионов в воздухе тратится в среднем 35 эВ. Таким образом, α -частица образует на своем пути примерно 10^5 пар ионов. Естественно, что чем больше плотность вещества, тем меньше пробег α -частиц до остановки. Так, в воздухе при нормальном давлении пробег составляет несколько сантиметров, в твердом веществе пробег

достигает всего нескольких десятков микрон (α -частицы полностью задерживаются обычным листом бумаги).

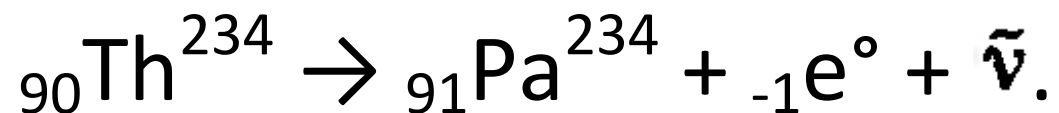
Бета-распад. Существуют три разновидности β -распада. В одном случае ядро, претерпевающее превращение, испускает электрон, в другом — позитрон, в третьем случае, "называемом К-захватом (или электронным захватом), ядро поглощает один из электронов К-слоя атома (значительно реже происходит L- и M-захват, т. е. поглощение электрона из L- или M-слоя).

Гл. кв. число = 1 2 3 4 5 6 7 ...
Слой *KLMNOPQ* ...

Первый вид β -распада (β^- -распад) протекает по схеме:

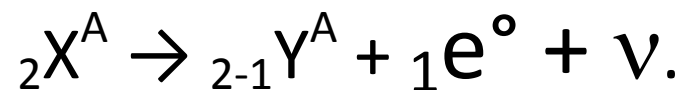


Пример: превращение тория Th^{234} в протактиний Pa^{234} с испусканием электрона ${}_{-1}\text{e}^{\circ}$ и антинейтрино $\bar{\nu}$:

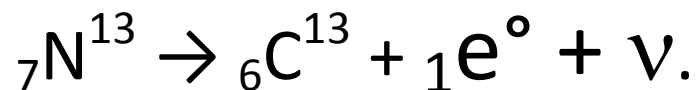


Атомный номер возрастает.

Второй вид β -распада (β^{+} -распад) протекает по схеме:

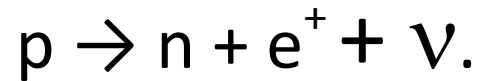


Пример: превращение азота N^{13} в углерод C^{13} :



Порядковый номер элемента убывает

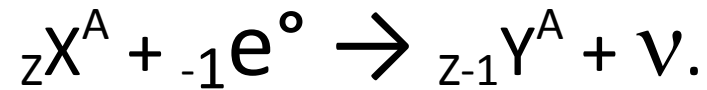
Процесс β^+ -распада протекает так, как если бы один из протонов исходного ядра превратился в нейтрон, испустив при этом позитрон и нейтрино:



Третий вид β -распада (К-захват или е-захват) заключается в том, что ядро поглощает один из К-электронов своего атома, в результате чего один из протонов превращается в нейтрон, испуская при этом нейтрино:

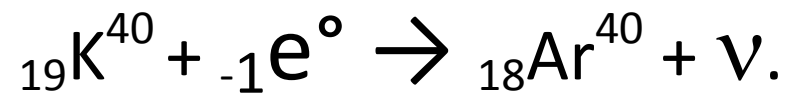


Возникшее ядро может оказаться в возбужденном состоянии. Переходя затем в более низкие энергетические состояния, оно испускает γ -фотоны. Схема процесса:



Место в электронной оболочке, освобожденное захваченным электроном, заполняется электронами из вышележащих слоев, в результате чего возникают рентгеновские лучи.

Пример: превращение калия K^{40} в аргон Ar^{40} :



Порядковый номер элемента убывает

Спонтанное деление - четвертый вид радиоактивности, открытый в 1940 Г.Н.Флеровым и К.А.Петржаком для природного урана, связан со спонтанным делением ядер, в процессе которого некоторые достаточно тяжелые ядра распадаются на два осколка с примерно равными массами. Ядра урана могут делиться различным образом, давая два осколка (например, ${}_{56}\text{Ba}$ - ${}_{36}\text{Kr}$, ${}_{54}\text{Xe}$ - ${}_{38}\text{Sr}$ и т.п.). В 1 г естественного урана происходит в среднем одно деление в мин.

По своим основным характеристикам:

величине выделяемой энергии (200 МэВ), виду спектра масс осколков, числу и энергии вторичных нейтронов (мгновенных – испускаемых в момент деления и запаздывающих – вылетающих после β - распада осколков) – спонтанное деление очень схоже с делением тяжёлых ядер под действием нейтронов.