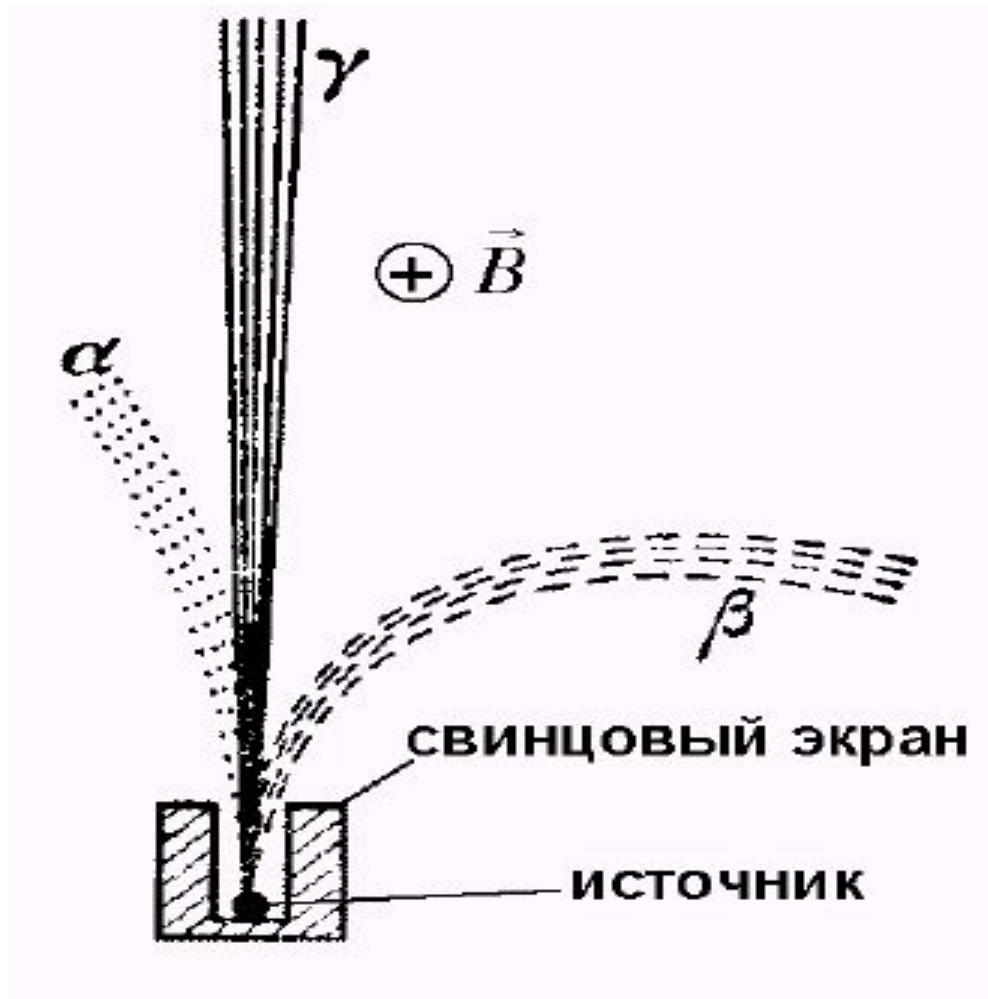


## § 10.4. Радиоактивное излучение.

Радиоактивность – способность некоторых ядер самопроизвольно превращаться в другие ядра с испусканием различных видов радиоактивного излучения и элементарных частиц.

- Различают *естественную* и *искусственную* радиоактивности.
- **Естественной радиоактивностью** называется радиоактивность, наблюдающаяся у существующих в природе неустойчивых изотопов (с 84 элемента).
- **Искусственной радиоактивностью** называется радиоактивность изотопов, полученных в результате ядерных реакций.

Радиоактивное излучение бывает трех типов:  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучение.



# α-излучение

**α-излучение** отклоняется электрическим и магнитным полями, обладает высокой ионизирующей способностью и малой проникающей способностью (поглощается слоем алюминия толщиной 0,05мм).

α-излучение представляет собой поток ядер гелия: заряд α-частицы равен  $+2e$ , а масса совпадает с массой ядра изотопа гелия  ${}^4_2\text{He}$

# β-излучение

β-излучение также отклоняется электрическим и магнитным полями; его ионизирующая способность на два порядка меньше чем ионизирующая способность α-лучей, а проникающая способность, напротив, гораздо больше α-излучения (поглощается слоем алюминия толщиной 2-3 мм.)

β-излучение представляет собой поток быстрых электронов или позитронов.



# γ-ИЗЛУЧЕНИЕ

γ-излучение не отклоняется электрическим и магнитным полями, обладает относительно слабой ионизирующей способностью и очень большой проникающей способностью (например, проходит слой свинца толщиной 5 см).

γ-излучение представляет собой коротковолновое электромагнитное излучение с чрезвычайно малой длиной волны  $\lambda < 10^{-10}$  м и, вследствие этого, ярко выраженными корпускулярными свойствами, т.е. является потоком частиц — γ-квантов (фотонов).

## § 10.5. Закон радиоактивного распада.

- *Радиоактивный распад* — естественное радиоактивное превращение ядер, происходящее самопроизвольно.
- Ядро, испытывающее радиоактивный распад, называется *материнским*, возникающее ядро называется *дочерним*.

Число ядер, распадающихся за время  $dt$ , пропорционально начальному числу ядер  $N$ .

Убыль  $-dN$  числа ядер:  $-dN = \lambda N dt$ .

Закон распада получим, разделяя переменные и интегрируя выражение:

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

где  $N_0$  — число ядер в данном объеме вещества в начальный момент времени  $t = 0$ ,  $N$  — число ядер в том же объеме к моменту времени  $t$ .

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

Получаем, что самопроизвольный распад атомных ядер подчиняется закону радиоактивного распада:

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

$\lambda$  — постоянная распада, имеющая смысл вероятности распада ядра за 1 с и равная доле ядер, распадающихся в единицу времени

Интенсивность процесса радиоактивного распада характеризуют две величины: период полураспада  $T_{1/2}$  и среднее время жизни  $\tau$  радиоактивного ядра.



Период полураспада  $T_{1/2}$  — время, за которое исходное число радиоактивных ядер в среднем уменьшается вдвое:

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \exp(-\lambda T_{1/2}) \quad T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,69}{\lambda}$$

Суммарная продолжительность жизни  $dN$  ядер равна  $t dN = t \lambda N dt$ .

Среднее время жизни  $\tau$  для всех первоначально существовавших ядер:

$$\tau = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} \lambda N t dt \equiv \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} \lambda \exp(-\lambda t) dt t dt = \frac{1}{\lambda}$$

**Активностью**  $A$  нуклида в радиоактивном источнике называется число распадов, происходящих с ядрами образца в 1 с:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N$$

**Единица активности** — беккерель (Бк):  
1 Бк — активность нуклида, при которой за 1 с происходит один акт распада.

Внесистемная единица — кюри (Ки)

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк.}$$



## § 10.6. Правила смещения.

- При радиоактивном распаде выполняется закон сохранения электрических зарядов и закон сохранения массовых чисел.

Следствием этих законов являются **правила смещения**, позволяющие установить, какое ядро возникает в результате распада данного материнского ядра в различных типах радиоактивного распада.



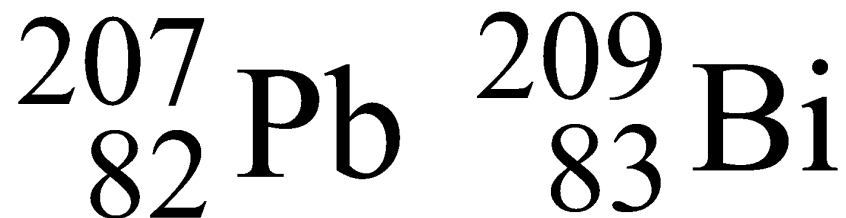
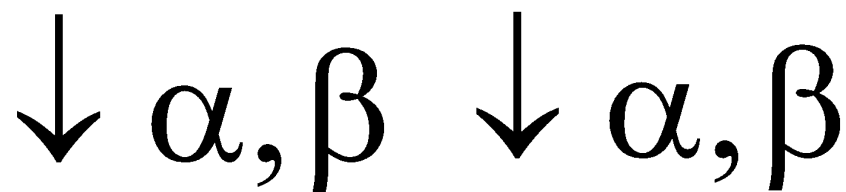
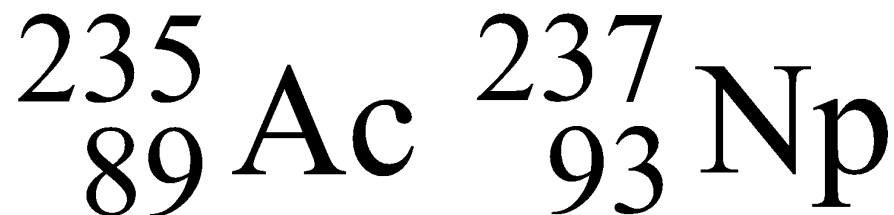
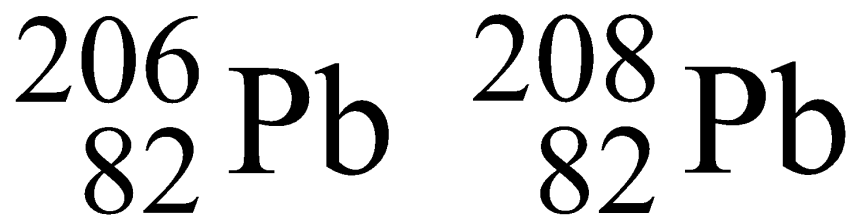
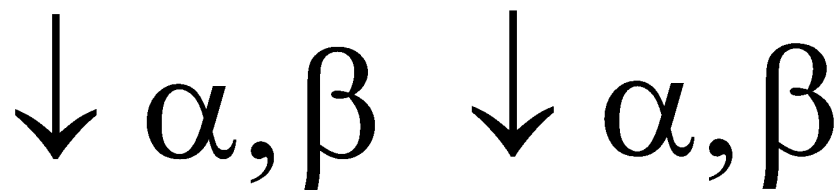
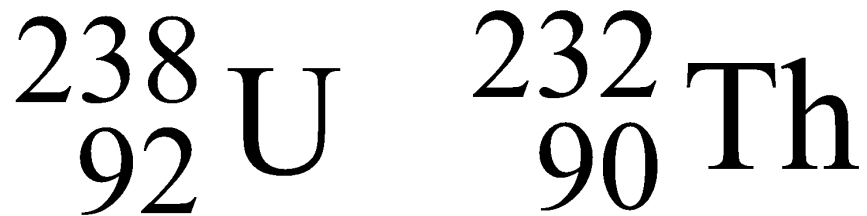
Где  ${}^A_Z X$  — материнское ядро,  $Y$  — символ дочернего ядра,  ${}^4_2 \text{He}$  — ядро гелия ( $\alpha$ -частица),  ${}^0_{-1} e$  — символическое обозначение электрона.

Возникающие в результате радиоактивного распада ядра могут быть, в свою очередь, радиоактивными.

Это приводит к возникновению **цепочки**, или **ряда радиоактивных превращений**, заканчивающихся стабильным элементом.

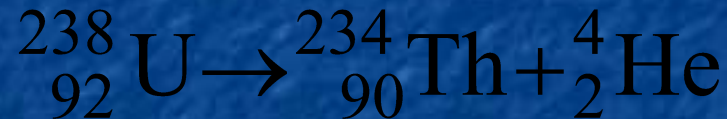
Совокупность элементов, образующих такую цепочку, называется **радиоактивным семейством**.

# Радиоактивные семейства :



# $\alpha$ -распад

- В основном  $\alpha$ -распад характерен для тяжелых ядер ( $A > 200$ ,  $Z > 82$ ).  $\alpha$ -распад подчиняется правилу смещения, например, распад изотопа урана приводит к образованию тория:



- Согласно современным представлениям,  $\alpha$ -частицы образуются внутри тяжелых ядер вследствие объединения двух протонов и двух нейтронов. Такая образовавшаяся частица сильнее отталкивается от оставшихся протонов ядра, чем отдельные протоны. Одновременно  $\alpha$ -частица испытывает меньшее ядерное притяжения к нуклонам в ядре, чем отдельные нуклоны.

# $\beta$ -распад

- При бета-распаде ядро испускает электрон и электронное антинейтрино.
- $\beta$ -электроны рождаются в результате процессов, происходящих внутри ядра при превращении одного вида нуклона в ядре в другой.  $n \rightarrow p + e^{-} + \bar{\nu}_e$  ← антинейтрино



# $\gamma$ -распад

- Гамма-излучение является жестким излучением, энергия которого испускается при переходах ядер из возбужденных энергетических состояний в основное или менее возбужденные состояния, а также при ядерных реакциях.
- $\gamma$ -излучение — несамостоятельный тип радиоактивности. Оно сопровождает процессы  $\alpha$ - и  $\beta$ -распадов и не вызывает изменения заряда и массового числа ядер.
- $\gamma$ -излучение испускается дочерним (а не материнским) ядром, которое в момент своего образования оказывается возбужденным.
- Спектр  $\gamma$ -излучения является линейчатым, что доказывает дискретность энергетических состояний атомных ядер.



## § 10.5. Приборы для регистрации радиоактивных излучений и частиц.

- Наблюдение и регистрация радиоактивных излучений и частиц основаны на их способности производить ионизацию или возбуждение атомов среды.
- Сцинтилляционный счетчик — детектор ядерных частиц, основными элементами которого являются сцинтиллятор (кристаллофосфор, излучающий вспышки света при попадании в него частиц) и фотоэлектронный умножитель (ФЭУ), позволяющий преобразовать слабые световые вспышки в электрические импульсы, которые регистрируются электронной аппаратурой.

Ионизационные счетчики — заполненные газом электрические конденсаторы — детекторы частиц, основанные на способности заряженных частиц вызывать ионизацию газа, с последующей регистрацией импульсов тока. Пример — счетчик Гейгера-Мюллера.

Полупроводниковые счетчики — полупроводниковые диоды, прохождение через которые регистрируемых частиц, приводит к появлению электрического тока через диод.

Камера Вильсона — цилиндр с плотно прилегающим поршнем, заполненный нейтральным газом. При резком (адиабатическом) расширении газ становится пересыщенным и на траекториях частиц, пролетевших через камеру, образуются треки из тумана, которые фотографируются.

Пузырьковая камера — конструктивно похожая на камеру Вильсона и заполненная прозрачной перегретой жидкостью. Пролетающая через камеру заряженная частица вызывает резкое вскипание жидкости, и траектория частицы оказывается обозначенной цепочкой пузырьков газа — образуя трек, который как и в камере Вильсона, фотографируется.

Ядерные фотоэмульсии — толстослойные фотографические эмульсии, прохождение заряженных частиц через которые вызывает ионизацию, приводящую к образованию скрытого изображения в эмульсии. После проявления следы заряженных частиц обнаруживаются в виде цепочки зерен металлического серебра. Для исследований высокоэнергетичных частиц используются стопы пластинок — большое число маркированных фотоэмульсионных пластинок, помещаемых на пути частиц и после проявления промеряемых под микроскопом.