

ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОЛЯ ИЗЛУЧЕНИЯ

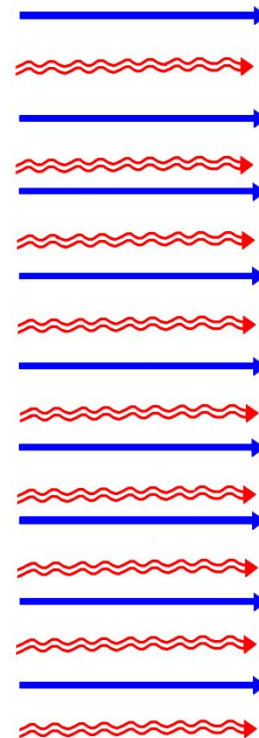
Ионизирующее излучение (ИИ)

– любое излучение, взаимодействие которого с веществом приводит к образованию в этом веществе ионов разного знака.

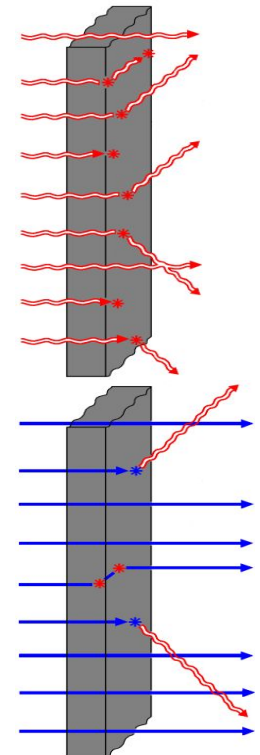
Характеристики поля ИИ:

- тип частиц,
- энергия частиц,
- направление распространения излучения,
- интенсивность излучения,
- энергетическое, пространственное и временное распределения.

Вакуум



Свинец



**Ионизирующее
излучение**

**непосредственно ИИ (заряжен.частицы)
косвенно ИИ (нейтроны, фотоны и др.)**

**однородное
смешанное**

**направленное
ненаправленное излучение**

**непрерывное (постоянное)
импульсное излучение**

**моноэнергетическое
немоноэнергетическое**

**первичное
вторичное**

1. Поток ионизирующих частиц (F)

- есть отношение числа частиц dN , проходящих через данную поверхность за интервал времени dt , к этому интервалу:

$$F = \frac{dN}{dt}, \quad \left[\frac{\text{част}}{с} \right]$$

2. Поток энергии (F_{ω})

$$F_{\omega} = \frac{dE}{dt}, \quad \left[\frac{\text{Дж}}{\text{с}} \right]$$

dE – суммарная энергия всех частиц, проникающих через данную поверхность за интервал времени dt

3. Плотность потока (φ)

- это отношение потока частиц dF , проникающих в элементарную сферу, к площади центрального сечения dS этой сферы:

$$\varphi = \frac{dF}{dS}, \quad \frac{\text{част}}{с \cdot м^2} \quad \text{или} \quad \varphi = \frac{d\Phi}{dt}, \quad \frac{\text{част}}{с \cdot м^2}$$

- 
- Для точечного изотропного источника с активностью $A(t)$ и выходом частиц η плотность потока частиц в вакууме в любой точке на расстоянии l от источника:

$$\varphi(t, l) = \frac{A(t) \cdot \eta}{4\pi l^2}$$

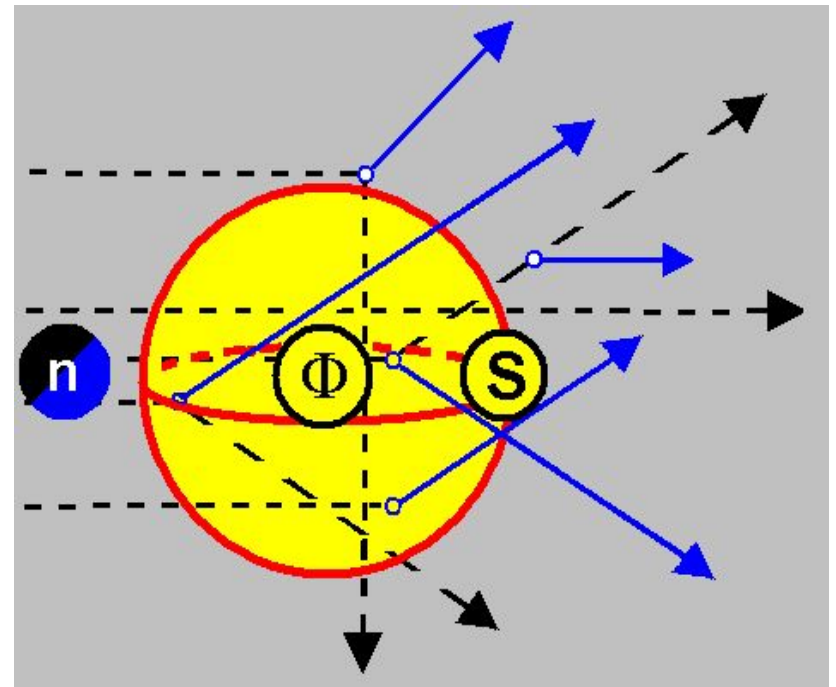
- В однородной среде с линейным коэффициентом ослабления μ для точечного источника вместо можно записать

$$\varphi(t, l) = \frac{A(t) \cdot \eta}{4\pi l^2} \cdot e^{-\mu l}$$

4. Флюенс (Φ)

- это отношение числа частиц dN , проникающих в элементарную сферу, к площади центрального сечения dS этой сферы:

$$\Phi = \frac{dN}{dS}, \quad \frac{\text{част}}{\text{м}^2}$$

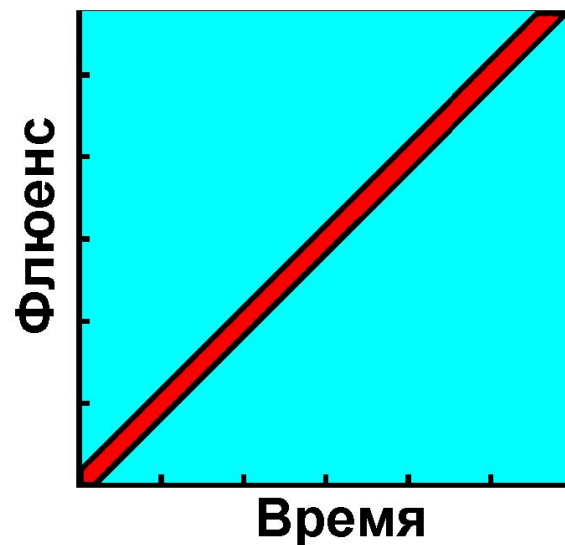
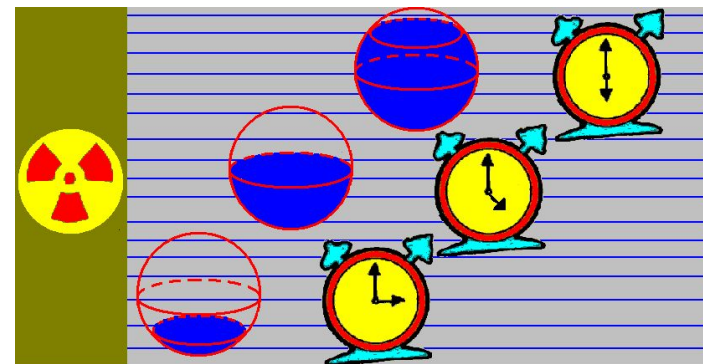


- **Флюенс** – непрерывная функция координат

$$\Phi(\vec{r}) = \int_{t_1}^{t_2} \varphi(t, \vec{r}) dt$$

- Если плотность потока частиц является величиной постоянной, то флюенс есть произведение плотности потока излучения и времени облучения:

$$\Phi = \varphi \cdot (t_2 - t_1)$$



5. Флюенс энергии (Φ_ω)

- отношение количества энергии dE , входящей в объем элементарной сферы, к площади поперечного сечения сферы dS :

$$\Phi_\omega = \frac{dE}{dS}, \quad \frac{\text{Дж}}{\text{м}^2}$$

6. Плотность потока энергии (I)

или интенсивность излучения – это отношение потока энергии ионизирующего излучения dF_{ω} , проникающего в элементарную сферу, к площади центрального сечения dS этой сферы:

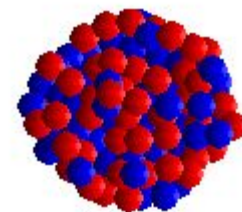
$$I = \frac{dF_{\omega}}{dS}, \quad \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$$

РАДИОМЕТРИЧЕСКИЕ ВЕЛИЧИНЫ

The bottom of the slide features a decorative graphic consisting of several overlapping, wavy, light blue lines that create a sense of movement and depth against the white background.

Характеристики источников ИИ

- **Радиоактивность** – способность неустойчивых атомных ядер спонтанно (самопроизвольно) превращаться в другие ядра с испусканием излучения корпускулярных частиц или фотонов.
- **Радиоактивный распад** – ядерное превращение с изменением состава ядра (α -распад, β -распад, спонтанное деление и др.)
- **Электромагнитный переход** – ядерное превращение с изменением только энергетического состояния ядра.



Преобразование ядра при различных видах распада

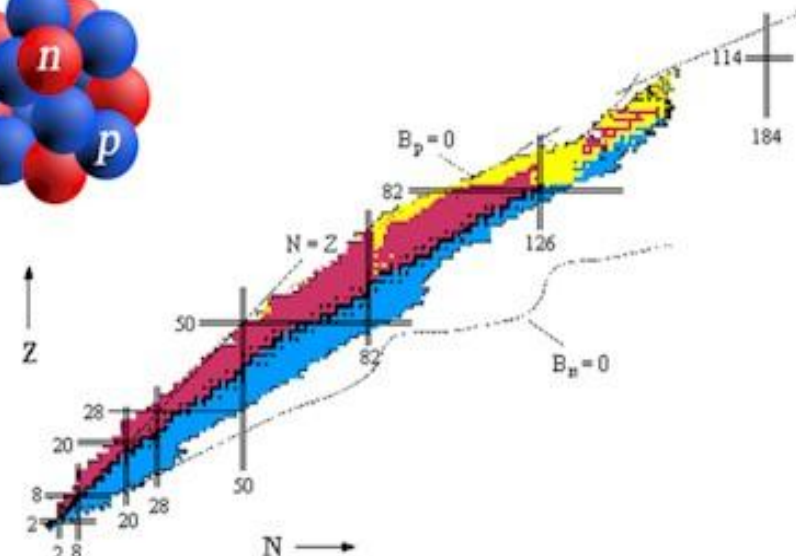
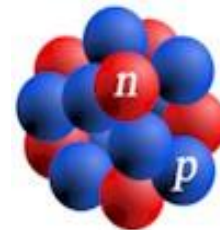
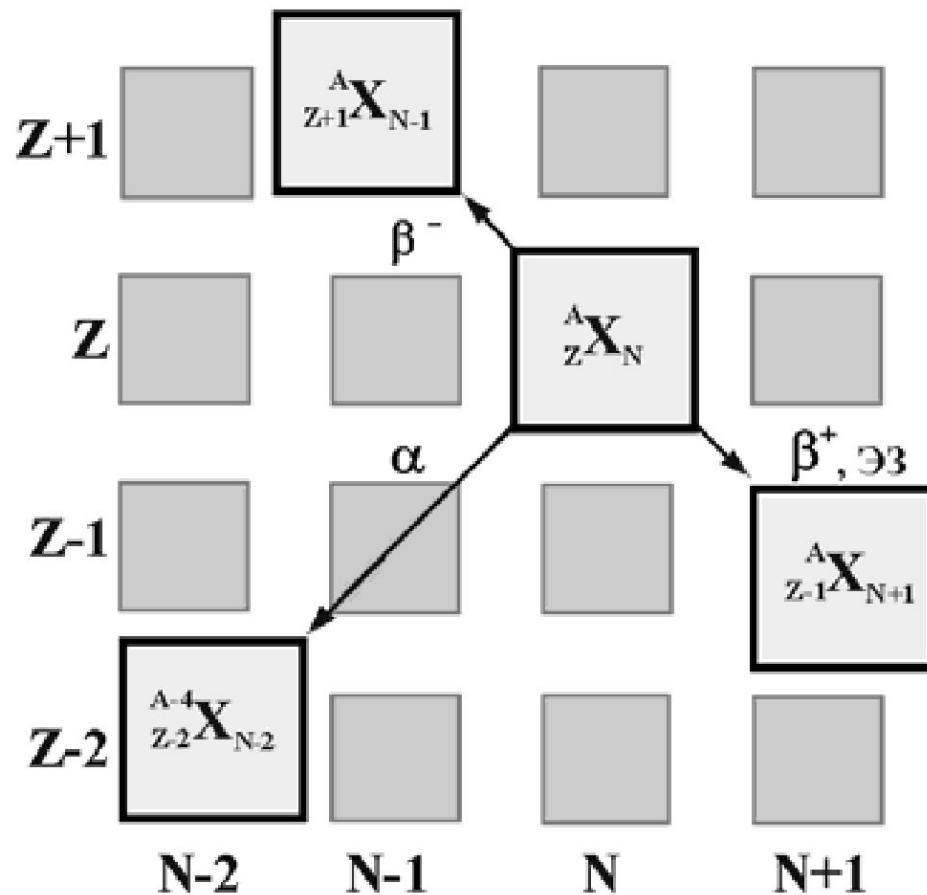
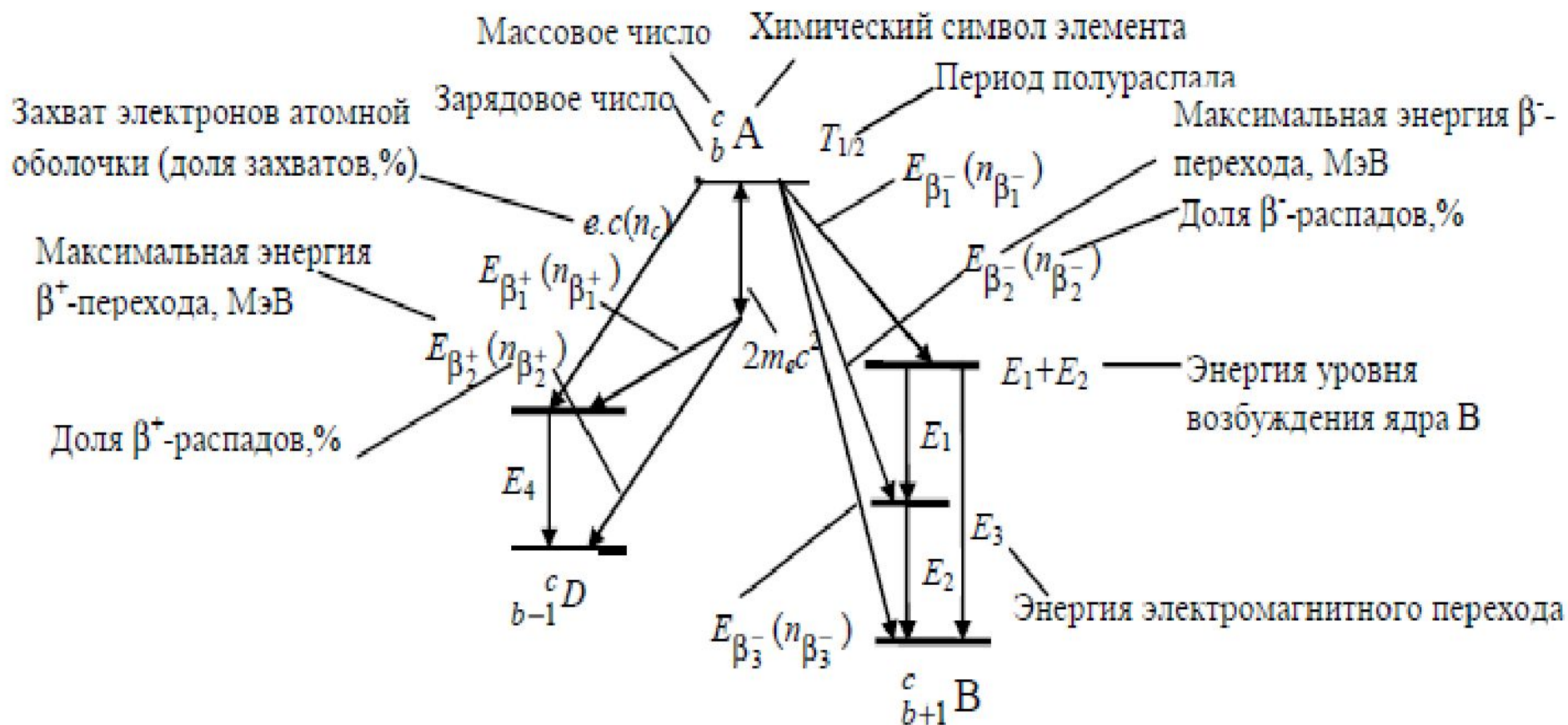


Схема распада – схема переходов, характеризующая возможные превращения ядра



Выход частиц (η) – вероятность испускания частиц на одно ядерное превращение.

- *Для γ -квантов: переход между уровнями энергии – квантовый выход.
- *Если при переходе происходит конверсия на атомной оболочке, то это выход конверсионного электрона.

$$\nu = A \cdot \eta,$$

A – активность радионуклида, Бк;

ν – число испускаемых при p/a распаде в единицу времени корпускулярных частиц (α -, β^+ -, β^- -частиц) или γ -квантов.

- **Активность радионуклида** в источнике – ожидаемая скорость спонтанных ядерных превращений данного радионуклида, происходящих в источнике.

$$A(t) = \lambda \cdot \bar{N}(t)$$

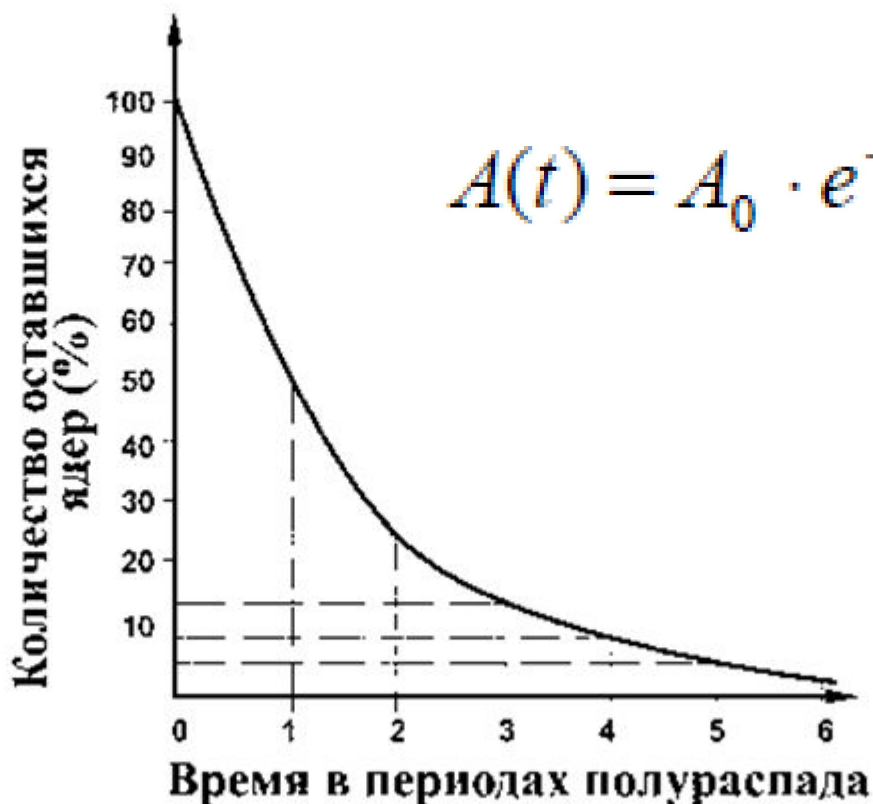
$$\lambda = \frac{\ln 2}{T_{1/2}}$$

✓ Единица активности – беккерель (Бк). **1 Бк = 1 с⁻¹.**

✓ Внесистемная единица активности – кюри (Ки).
1 Ки = 3,7·10¹⁰ Бк.

- **Активность источника** – суммарная активность всех радионуклидов, входящих в источник.

Закон радиоактивного распада радионуклида в источнике (уменьшение активности со временем).



$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda t} = A_0 \cdot e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}}}$$

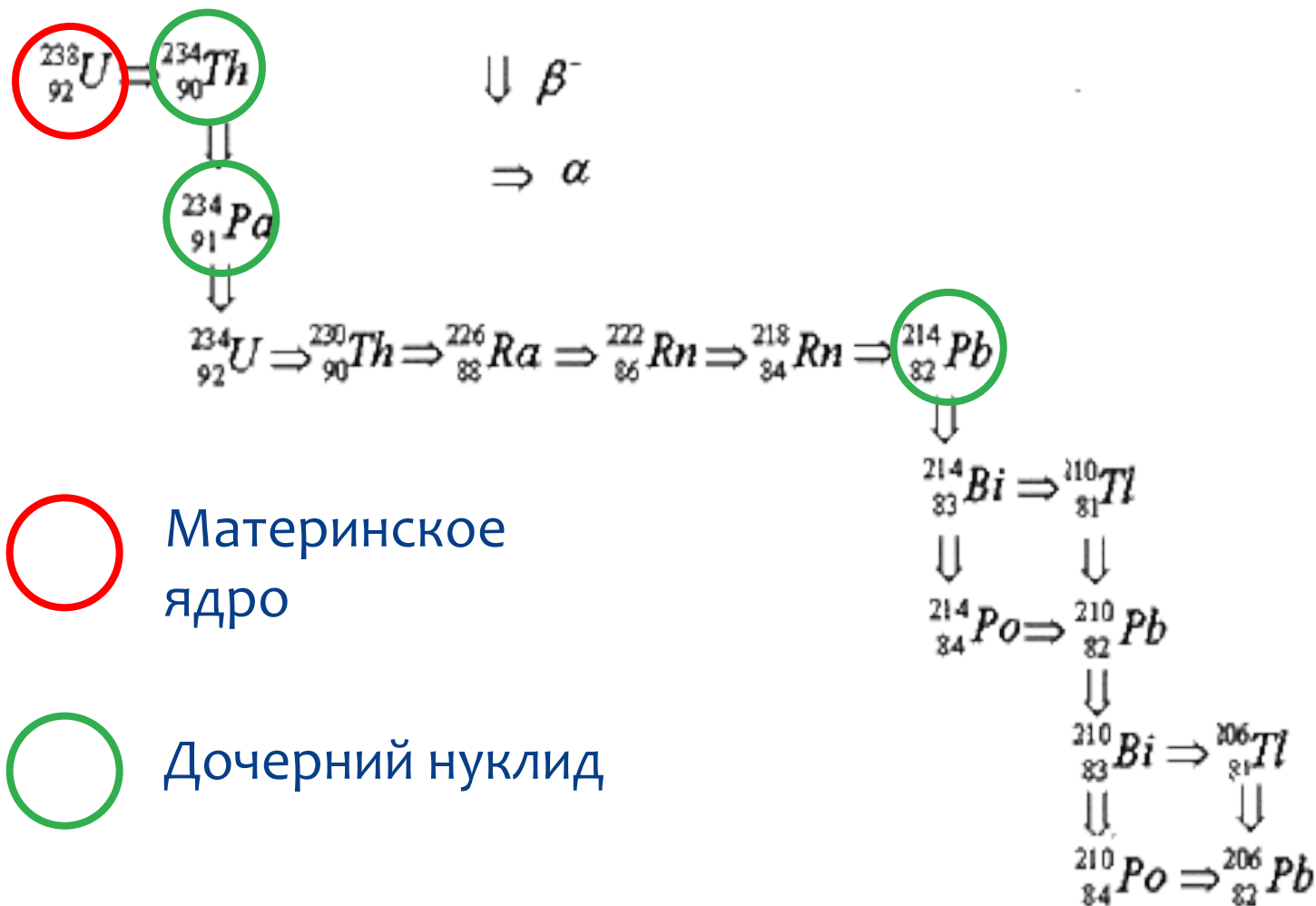
A_0 – активность радионуклида в источнике в момент времени $t = 0$;

λ , $T_{1/2}$ – постоянная распада и период полураспада.

Закон накопления ожидаемого числа **радиоактивных атомов** $N(t)$ при постоянной скорости их образования q и начальном значении $N(0) = 0$

$$\overline{N}(t) = \frac{q}{\lambda} \cdot \left(1 - e^{-\lambda t} \right)$$

Цепочка радиоактивного распада



Пусть в начальный момент времени $t = 0$ активность материнского радионуклида составляла $A_1(0)$.

Тогда изменение активности для неветвящейся цепочки распада из n последовательно распадающихся радионуклидов с постоянными распада $\lambda_1, \dots, \lambda_n$

, где $A_j(t) = A_1(t) \cdot \xi_j, j = 2, \dots, n$

$$A_1(t) = A_1(0) \cdot e^{-\lambda_1 t}$$

$$\xi_j = \lambda_2 \lambda_3 \dots \lambda_j \left[\frac{1}{(\lambda_2 - \lambda_1)(\lambda_3 - \lambda_1) \dots (\lambda_j - \lambda_1)} + \dots + \frac{e^{-(\lambda_j - \lambda_1)t}}{(\lambda_1 - \lambda_j)(\lambda_2 - \lambda_j) \dots (\lambda_{j-1} - \lambda_j)} \right]$$

Активность всех n радионуклидов, находящихся в источнике:

$$A_{\Sigma}(t) = A_1(t) \left[1 + \sum_{j=2}^n \xi_j \right]$$

Соотношение между массой m радионуклида и его активностью A

$$m = 2,4 \cdot 10^{-24} \cdot M \cdot T_{1/2} \cdot A, \quad A = \frac{4,17 \cdot 10^{23} \cdot m}{M \cdot T_{1/2}}$$

$[g]$ $[Bk]$

где $T_{1/2}$ – период полураспада радионуклида, с;
 M – атомная масса радионуклида.

$$m = 8,86 \cdot 10^{-14} \cdot M \cdot T_{1/2} \cdot A, \quad A = \frac{1,13 \cdot 10^{13} \cdot m}{M \cdot T_{1/2}}$$

$[g]$ $[Ku]$

Геометрия источников

Точечный источник – максимальные размеры много меньше расстояния до точки детектирования и длины пробега в материале источника.

Протяженные источники – это линейные, поверхностные и объемные.

- **Линейный** – поперечные размеры много меньше расстояния до детектора и длины пробега частиц в материале источника.

- **Поверхностный** – источник, имеющий толщину, много меньшую, чем расстояние до точки детектирования и чем длина пробега в материале источника.

- **Объемный** – источник, в котором излучатели содержатся в трехмерной области пространства.

Соотношение между массой m радионуклида и его активностью A

$$m = 2,4 \cdot 10^{-24} \cdot M \cdot T_{1/2} \cdot A, \quad A = \frac{4,17 \cdot 10^{23} \cdot m}{M \cdot T_{1/2}}$$

где $T_{1/2}$ – период полураспада радионуклида, с;
 M – атомная масса радионуклида.

$$m = 8,86 \cdot 10^{-14} \cdot M \cdot T_{1/2} \cdot A, \quad A = \frac{1,13 \cdot 10^{13} \cdot m}{M \cdot T_{1/2}}$$

