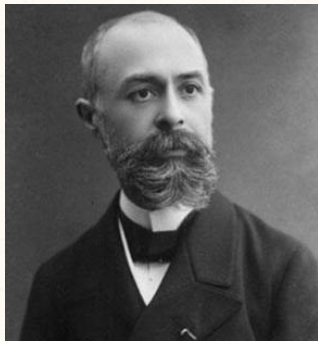


«Основы производства радиоактивных изотопов»

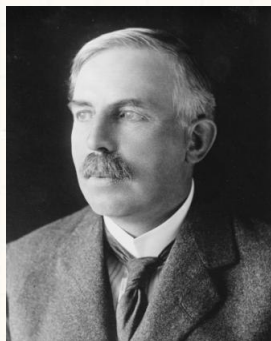
Лекция 3. Радиоактивность и закон радиоактивного распада.

*и.о. доцента кафедры
теоретической и ядерной физики
PhD Зарипова Ю.А.*

Открытие радиоактивности



Анри Беккерель



Эрнест Резерфорд



Фредерик Содди



Вильгельм Рентген



Пьер Кюри

- ✓ 1895 год - Вильгельм Рентген открыл рентгеновские лучи.
- ✓ 1896 год – Анри Беккерель. Исследуя флуоресценцию урановых солей, он случайно обнаружил их способность самопроизвольно излучать невидимые лучи, способные засвечивать фотопластинку. Это стало первым наблюдением естественной радиоактивности.
- ✓ 1898 год – Пьер и Мария Кюри. Они выделили новые элементы – полоний (Po) и радий (Ra), проявившие активность, превышающую активность урана в сотни раз. Мария Кюри ввела термин «радиоактивность».
- ✓ 1902-1903 годы – Эрнест Резерфорд и Фредерик Содди разработали теорию радиоактивного распада и впервые установили, что активность вещества экспоненциально убывает со временем. Они также предложили закон радиоактивного распада, заложив основу статистического описания процессов в микромире.



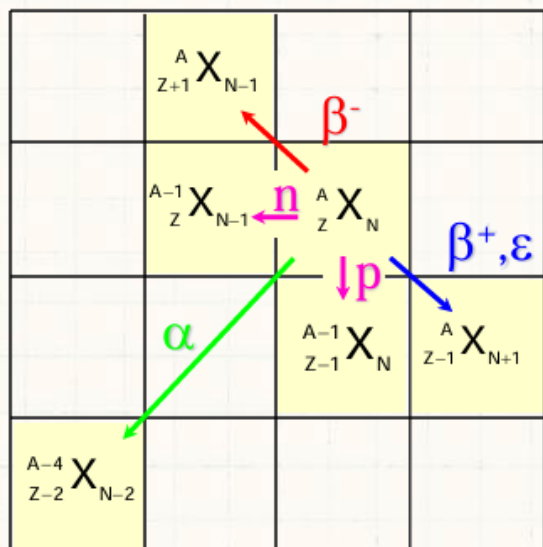
Мария Склодовская-Кюри



Радиоактивные товары начала XX века



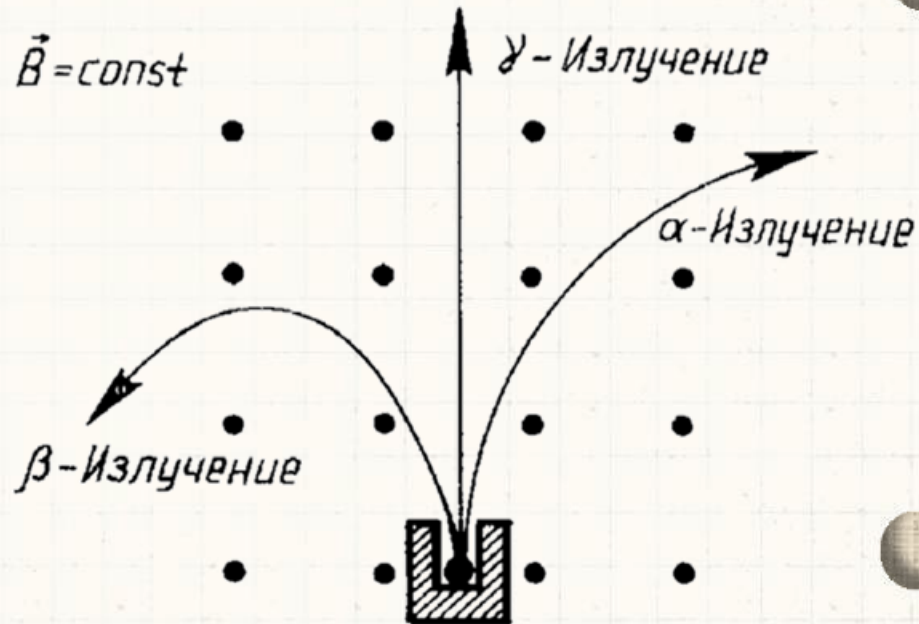
Радиоактивный распад



Спонтанное изменение состава и строения ядра.

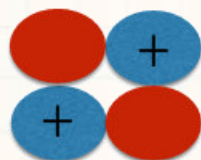
Для химика: превращение одного химического элемента в другой.

- Альфа-распад
- Бета-распад
- Гамма-распад



Альфа-распад

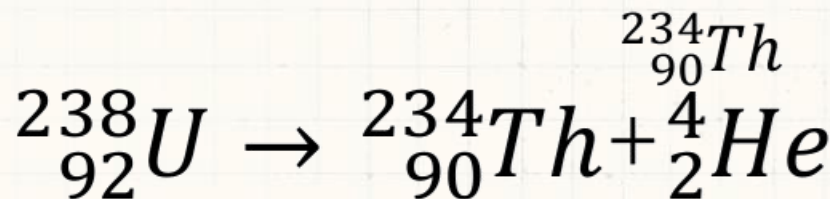
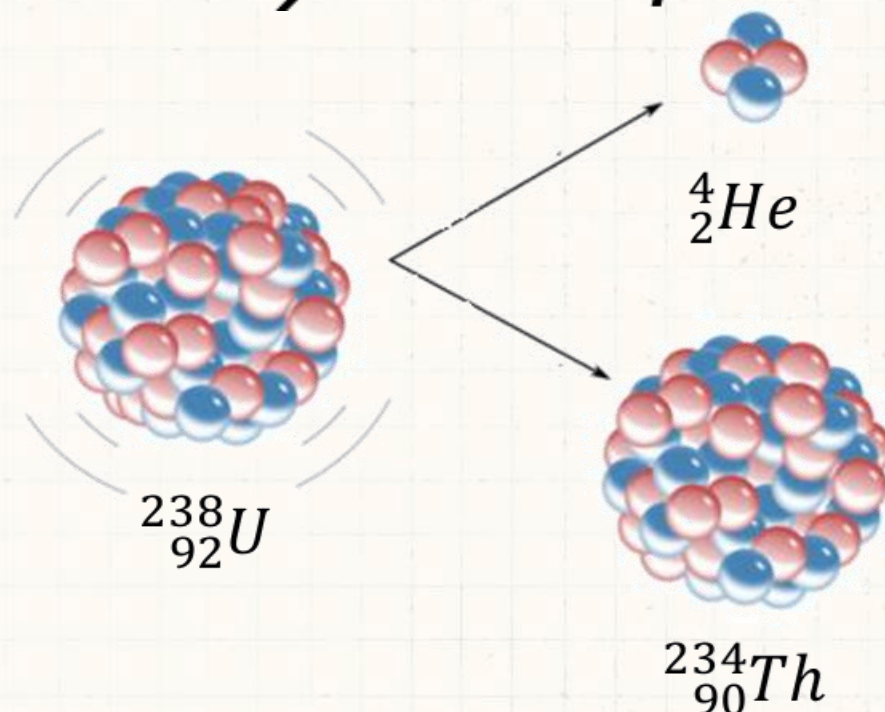
Альфа-частица:



2 протона
2 нейтрона

Ядро гелия ${}^4_2\text{He}, \alpha$

$$V_{\text{кул}} = \frac{Z_{\alpha}(Z_{\text{я}} - 2)e^2}{r}$$



$$P \approx e^{-\frac{2}{\hbar} \int_R^{R_0} \sqrt{2m_{\alpha}[V_{\text{кул}}(r) - T_{\alpha}]dr}}$$

2 10 18 32 18 8 2	90 Th ТОРИЙ	2 9 20 32 18 8 2	91 Pa ПРОТАКТИНИЙ	2 9 21 32 18 8 2	92 U УРАН
-------------------------------------	-----------------------	------------------------------------	-----------------------------	------------------------------------	---------------------

Бета-распад

Не один, а три:

Бета-минус – образование электрона (β^-)

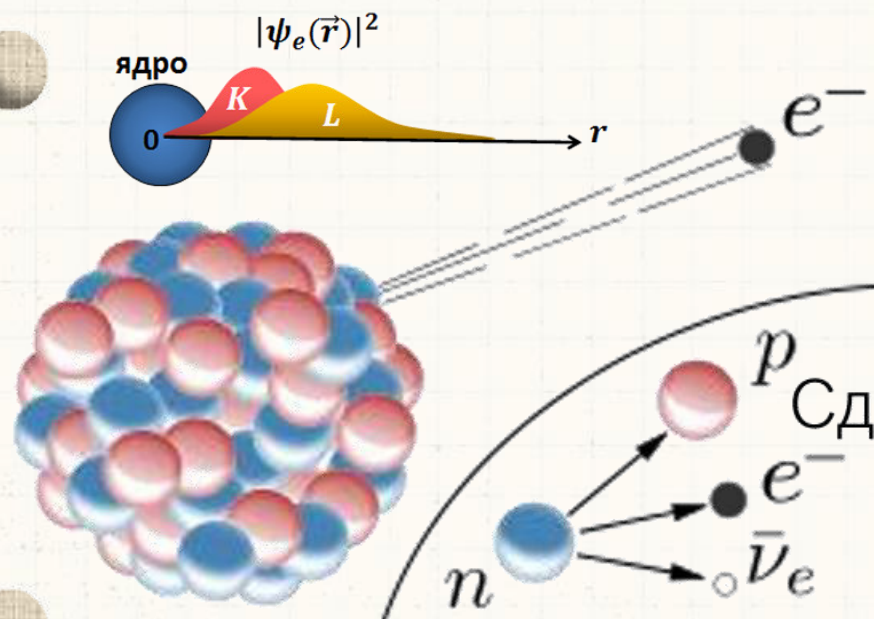
Бета-плюс – образование позитрона (β^+)

K-захват – ядро поглощает ближайший электрон

$$M(A, Z) > M(A, Z + 1) + m_e;$$

$$M(A, Z) > M(A, Z - 1) + m_e;$$

$$M(A, Z) + m_e > M(A, Z - 1).$$



$${}_0^1n \rightarrow {}_1^1p + e^- + \nu;$$

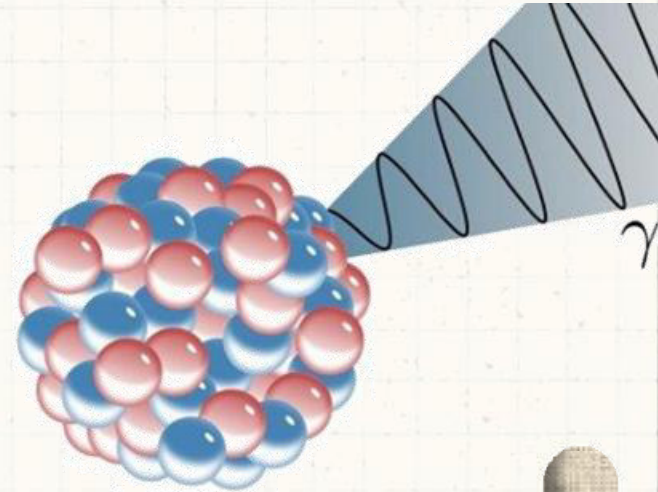
$${}_1^1p \rightarrow {}_0^1n + e^+ + \tilde{\nu}.$$

Сдвиг вправо по таблице для β^-

C 12,011 2s²2p² Углерод	N 14,0067 2s²2p³ Азот
6 4 2	7 2

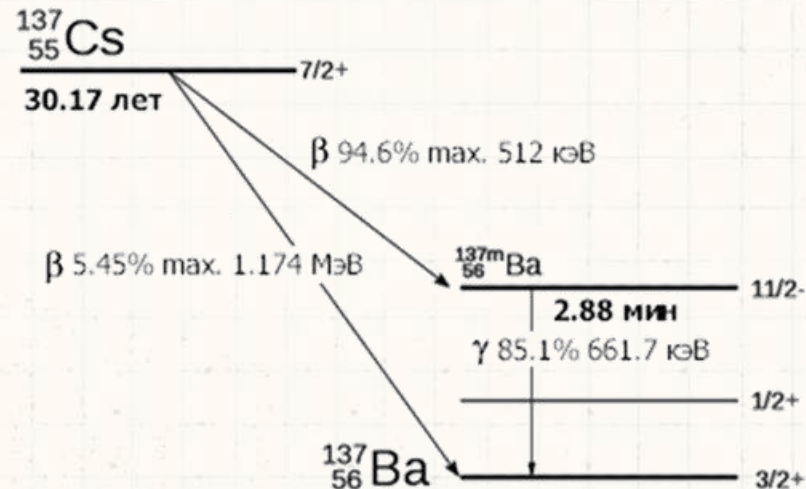
Гамма-распад

Гамма-квант:
Высокоэнергетический квант
электромагнитного излучения



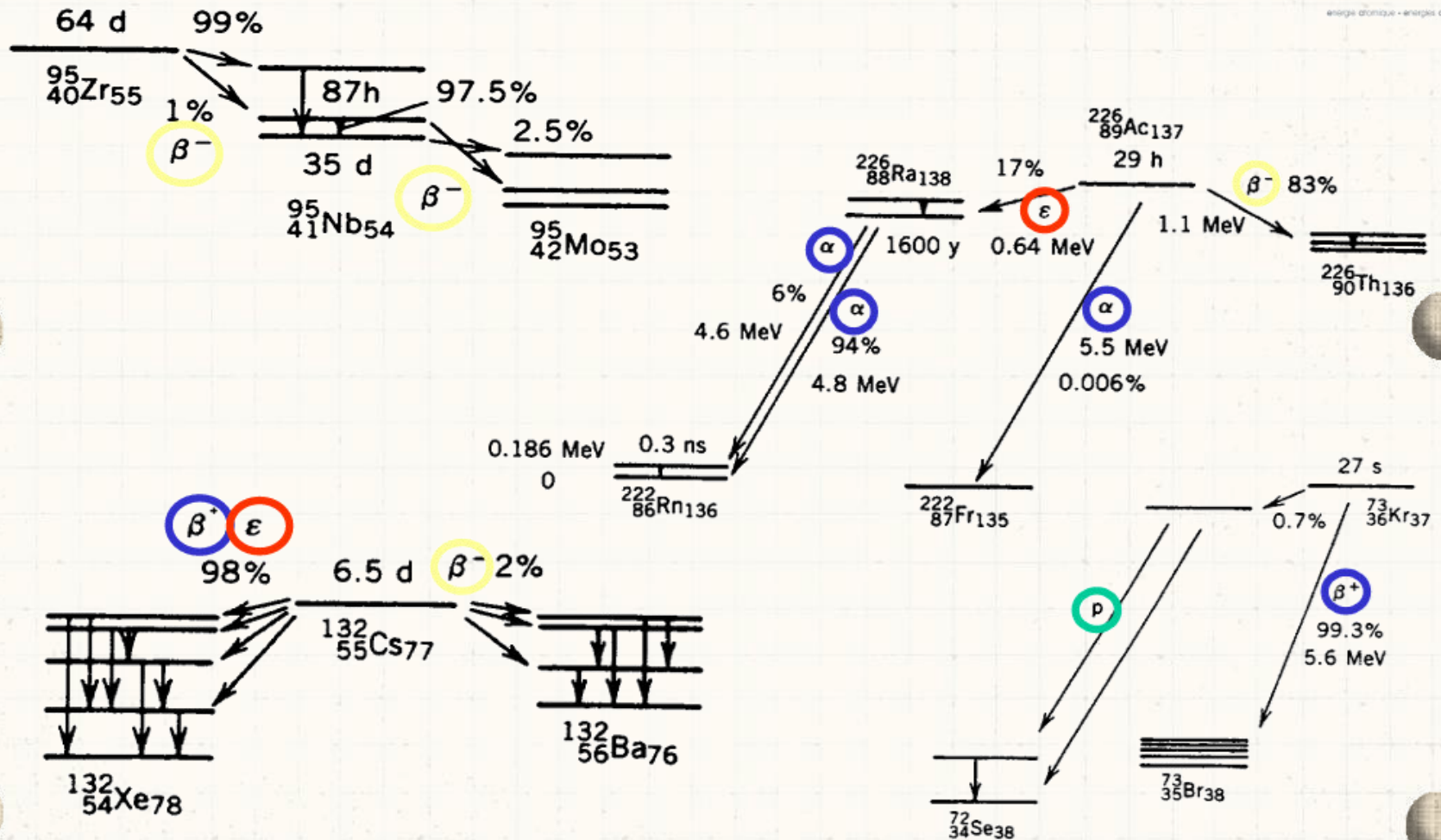
$$\frac{E(\gamma)}{E(\text{видимый свет})} = 1\,000 - 1\,000\,000$$

Сопровождает альфа и бета распад!



Цепочка радиоактивного распада

energia atomowa - energia atomowa



Закон радиоактивного распада

Пусть в момент времени t имеется $N(t)$ одинаковых радиоактивных ядер или нестабильных частиц и вероятность распада отдельного ядра (частицы) в единицу времени равна λ .

Тогда за промежуток dt число радиоактивных ядер (частиц) уменьшится на dN , причём

$$dN = -\lambda \cdot N(t)dt,$$

откуда

$$N(t) = N(0)e^{-\lambda t} = N(0)e^{-\frac{t}{\tau}},$$

где $N(0)$ – число радиоактивных ядер (частиц) в момент $t = 0$.

Наряду с λ используют

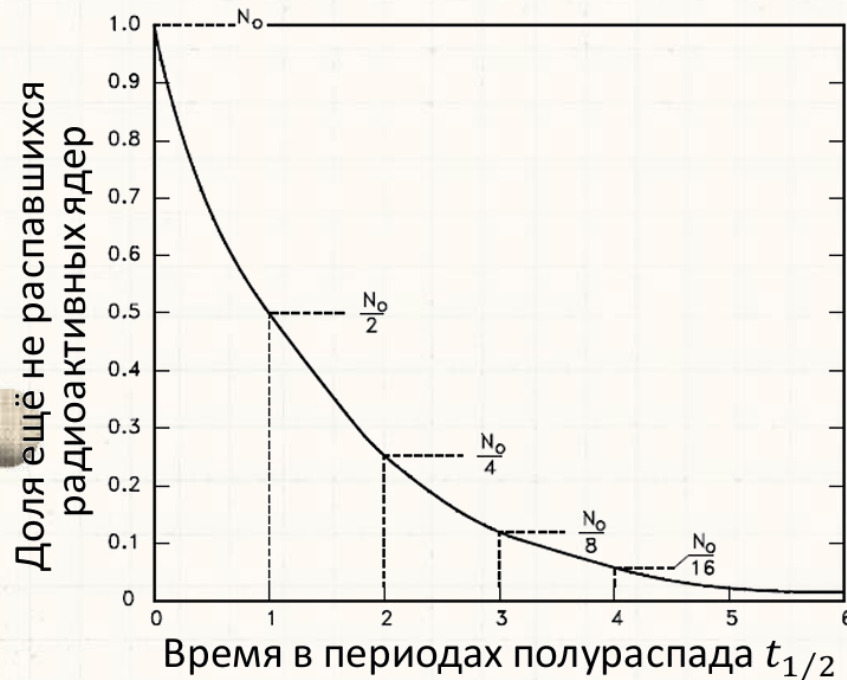
$\tau = \frac{1}{\lambda}$ – среднее время жизни ядра (до распада);

$t_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$ – период полураспада.

Среднее число $\bar{n}$ распадов за малое время t :

$$\bar{n} \approx N\lambda t$$

Закон радиоактивного распада



Период полураспада $T_{1/2}$ - время, требующееся для распада половины атомов данного радиоактивного вещества.

$$T_{1/2} \approx \frac{0.693}{\lambda}$$

Средняя продолжительность τ времени жизни атомов радиоактивного вещества определяется как сумма времён существования всех атомов данного изотопа, делённая на число атомов:

$$\begin{aligned} \tau &= -\frac{1}{N_0} \int_{t=0}^{t=\infty} t dN = \frac{1}{N_0} \int_0^{\infty} t \lambda N dt = \lambda \int_0^{\infty} t e^{-\lambda t} dt = \\ &= -\left[\frac{\lambda t + 1}{\lambda} e^{-\lambda t} \right]_0^{\infty} = \frac{1}{\lambda}. \end{aligned}$$

Скорость распада — dN/dt атомов радиоактивного вещества называют абсолютной радиоактивностью (или абсолютной активностью) A препарата.

Активность источника A — число распадов в единицу времени:

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

$$A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$$

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t}$$

Единица измерения радиоактивности
[Беккерель] = Бк = [распад/с]

По сути – это **скорость** (интенсивность) распада – количество распавшихся ядер (в штуках) в единицу времени (секунда).

Единица измерения воздействия радиации на организм
(эквивалентная доза)

[Зиверт] = Зв = [Дж/кг]

По сути – это **энергия**, переданная организму.

Корректно оценивать последствия воздействия радиации на человека именно в Зивертах, а не в Беккерелях.

Радиобиологический парадокс

В общем случае, когда имеется цепочка распадов $1 \rightarrow 2 \rightarrow \dots n$, процесс описывается системой дифференциальных уравнений

$$dN_i/dt = -\lambda_i N_i + \lambda_{i-1} N_{i-1}.$$

Решением системы (10) для активностей с начальными условиями $N_1(0) = N_{10}$; $N_i(0) = 0$ будет

$$A_n(t) = N_{10} \sum_{i=1}^n c_i e^{-\lambda_i t},$$

где

$$c_m = \frac{\prod_{i=1}^n \lambda_i}{\prod_{i=1}^n (\lambda_i - \lambda_m)}.$$

Штрих означает, что в произведении, которое находится в знаменателе, опускается множитель с $i = m$.

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**

