

«Радиологические измерения»

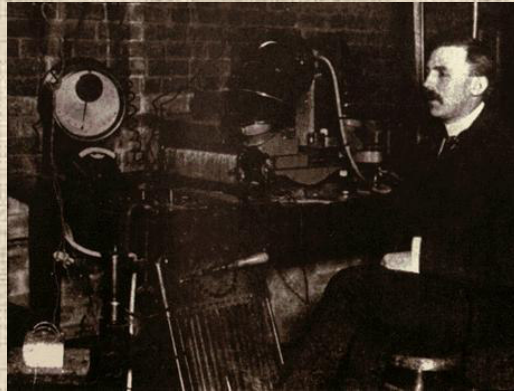
Лекция 3. Радиоактивность.

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

История открытия радиоактивности: первые шаги

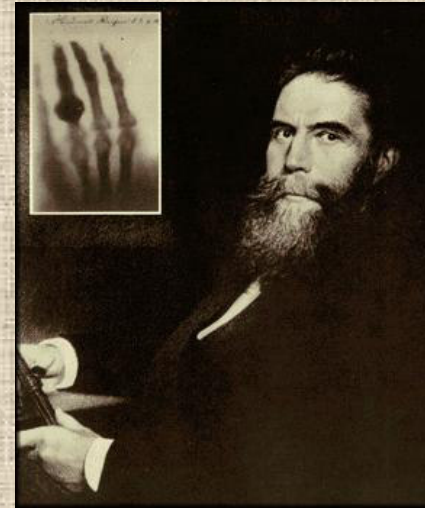
Rutherford:

Discoverer
Alpha and Beta
rays 1897



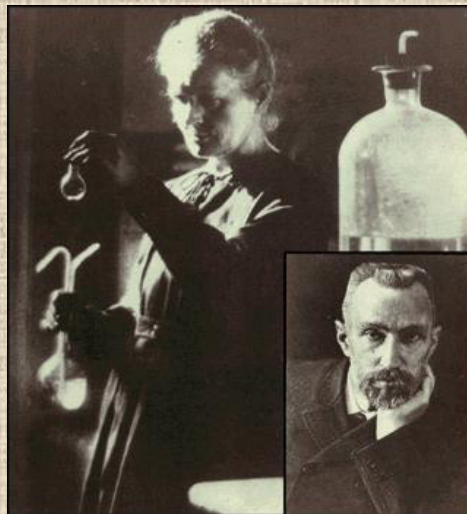
Roentgen:

Discoverer of
X-rays 1895



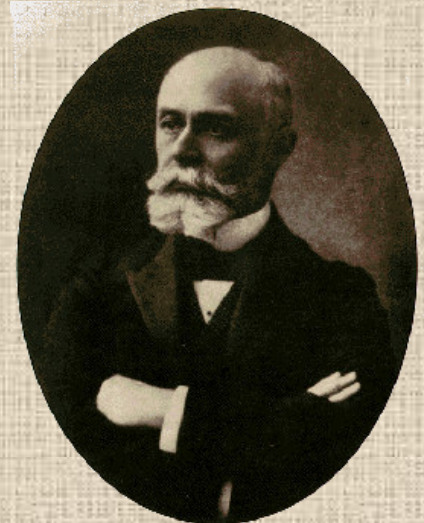
The Curies:

Discoverers of
Radium and
Polonium 1900-
1908



Becquerel:

Discoverer of
Radioactivity
1896



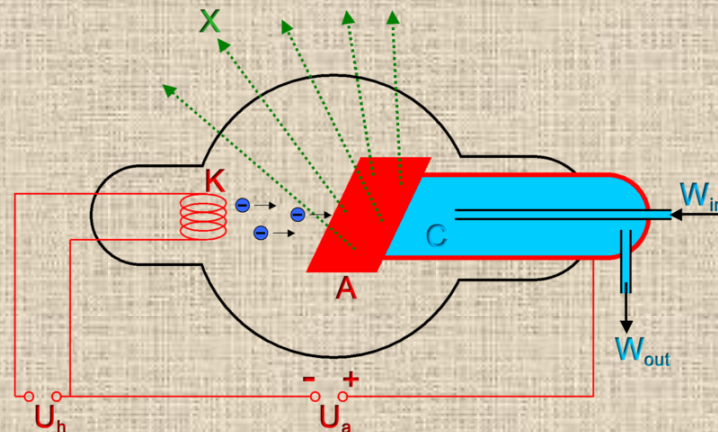
История открытия естественной радиоактивности



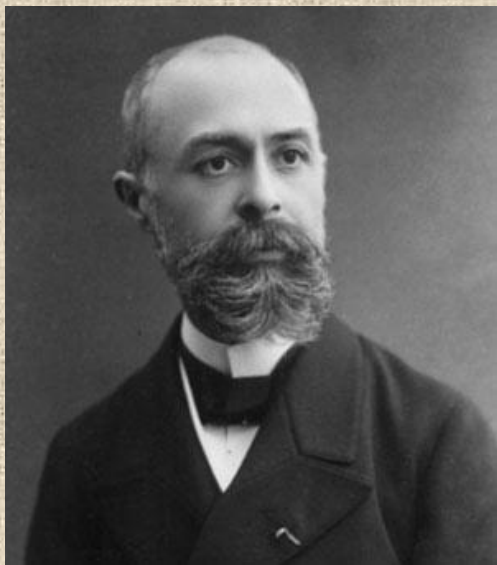
Вильгельм Рентген



В 1895 г. немецкий ученый Рентген открыл лучи, которые впоследствии были названы его именем. Рентгеновские лучи возникают при сильном ускорении заряженных частиц (тормозное излучение), либо при высокоэнергетичных переходах в электронных оболочках атомов или молекул. Оба эффекта используются в рентгеновских трубках, в которых электроны, испущенные катодом, ускоряются под действием разности электрических потенциалов между анодом и катодом (при этом рентгеновские лучи не испускаются, т. к. ускорение слишком мало) и ударяются об анод, где они резко тормозятся (при этом испускаются рентгеновские лучи: т. н. тормозное излучение) и в то же время выбивают электроны из внутренних электронных оболочек атомов анода. Пустые места в оболочках занимаются другими электронами атома. При этом испускается рентгеновское излучение с характерным для материала анода спектром энергий.



История открытия естественной радиоактивности



Антуан Анри Беккерель



В 1896 г. Беккерель случайно открыл радиоактивность во время работ по исследованию фосфоресценции в солях урана. К концу февраля он приготовил новую пластинку. Но погода была пасмурной и оставалась такой до 1 марта. Утро 1 марта было солнечным, и опыты можно было возобновить. Беккерель решил, однако, проявить пластинки, лежавшие несколько дней в темном шкафу. На проявленных пластинках четко обозначились силуэты образцов минералов, лежавших на непрозрачных экранах пластинок. Минерал без предварительного освещения испускал невидимые лучи, действовавшие на фотопластинку через непрозрачный экран. Беккерель немедленно ставит повторные опыты. Оказалось, что соли урана сами по себе без всякого внешнего воздействия испускают невидимые лучи, засвечивающие фотопластинку и проходящие через непрозрачные слои.

2 марта Беккерель сообщил о своем открытии

История открытия естественной радиоактивности

Мария Склодовская-Кюри



В 1898 г. Мария и Пьер Кюри выделили новый радиоактивный элемент – полоний, названный в честь Польши (Нобелевская премия 1903 г.). Вторую Нобелевскую премию М. Кюри получила в 1911 году за открытие радия.

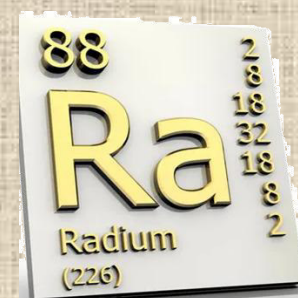
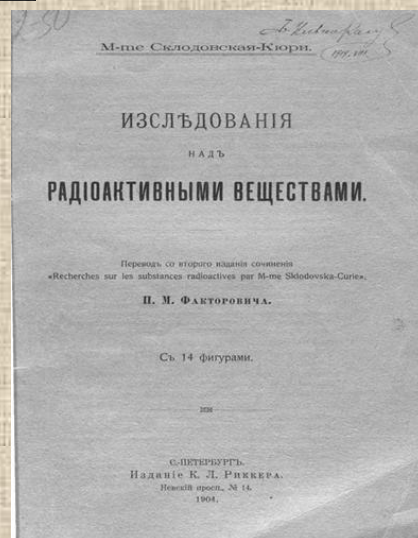
Пьер Кюри



84 208.982

Po

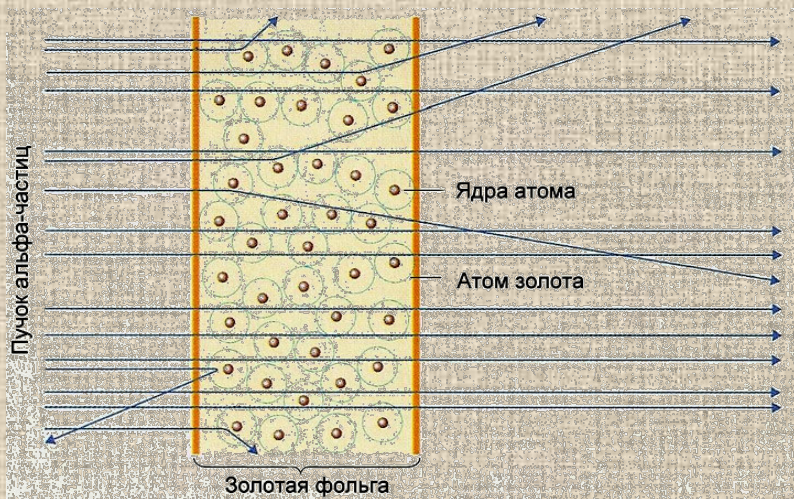
Polonium



История открытия естественной радиоактивности



Эрнест Резерфорд



Э. Резерфорд экспериментально установил (1899), что соли урана испускают лучи 3 типов, которые по-разному отклоняются в магнитном поле:

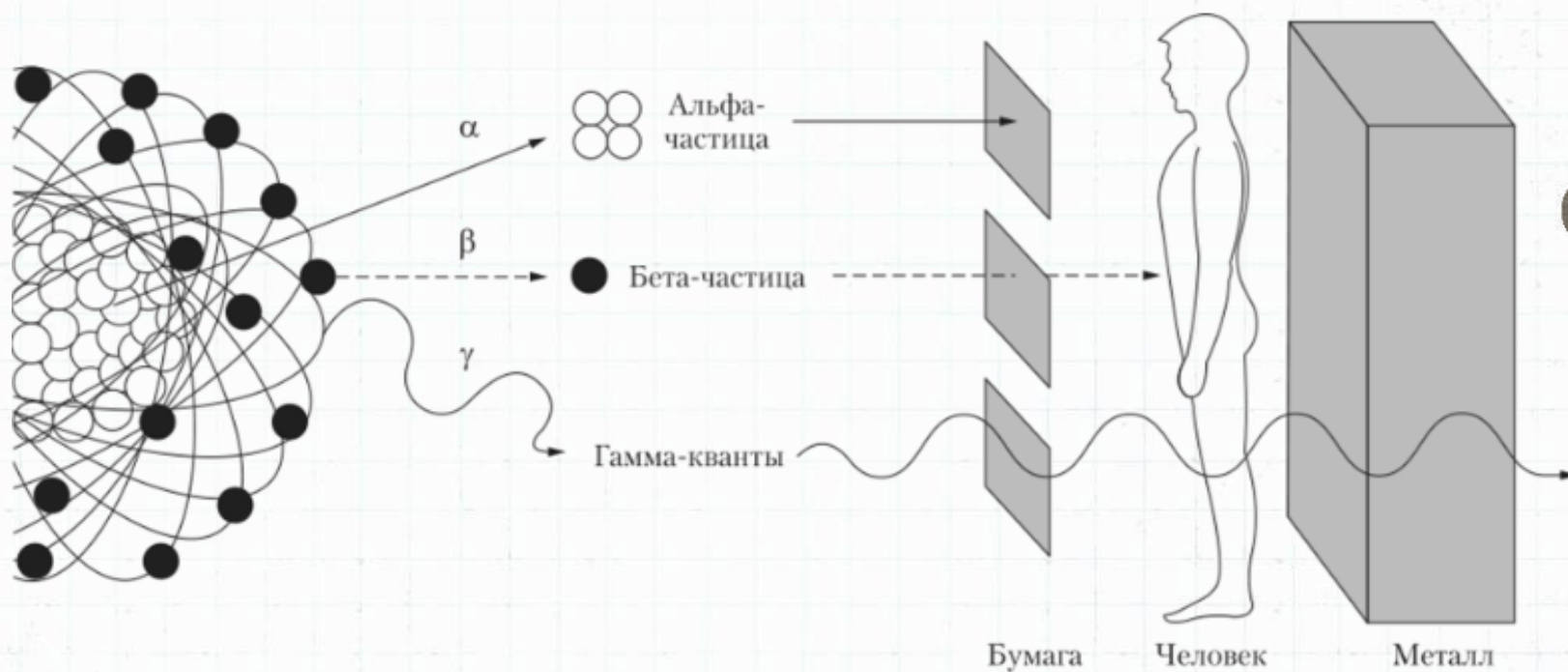
- лучи первого типа отклоняются так же, как поток положительно заряженных частиц; их называли α -лучами;

- лучи второго типа отклоняются в магнитном поле так же, как поток отрицательно заряженных частиц (в противоположную сторону), их называли β -лучами;

- лучи третьего типа, которые не отклоняются магнитным полем, называли γ -излучением.

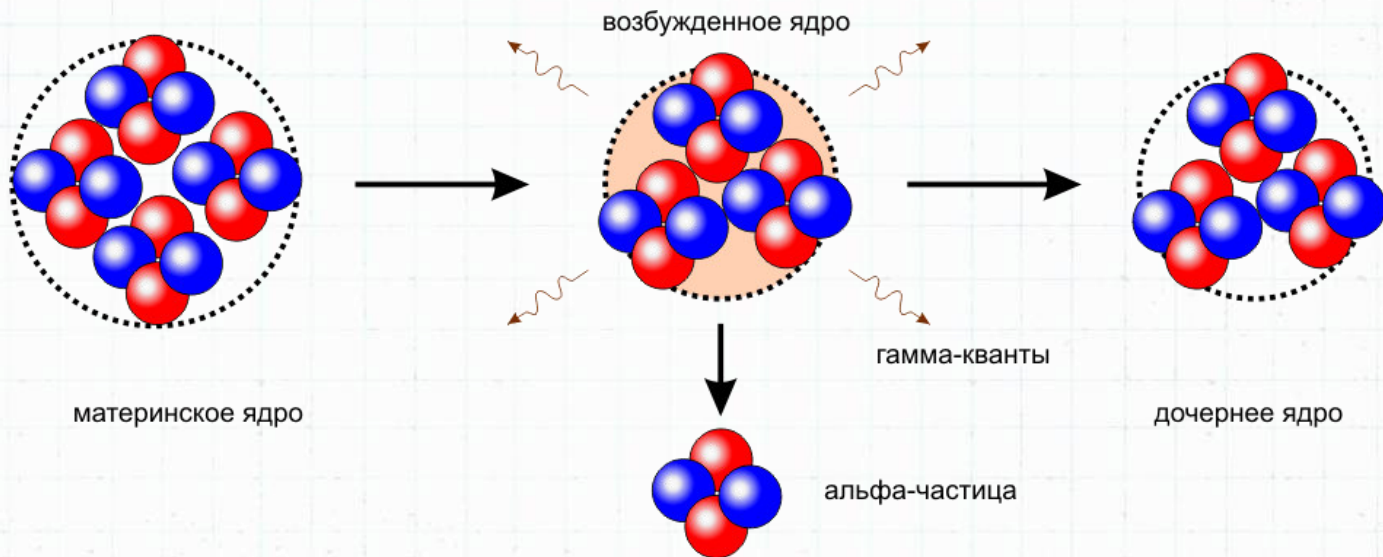
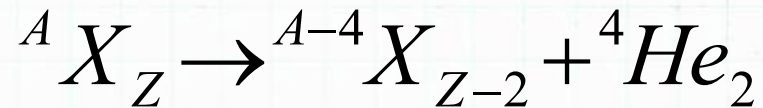
- Энергетические спектры α -частиц и γ -квантов, излучаемых радиоактивными ядрами, прерывистые («дискретные»), а спектр β -частиц — непрерывный.

ЯВЛЕНИЕ РАДИОАКТИВНОСТИ – самопроизвольное превращение одних атомных ядер в другие, сопровождаемое испусканием альфа-частиц, бета-частиц, гамма-квантов и ионов



Виды радиоактивности

АЛЬФА-РАСПАД (АЛЬФА-РАДИОАКТИВНОСТЬ) – самопроизвольное превращение ядер с массовым числом A_1 в ядра с $A_2 = A_1 - 4$ при одновременном испускании альфа-частиц, являющиеся ядрами гелия $He-4$



Альфа-распад

Ядро альфа-радиоактивно, если выполняется условие

$$\varepsilon_{\alpha} = [M(A-4, Z-2) + M(^4\text{He}_2) - M(A, Z)] \cdot c^2 < 0$$

$$M(A, Z) > M(A-4, Z-2) + M(^4\text{He}_2)$$

При этом **энергия альфа-распада** (суммарная кинетическая энергия продуктов распада) в случае распада из основного состояния

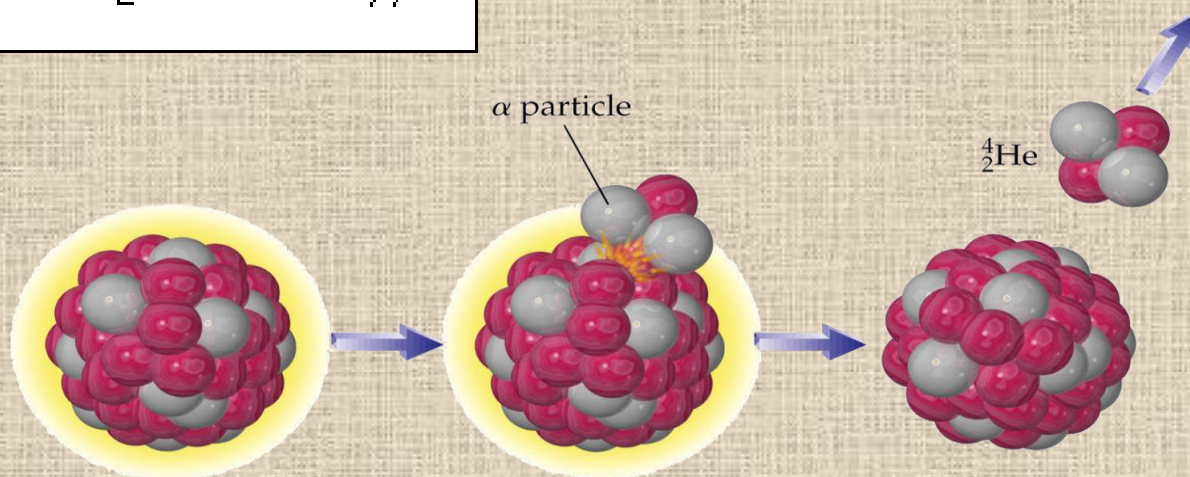
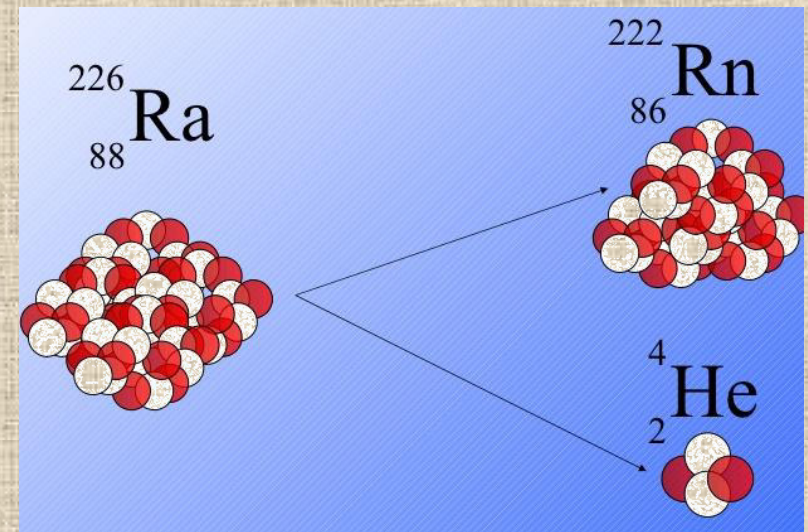
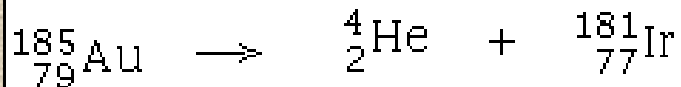
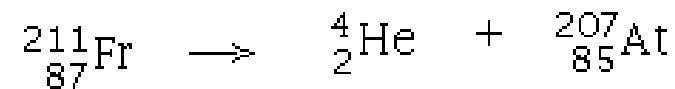
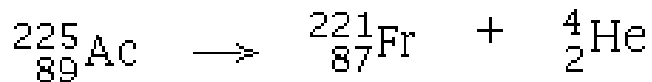
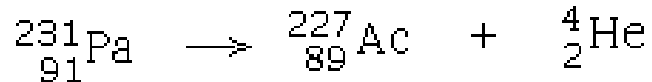
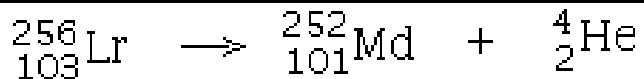
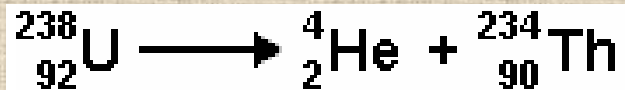
$$\Delta E_{\alpha} = |\varepsilon_{\alpha}| = [M(A, Z) - M(A-4, Z-2) - M(^4\text{He}_2)] \cdot c^2 = T_{\alpha} + T_{\text{nucleus}}$$

Из закона сохранения импульса **кинетическая энергия** распределяется следующим образом:

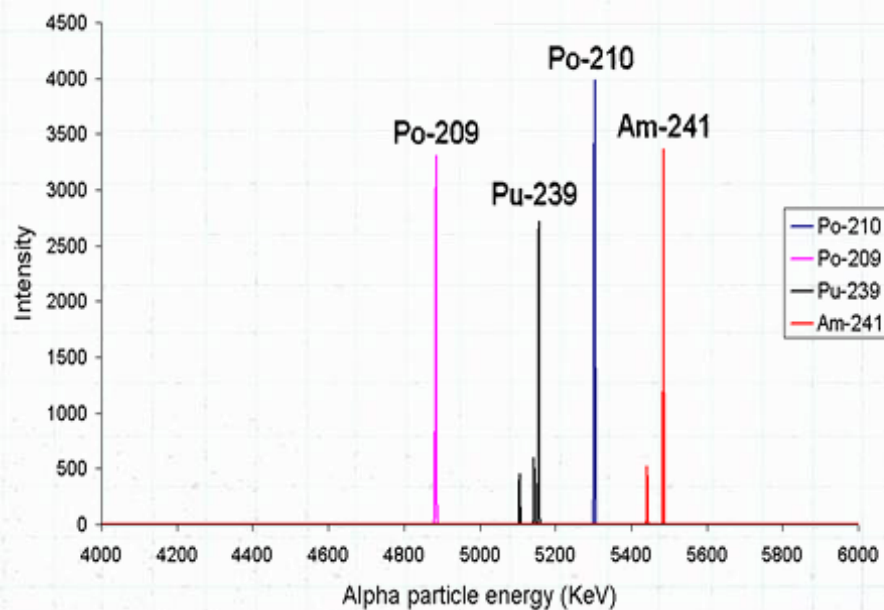
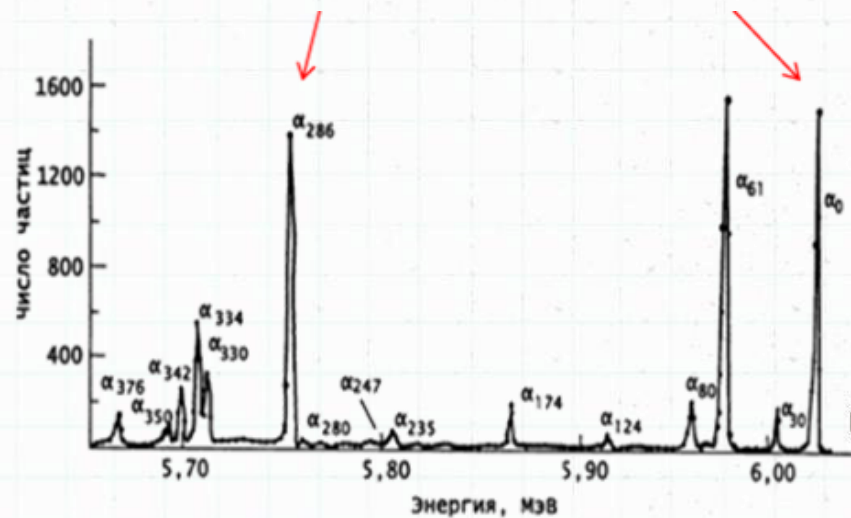
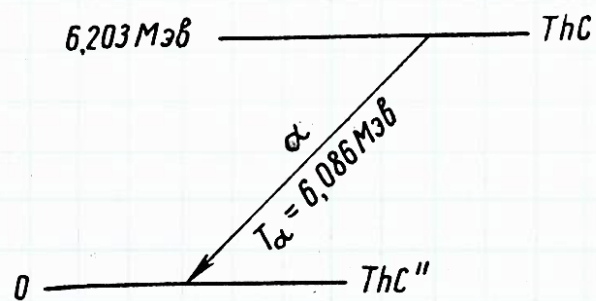
$$\vec{P}_{\alpha} + \vec{P}_{\text{nucleus}} = \vec{P}(A, Z)$$

$$\vec{P}(A, Z) = 0 \quad \left| \vec{P}_{\alpha} \right| = \left| \vec{P}_{\text{nucleus}} \right| \quad T_{\text{nucleus}} = T_{\alpha} \frac{M_{\alpha}}{M_{\text{nucleus}}}$$

Примеры альфа-распада

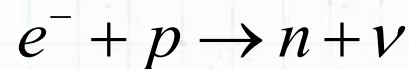
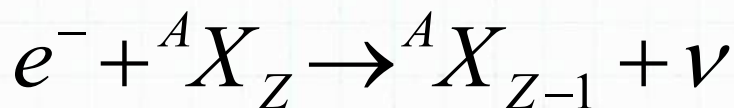
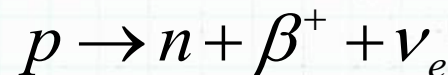
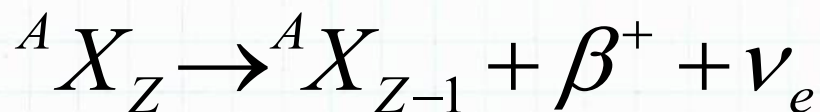
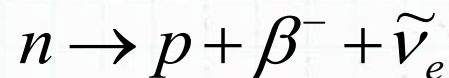
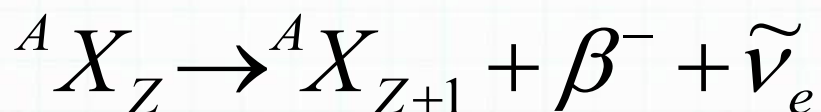


α -распад



Виды радиоактивности

БЕТА-РАСПАД (БЕТА-РАДИОАКТИВНОСТЬ) – самопроизвольное превращение ядер с порядковым номером Z_1 в ядра с $Z=Z_1\pm 1$, сопровождаемое испусканием бета-частиц (электронов или позитронов), либо Е-захватом



Энергетические условия бета-распада имеют вид:

$$\beta^- (n \rightarrow p + e^- + \tilde{\nu}_e),$$

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

$$\beta^+ (p \rightarrow n + e^+ + \nu_e),$$

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

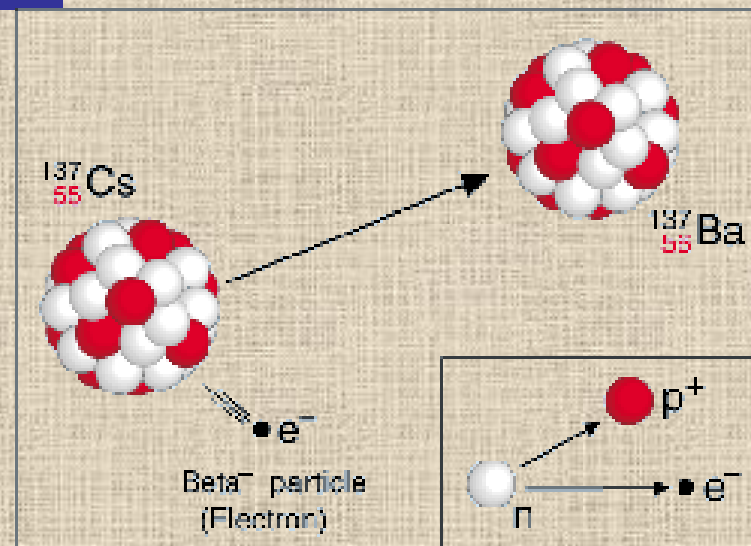
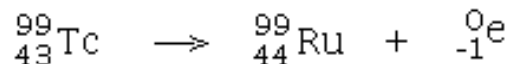
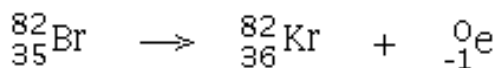
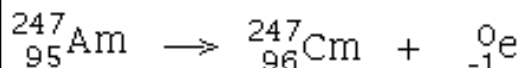
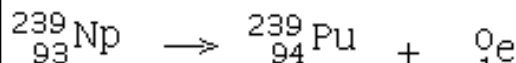
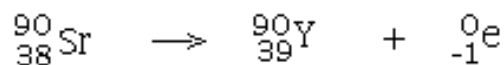
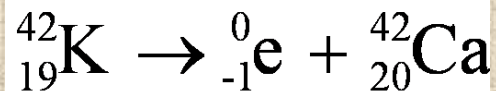
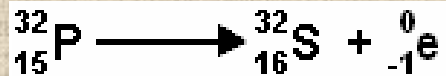
$$\text{е-захват } (p + e^- \rightarrow n + \nu_e), \quad M(A, Z) + m_e > M(A, Z-1).$$

$$Q_{\beta^-} = [{}^A M(A, Z) - {}^A M(A, Z+1)]c^2,$$

$$Q_{\beta^+} = [{}^A M(A, Z) - {}^A M(A, Z-1) - 2m_e]c^2,$$

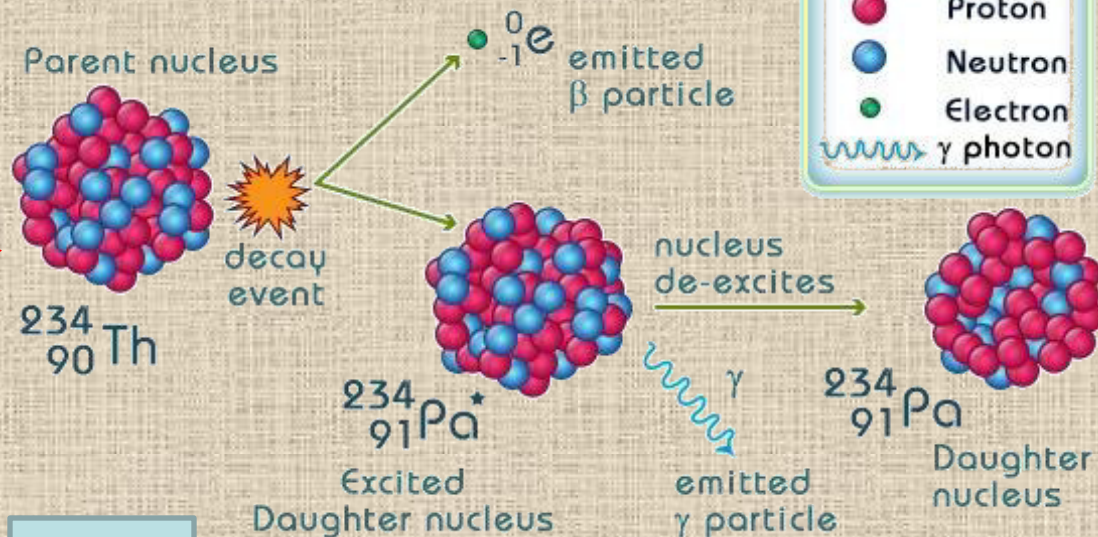
$$Q_{\text{е-захв}} = [{}^A M(A, Z) - {}^A M(A, Z-1)]c^2.$$

Примеры бета-распадов



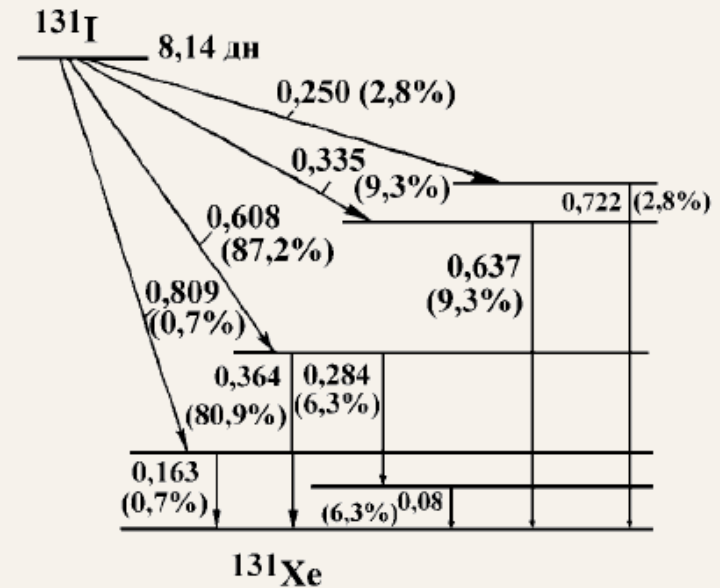
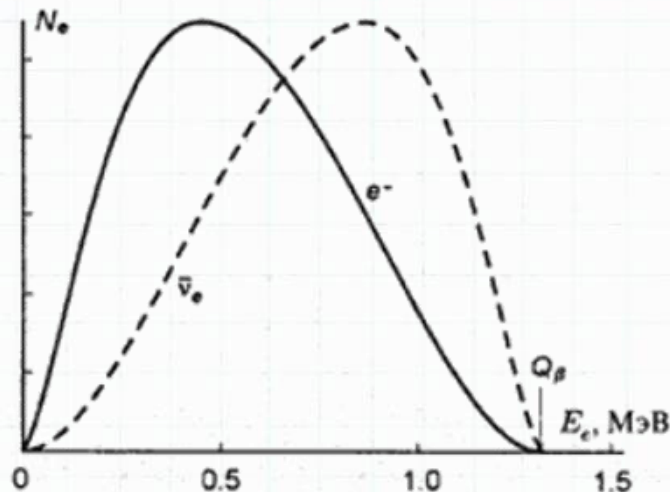
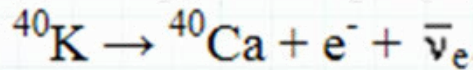
Beta Decay of a Thorium-234 nucleus

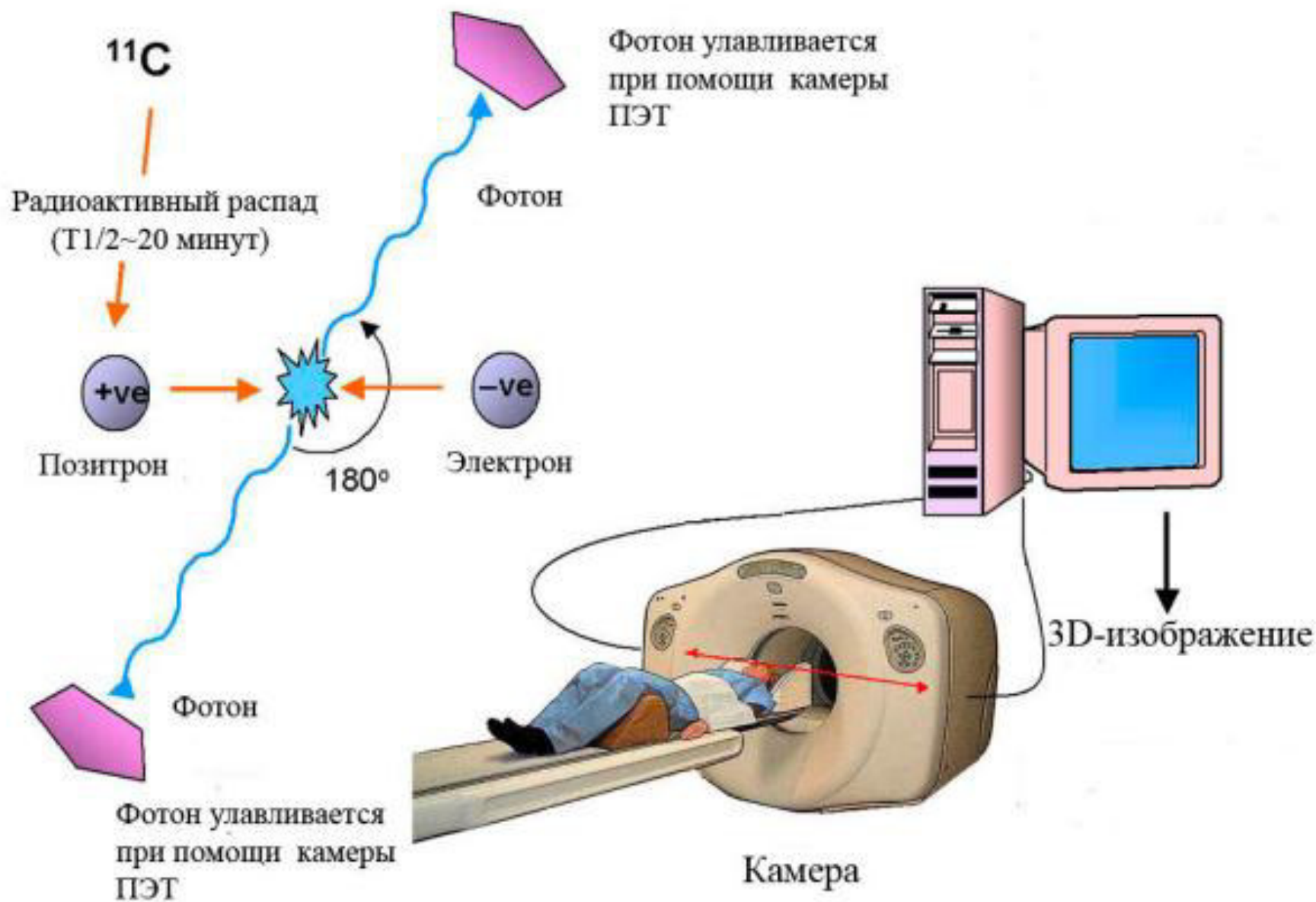
**Beta Decay
with
Gamma
Radiation**



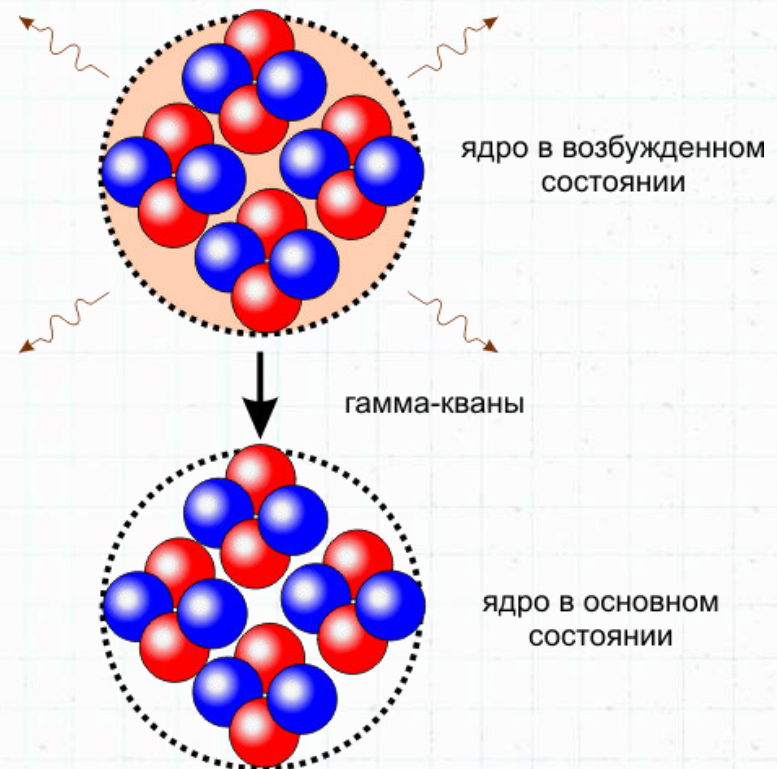
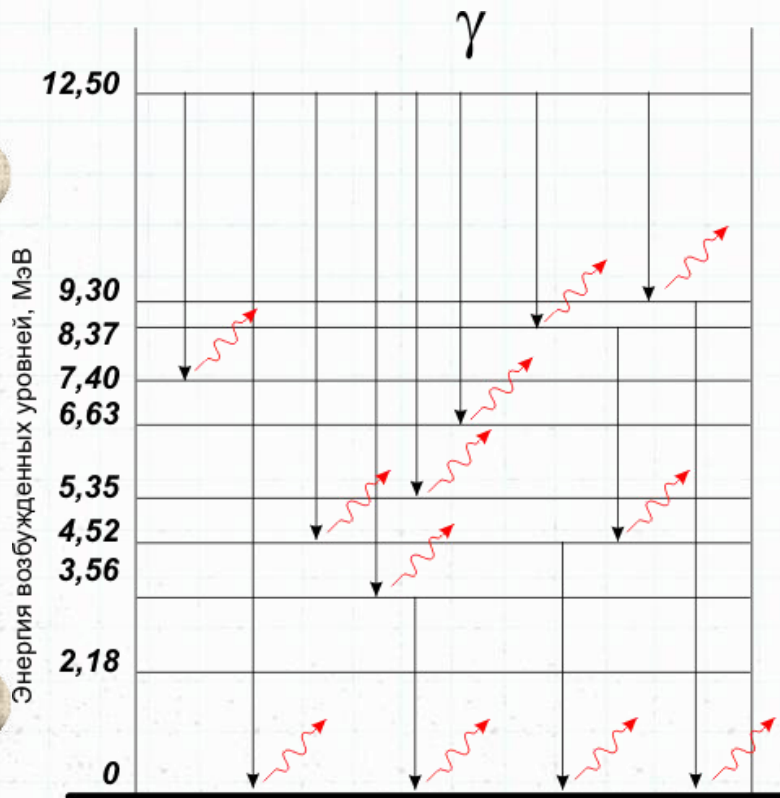
β-распад

Спектр электронов, образующихся при β-распаде в отличие от дискретного спектра α-частиц имеет непрерывный характер, т.е. из ядра вылетают электроны различных энергий вплоть до энергии β-распада. Непрерывный спектр электронов некоторыми физиками интерпретировался как невыполнение закона сохранения энергии в β-распаде.





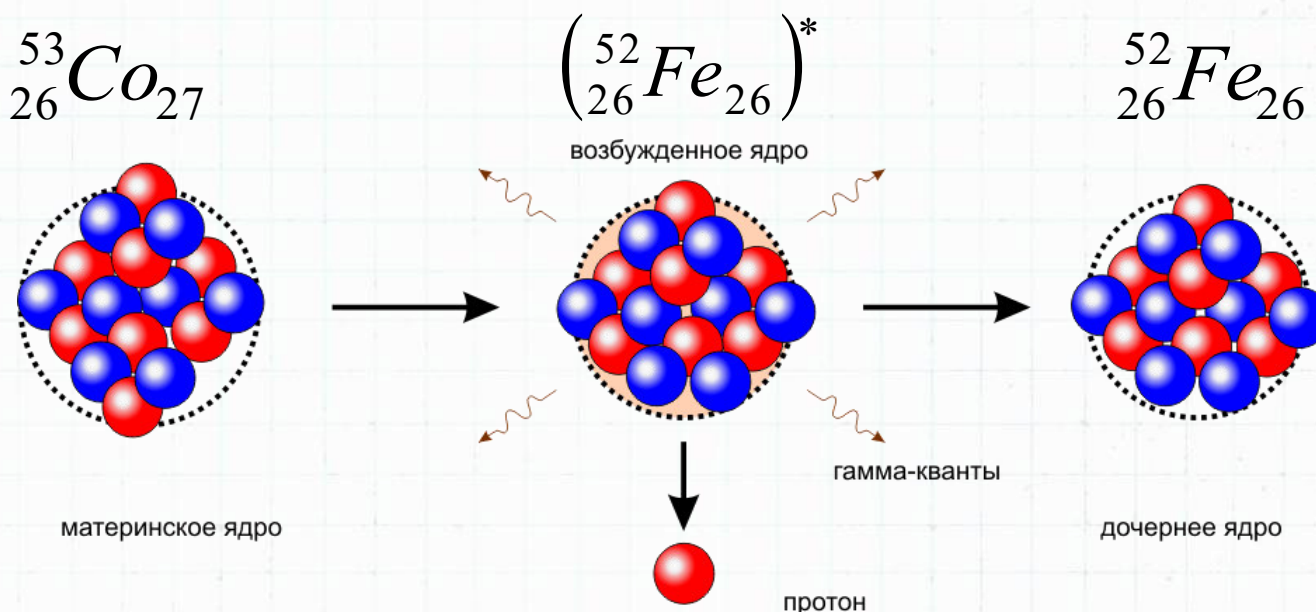
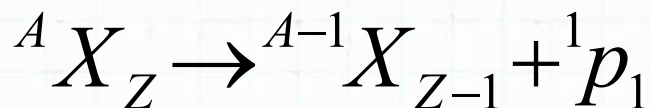
ГАММА-РАСПАД (ГАММА-РАДИОАКТИВНОСТЬ) – испускание гамма-квантов в процессе бета-распада и ядерных реакций при переходах ядер из верхних возбужденных состояний



НУКЛОННАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ

нейтронодефицитных ядер с испусканием протона

– самопроизвольное превращение

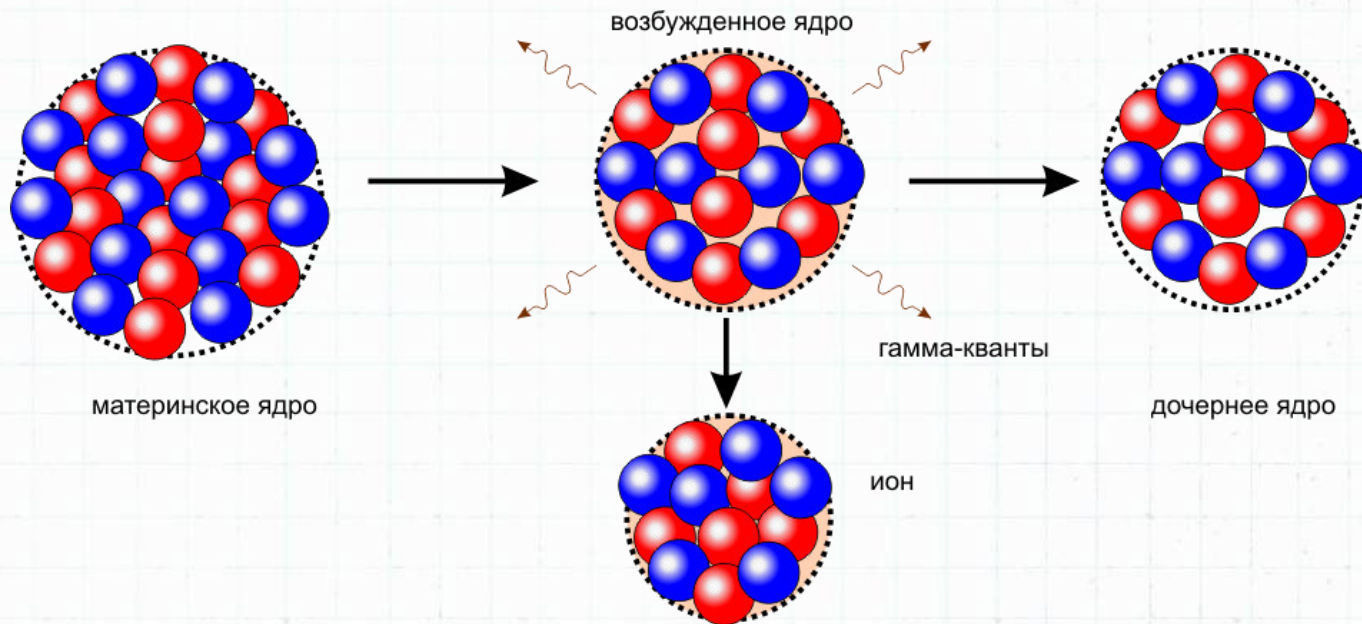


Известно свыше 30 изотопов, испускающих протоны из основного состояния ядер с $Z > 50$ от ${}^{105}Sb$ до ${}^{177}Tl$.

Нейтронная радиоактивность наблюдается вплоть до ядер с $Z = 16$, включая тяжёлые изотопы ${}^{26}O$, ${}^{33}Ne$, ${}^{36}Na$, ${}^{39}Mg$ и ${}^{49}S$.

Виды радиоактивности

КЛАСТЕРНАЯ РАДИОАКТИВНОСТЬ – самопроизвольное превращение ядер с испусканием ядер, тяжелее, чем альфа-частица



Кластерная радиоактивность – способность некоторых тяжелых ядер самопроизвольно испускать кластеры – ядра ^{14}C , ^{20}O , ^{24}Ne , ^{26}Ne , ^{28}Mg , ^{30}Mg , ^{32}Si и ^{34}Si .

Вероятность испускания ядер ^{14}C почти на 10 порядков меньше, чем вероятность испускания α -частиц.

Закон радиоактивного распада

Это означает, что число актов радиоактивного распада dN за время dt определяется только количеством радиоактивных ядер $N(t)$ в данный момент времени t

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

Вероятность распада λ входит в это уравнение в качестве коэффициента, который называется **постоянной распада**. Знак минус соответствует убыванию вещества в процессе распада.

Уравнение (1) легко решается, в результате чего получается следующий закон изменения числа радиоактивных ядер со временем:

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

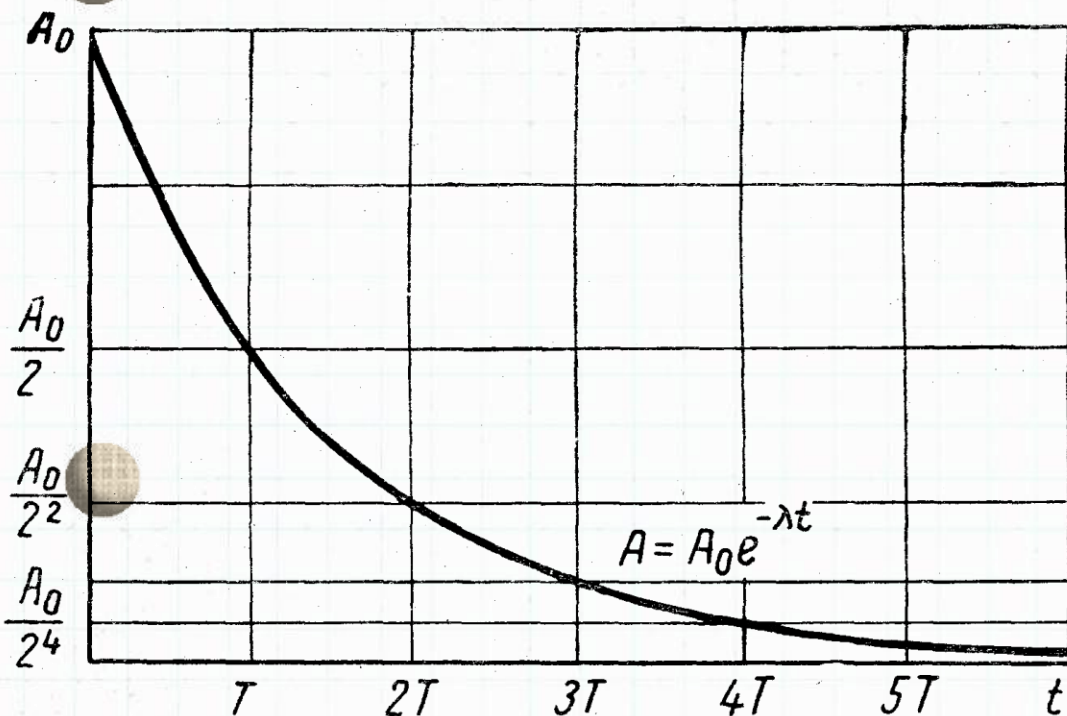
ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА – самопроизвольный спонтанный распад атомных ядер по закону (1), где

N_0 – количество радиоактивных ядер в данном объеме вещества в момент времени $t=0$;

N – количество радиоактивных ядер в том же объеме вещества в момент времени t ;

λ – постоянная распада.

Закон радиоактивного распада



$$A(t) = \frac{A_0}{2^{\frac{t}{T}}}$$

Естественно, что это явление интерпретировалось как уменьшение первоначального числа радиоактивных атомов N_0 по аналогичному закону

$$N(t) = \frac{N_0}{2^{\frac{t}{T}}}$$

Время T , за которое первоначальное количество N_0 радиоактивных атомов уменьшается в два раза, было названо **периодом полураспада**

ПОСТОЯННАЯ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА λ – это вероятность распада ядра за 1 сек, то есть доля ядер распадающаяся за 1 сек.

Если в полученное уравнение подставить вместо времени t период полураспада T , то может быть найдена связь постоянной распада λ с периодом полураспада T .

$$N(T) = \frac{N_0}{2}$$

$$N_0 \cdot e^{-\lambda T} = \frac{N_0}{2}$$

$$e^{-\lambda T} = \frac{1}{2}$$

$$\lambda = \frac{\ln 2}{T} \approx \frac{0,69}{T}$$

(3)

Закон радиоактивного распада

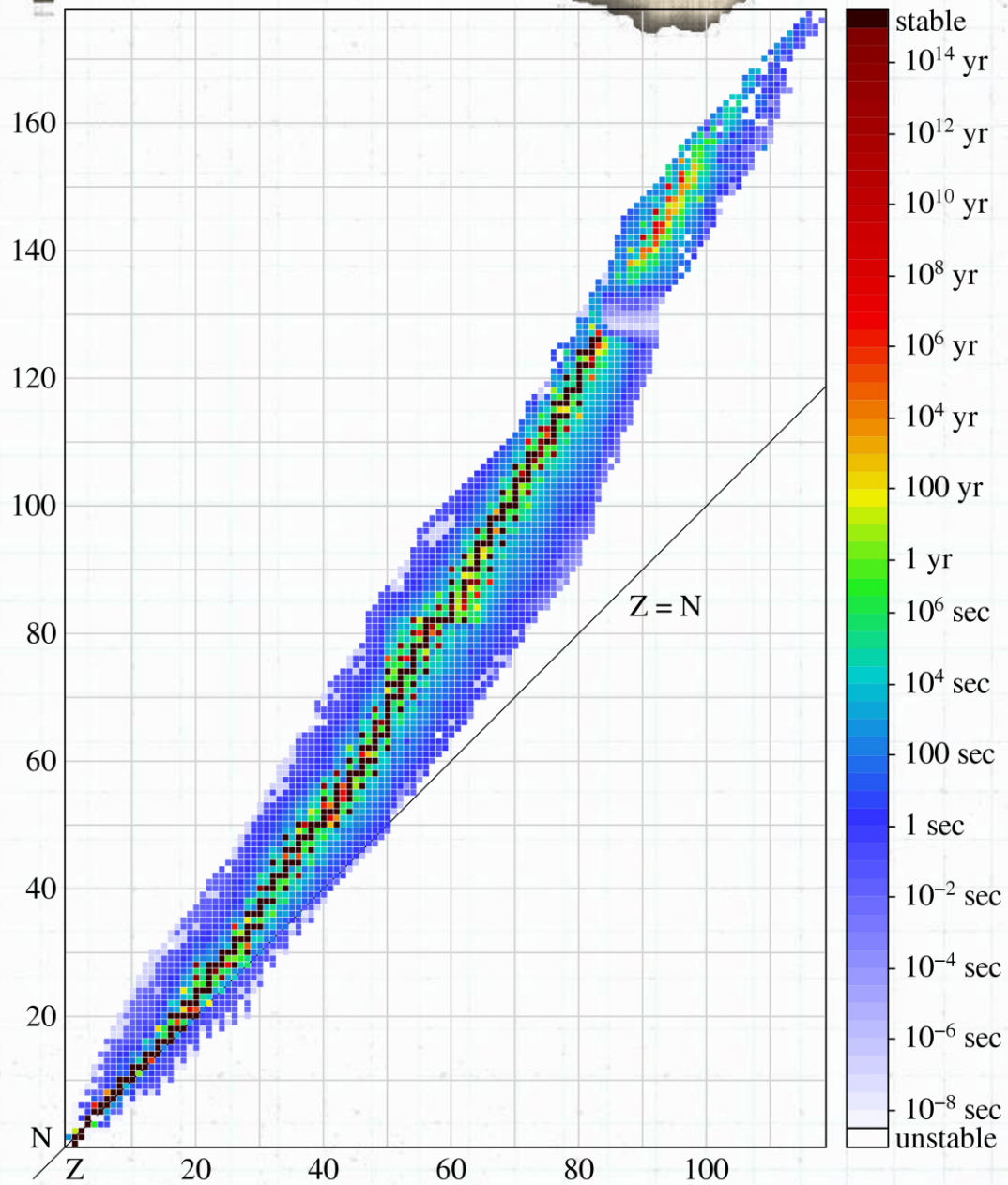
ВРЕМЯ ЖИЗНИ (СРЕДНЯЯ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ РАДИОАКТИВНОГО ИЗОТОПА) – промежуток времени, в течение которого исходное число радиоактивных ядер уменьшается в $e=2,7182818\dots$ раз

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

ПЕРИОД ПОЛУРАСПАДА T – это характеристика устойчивости ядер относительно распада, равная времени, в течение которого исходное количество ядер данного вещества распадается наполовину

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \tau \cdot \ln 2$$

Таблица нуклидов



Интенсивность распада, происходящего в радиоактивном препарате, характеризуется величиной, называемой активностью A . Активность определяется как число распадов, происходящих в радиоактивном препарате в единицу времени. Из физического смысла λ и определения A следует, что

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

Единицей измерения активности в СИ является **Беккерель (Бк)**, равный одному распаду в секунду. Используется также внесистемная единица кюри (Ки), равная активности одного грамма изотопа радия ^{226}Ra ($1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$).

Активность единицы массы радиоактивного препарата **$a = A/m$** называется **удельной активностью**.

**СПАСИБО ЗА
ВНИМАНИЕ!**

