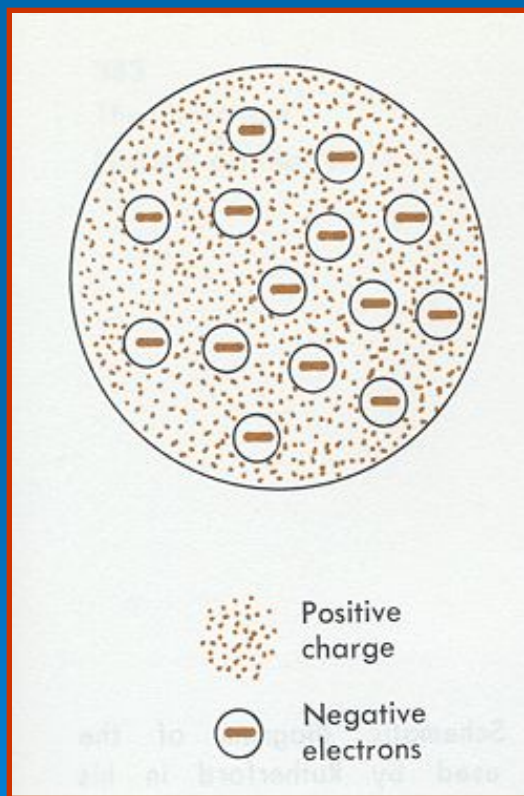


ATOM



АТОМ

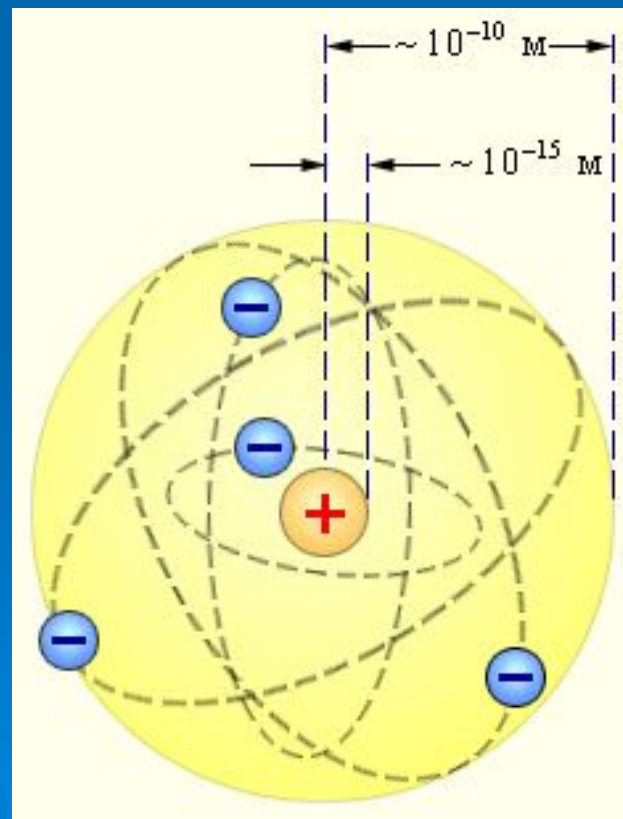
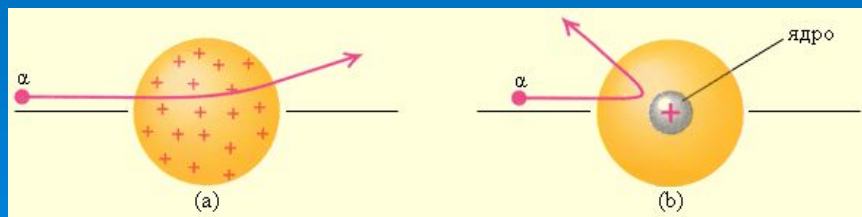
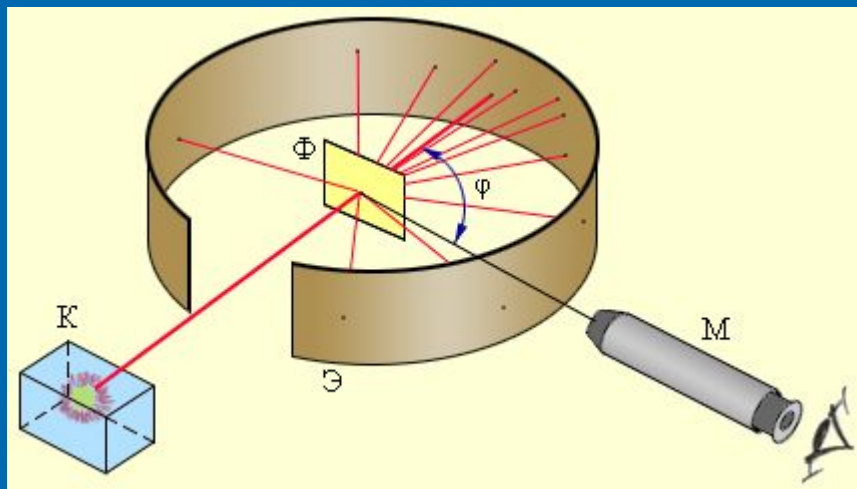
Модель Томсона



Первая попытка создания модели атома на основе накопленных экспериментальных данных (1903 г.) принадлежит Дж. Томсону. Он считал, что атом представляет собой электронейтральную систему шарообразной формы радиусом, примерно равным 10^{-10} м. Положительный заряд атома равномерно распределен по всему объему шара, а отрицательно заряженные электроны находятся внутри него.

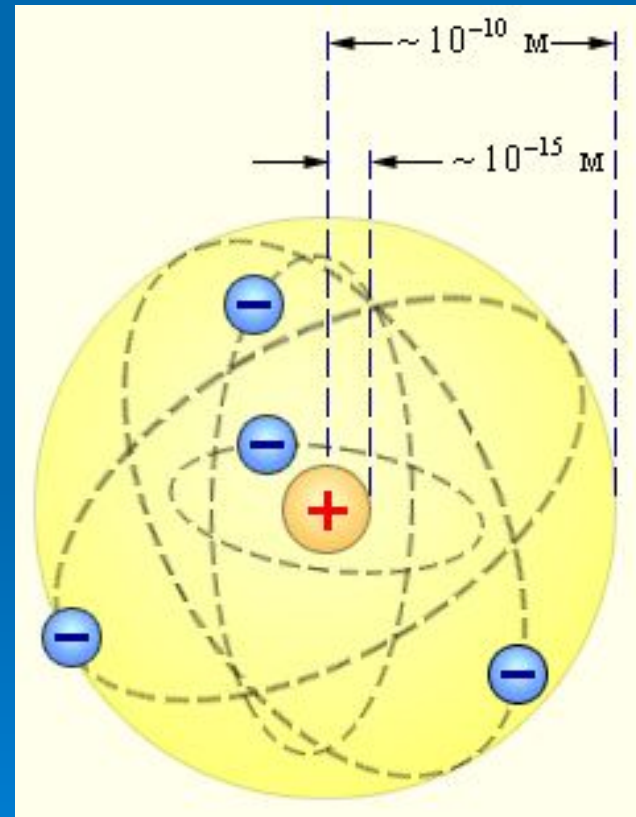
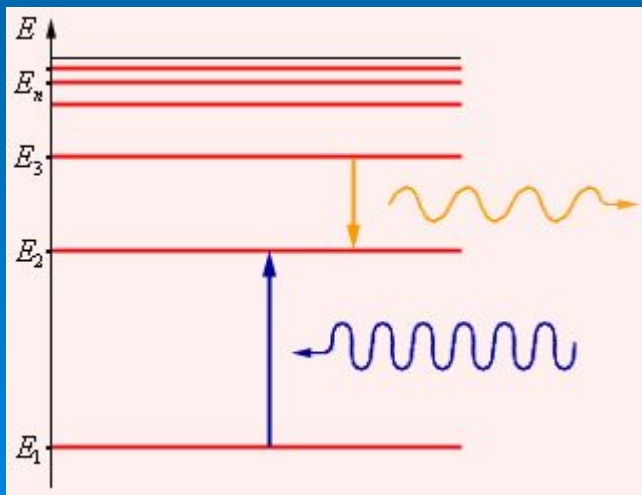
АТОМ

Модель Резерфорда 1911 г. Планетарная модель атома.



АТОМ

Модель Бора – полуклассическая модель



Состав атомного ядра

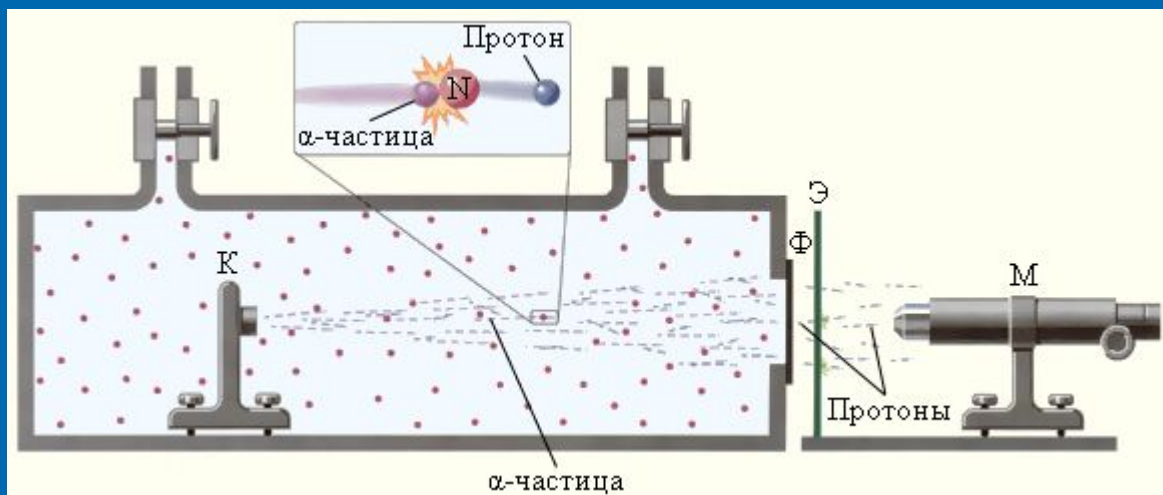


Схема опытов Резерфорда по обнаружению протонов в продуктах расщепления ядер

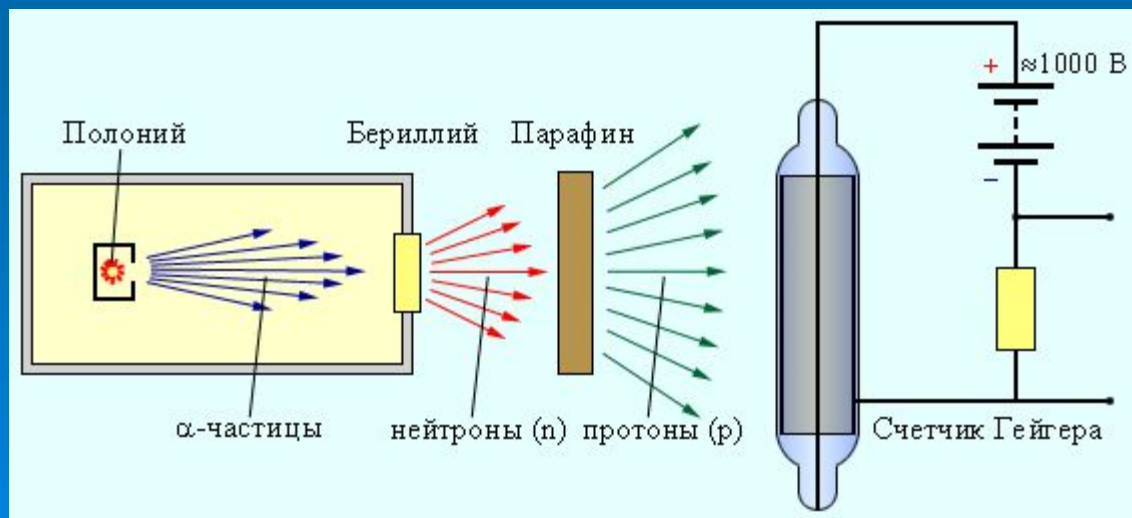
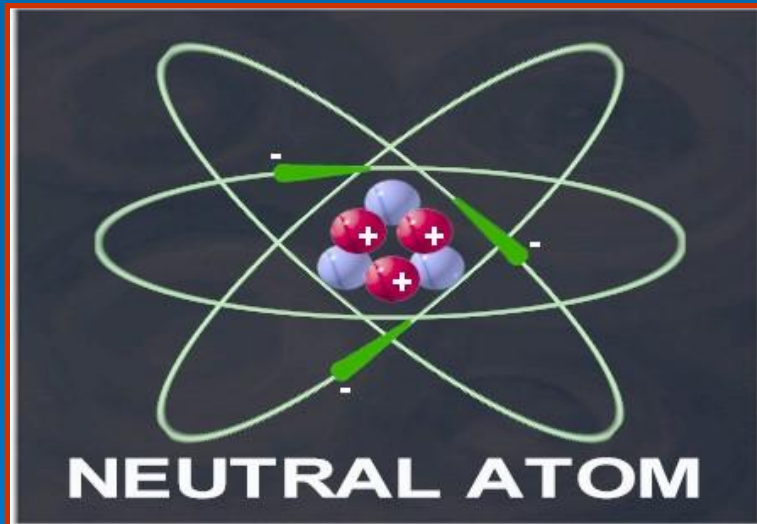


Схема опытов Чедвика по обнаружению нейтронов в продуктах расщепления ядер

АТОМ

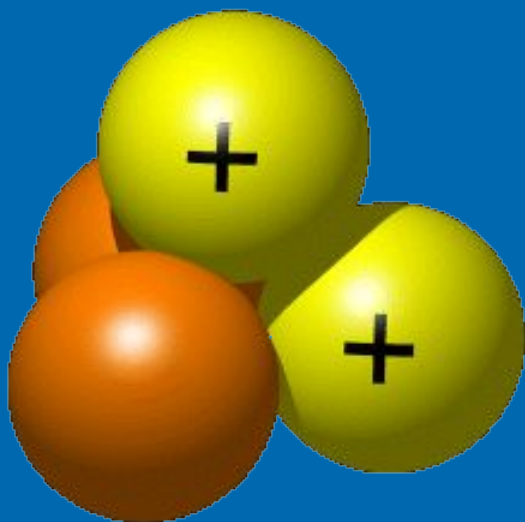
1932 г. Д.Д. Иваненко
и В. Гейзенберг



АТОМ СОСТОИТ ИЗ:

- Положительно заряженных (+) протонов,
- Незаряженных нейтронов и
- Отрицательно заряженных (-) электронов

Ядро

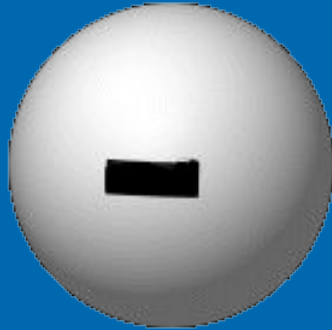


Протоны и нейтроны образуют ядро атома.

Ядро определяет название элемента и его атомную массу.

Протоны и нейтроны имеют почти одинаковую массу, при этом протон имеет электрический заряд. Нейтрон не имеет заряда.

Электроны



Электроны – отрицательно заряженные частицы, которые окружают ядро, находясь на своих орбитах.

Взаимодействие и обмен электронами между атомами образует химические связи, формируя химические соединения и молекулы.

Энергия связи электронов

- Электроны существуют в виде дискретных «оболочек» вокруг ядра (как планеты вокруг звезды)
- Каждая оболочка имеет свою энергию связи с ядром, удерживающую электрон вокруг атома
- Оболочки обозначаются буквами (K, L, M, N ...) где K – ближайшая к ядру оболочка, имеющая максимальную энергию связи.
- Максимальное количество электронов на каждой оболочке: 2 на K оболочке, 8 на L оболочке и т.д. ...

Атомная единица массы

The Atomic Mass Scale

- The atomic mass scale was originally based on hydrogen:

^1H atom = 1 amu

^{16}O atom $\approx$ 16 amu

^{12}C atom $\approx$ 12 amu

- Now, the scale is based on ^{12}C :

^{12}C atom = exactly 12 amu

^1H atom = 1.0078252 amu

^{16}O atom = 15.9949149 amu

**Где 1 аму
приблизительно
равна
 1.6605×10^{-24} грамма**

Атомная единица массы

Атомные массы протона и нейтрона
приблизительно равны:

Протон $= 1.6726 \times 10^{-24} \text{ г} = 1.0073 \text{ аем}$

Нейтрон $= 1.6749 \times 10^{-24} \text{ г} = 1.0087 \text{ аем}$

Таким образом, нейтрон немного тяжелее
протона.



Атомная единица массы

Разницу в массах нейтрона и протона можно понять, если представить, что нейтрон состоит из протона и электрона.

Свободный нейтрон является не стабильной частицей (время жизни ~ 8 мин). Распадется на протон электрон и антинейтрино



Атомная единица массы

Атомная масса электрона:

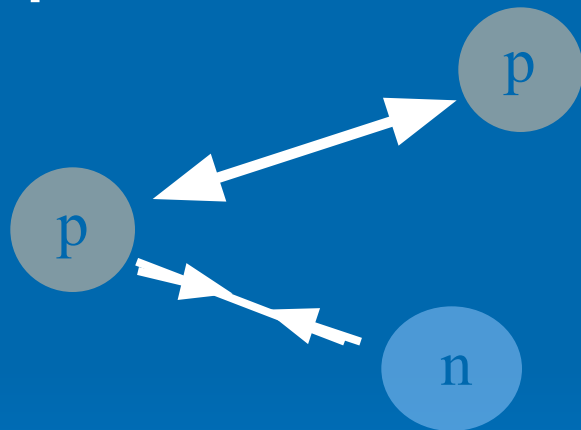
Электрон = 9.1094×10^{-28} г = 0.00055 аем

Таким образом, электрон имеет намного меньшую массу, чем протон и нейтрон (в 1837 раз).

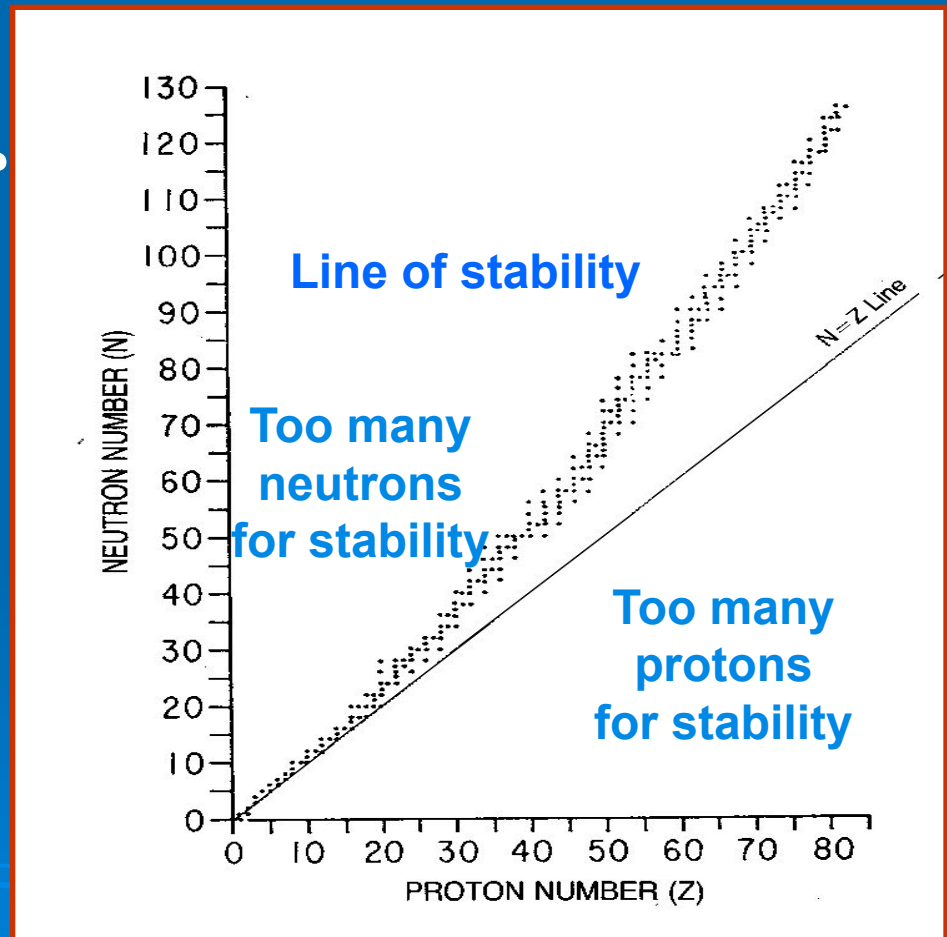


Стабильные нуклиды

Дальнодействующие
электростатические силы



Короткодействующие
Сильные взаимодействия



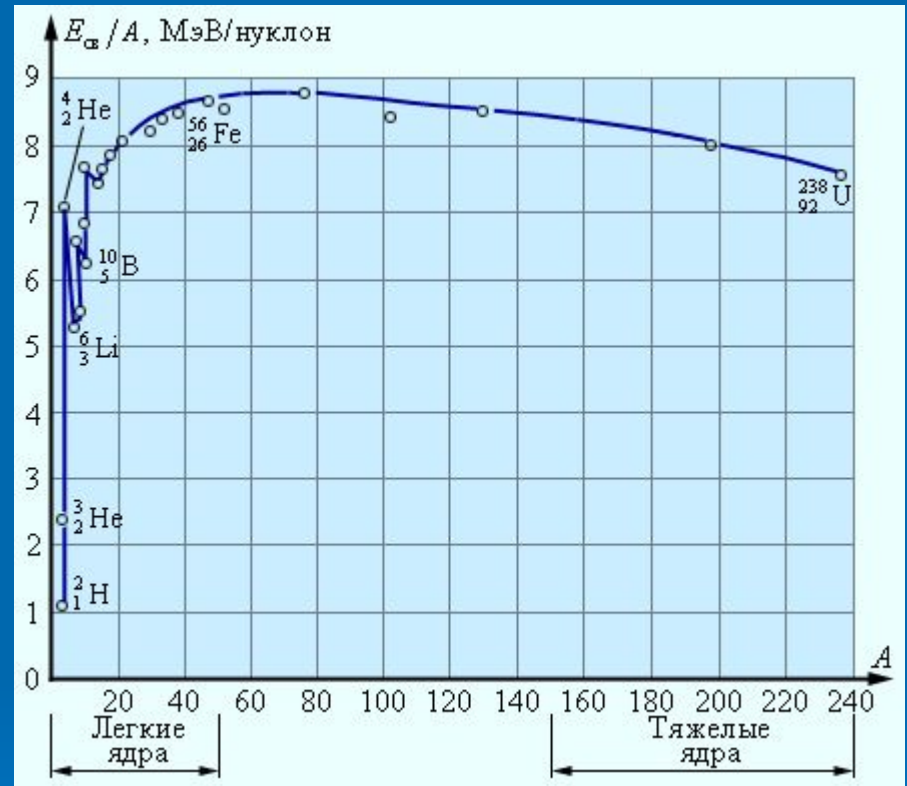
Энергия связи ядер

Энергию связи любого ядра можно определить с помощью точного измерения его массы. Масса любого ядра $M_{\text{я}}$ всегда меньше суммы масс входящих в его состав протонов и нейтронов:

$$M_{\text{я}} < Zm_p + Nm_n$$

$$\Delta M = Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}}$$

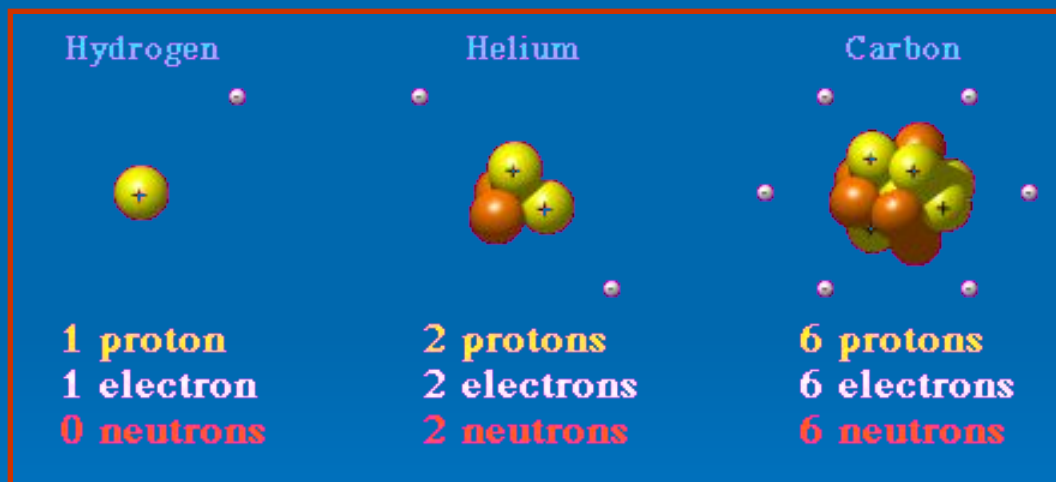
$$E_{\text{св}} = \Delta Mc^2 = (Zm_p + Nm_n - M_{\text{я}})c^2$$



- деление тяжелых ядер на более легкие;
- слияние легких ядер в более тяжелые.

Элементы

Число протонов в атоме определяет элемент.

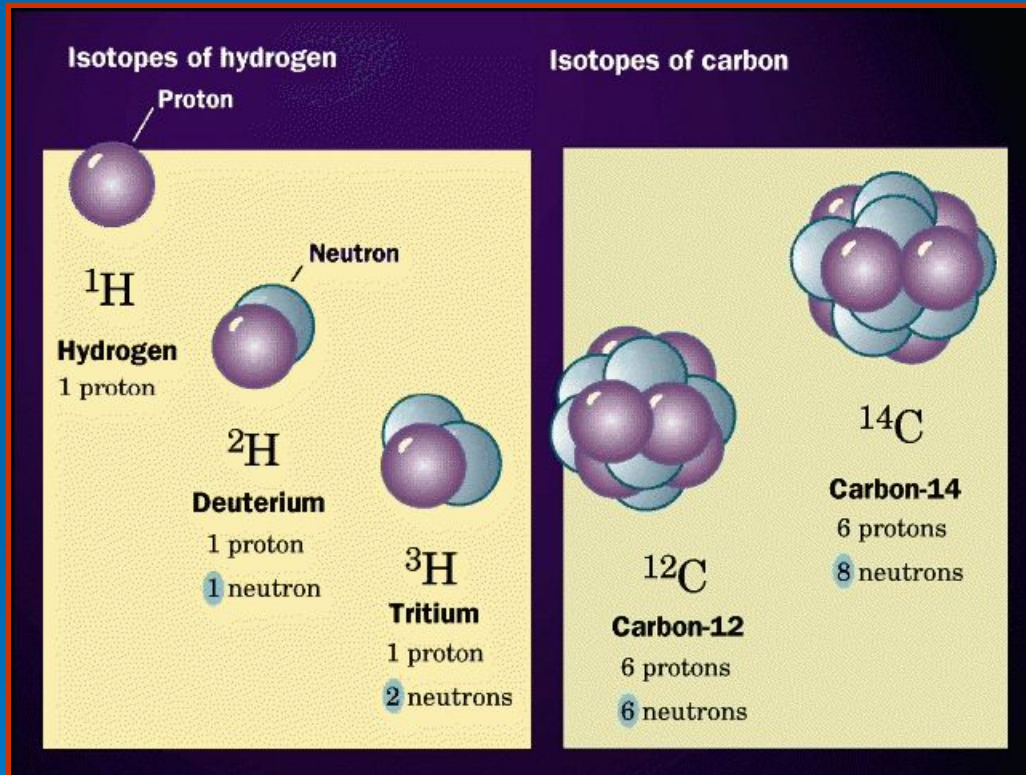


Для нейтрального атома число протонов равно числу электронов.

10 наиболее распространенных элементов

Элемент	Обозначение	Число протонов	% от массы Земли
Кислород	O	8	46.6
Кремний	Si	14	27.7
Алюминий	Al	13	8.1
Железо	Fe	26	5.0
Кальций	Ca	20	3.6
Натрий	Na	11	2.8
Калий	K	19	2.6
Магний	Mg	12	2.1
Титан	Ti	22	0.4
Водород	H	1	0.1

ИЗОТОПЫ



Атомы элемента, которые имеют различное число нейтронов в ядре, называются изотопами этого элемента.

Обозначение
изотопа:



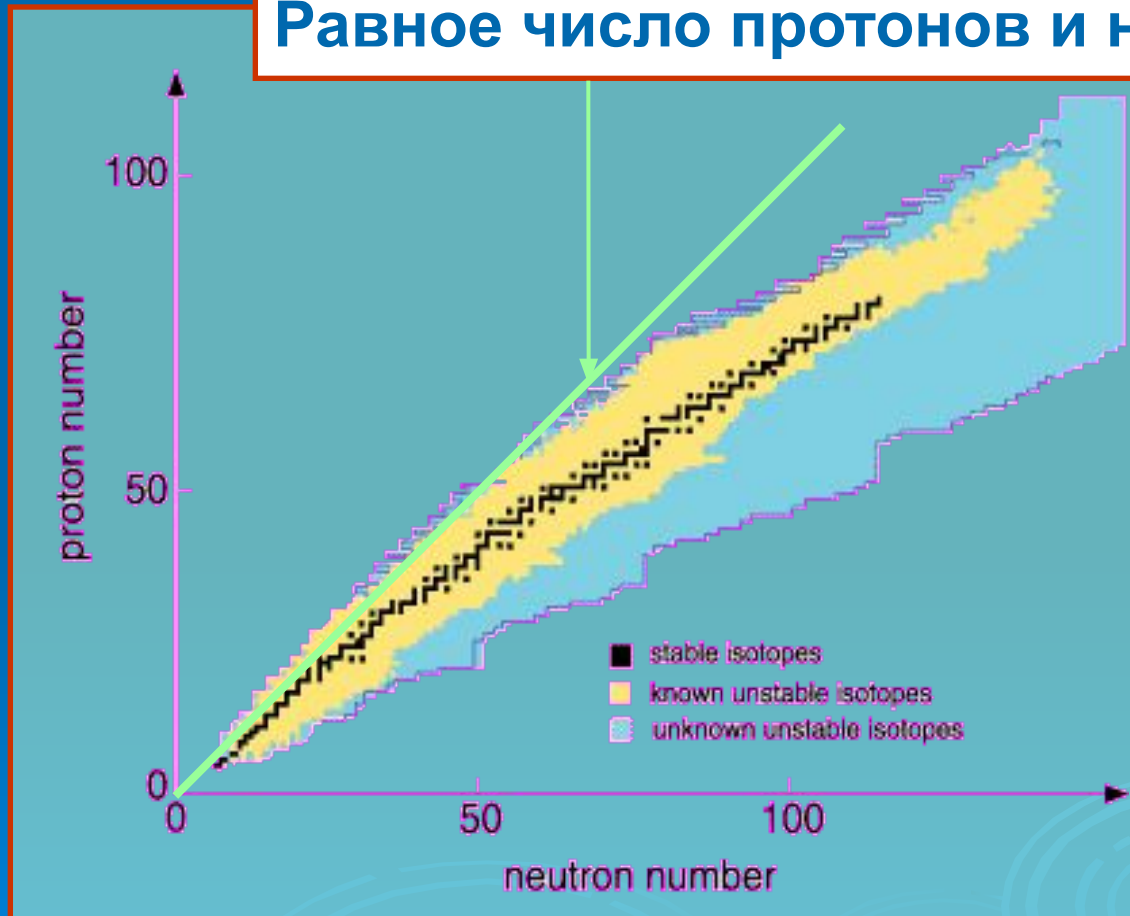
X = обозначение элемента

A = атомная масса (нейтроны + протоны)

Z = атомное число (заряд) (протоны)

ИЗОТОПЫ

Равное число протонов и нейтронов



Радиоактивность

Радиоактивность атомных ядер : история, результаты...

- 1895 г. В.К. Рентген – открытие X-лучей.
- 1896 г. Анри Беккерель – обнаружил, что ураново-калиевая соль самопроизвольно, спонтанно, без внешних воздействий испускает жесткое излучение. Назвал это явление радиоактивностью.
- Мария и Пьер Кюри – обнаружили радиоактивность у тория, затем у полония и радия.
- 1898 г. Э. Резерфорд обнаружил две составляющие излучения урана: менее проникающую, названую α – излучением, и более проникающую, β – излучением.
- 1900 г. Поль Виллард обнаружил третью составляющую излучения урана: названую γ – излучением.
- 1931 г. Чедвик. Открытие нейтрона.
- 1940 г. Г.Н. Флеров и К.А. Петряком открыто спонтанное деление ядер ^{235}U .
- 1982 г. Э. Хофман открыл протонный распад.
- 1984 г. Х. Роуз ... и Д.В. Александров открыли кластерный распад
- н.в.: поиски нейтронной радиоактивности и двухпротонной радиоактивности

Радиоактивность – определение и основные характеристики

- Радиоактивность - это самопроизвольное изменение свойств ядер со временем. Ядра, испытывающие изменение такого рода, называются **радиоактивными** или нестабильными ядрами. Радиоактивные ядра являются неустойчивыми нуклонными системами и, как принято говорить, испытывают **радиоактивный распад**. Каждое ядро характеризуется определенным нуклонным составом (A, Z) и определенной энергией E . Если спонтанно изменяется хотя бы одна из этих характеристик, то такое изменение является радиоактивным распадом. Ядро, испытывающее радиоактивный распад, будем называть **материнским**, а ядро –продукт – **дочерним**. Радиоактивный распад характеризуется временем протекания, видом и энергией испускаемых частиц, называемых **излучением**.

Радиоактивность – определение и основные характеристики

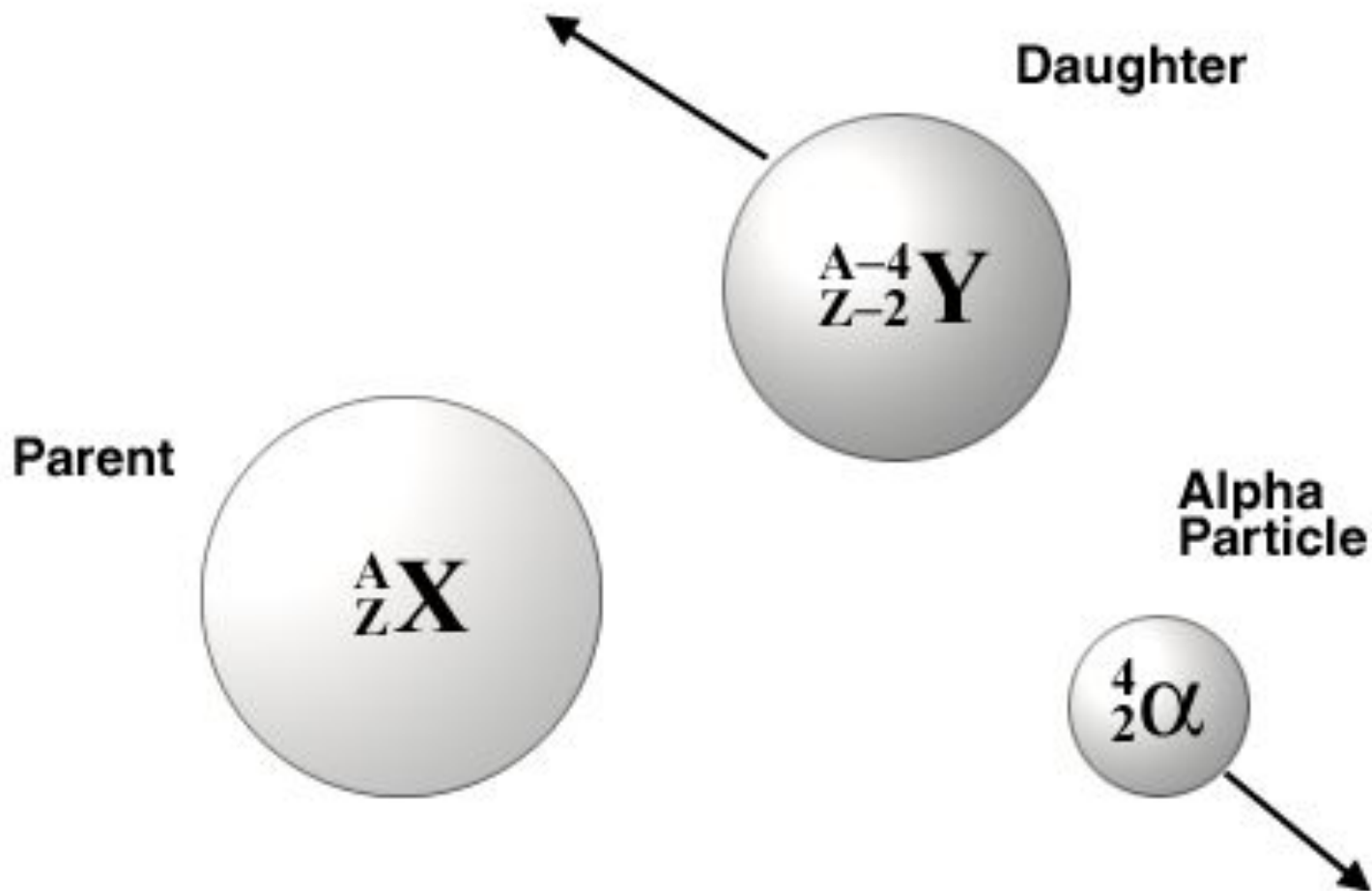
- Радиоактивность ядер, существующих в природных условиях, называют **естественной**. Радиоактивные ядра, синтезированные в лабораторных условиях искусственными способами посредством ядерных реакций, называются **искусственными (техногенными)**.

Виды радиоактивного распада

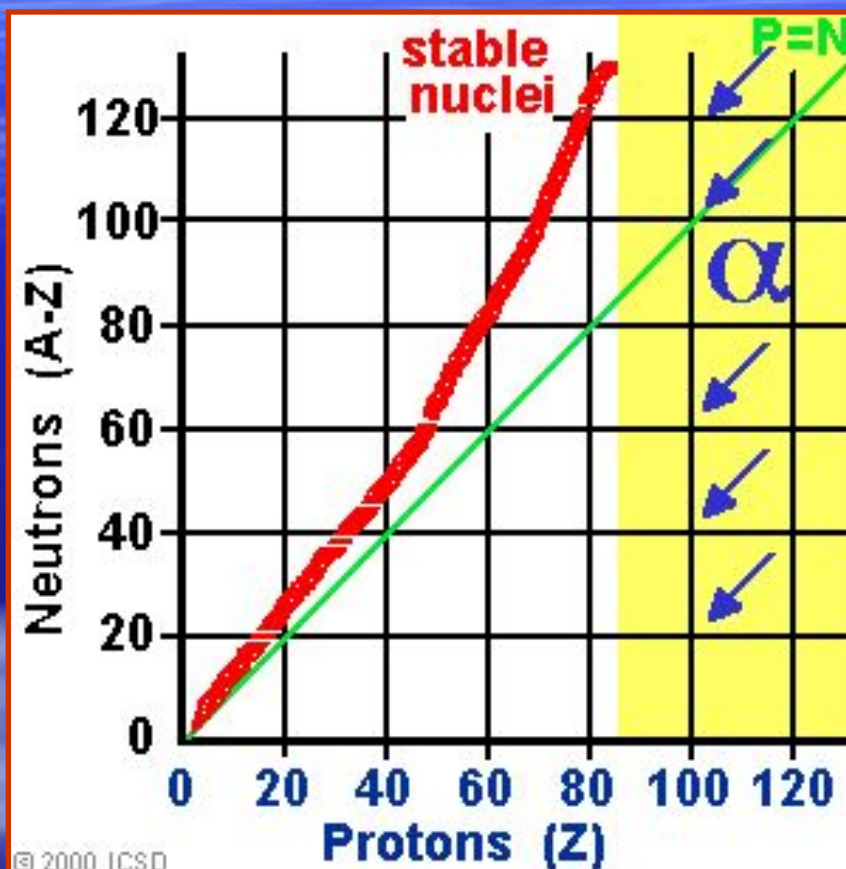
Радиоактивные элементы испускают альфа-частицы, бета-частицы и гамма-кванты. При этом говорят о двух базовых типах радиоактивного распада: альфа-распаде и бета-распаде. Гамма-кванты образуются как сопутствующее этим видам распада излучение.

Ядерные реакции альфа-распад

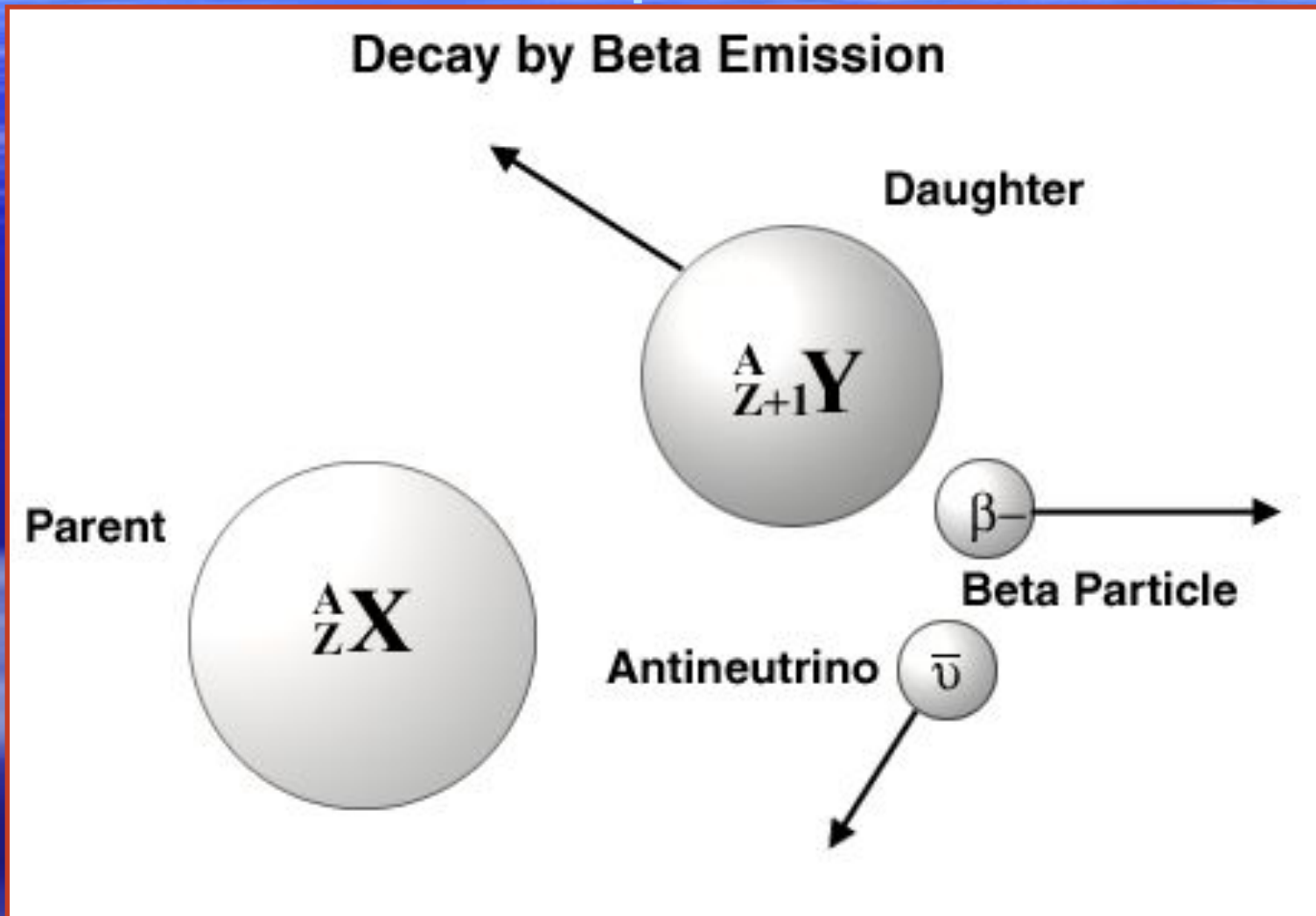
Decay by Alpha Emission



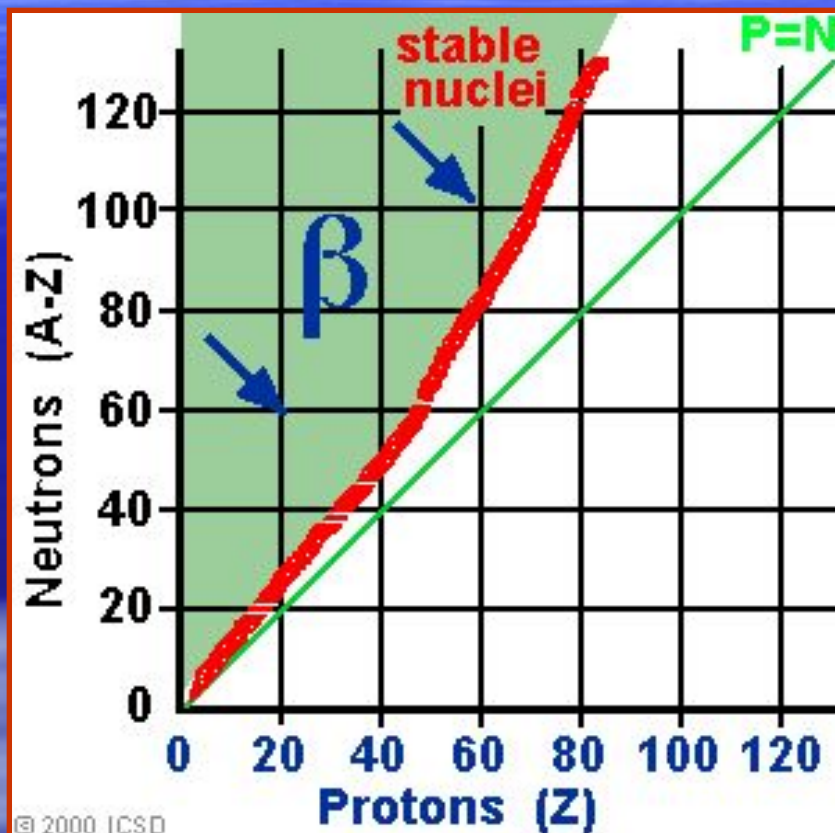
Ядерные реакции альфа-распад



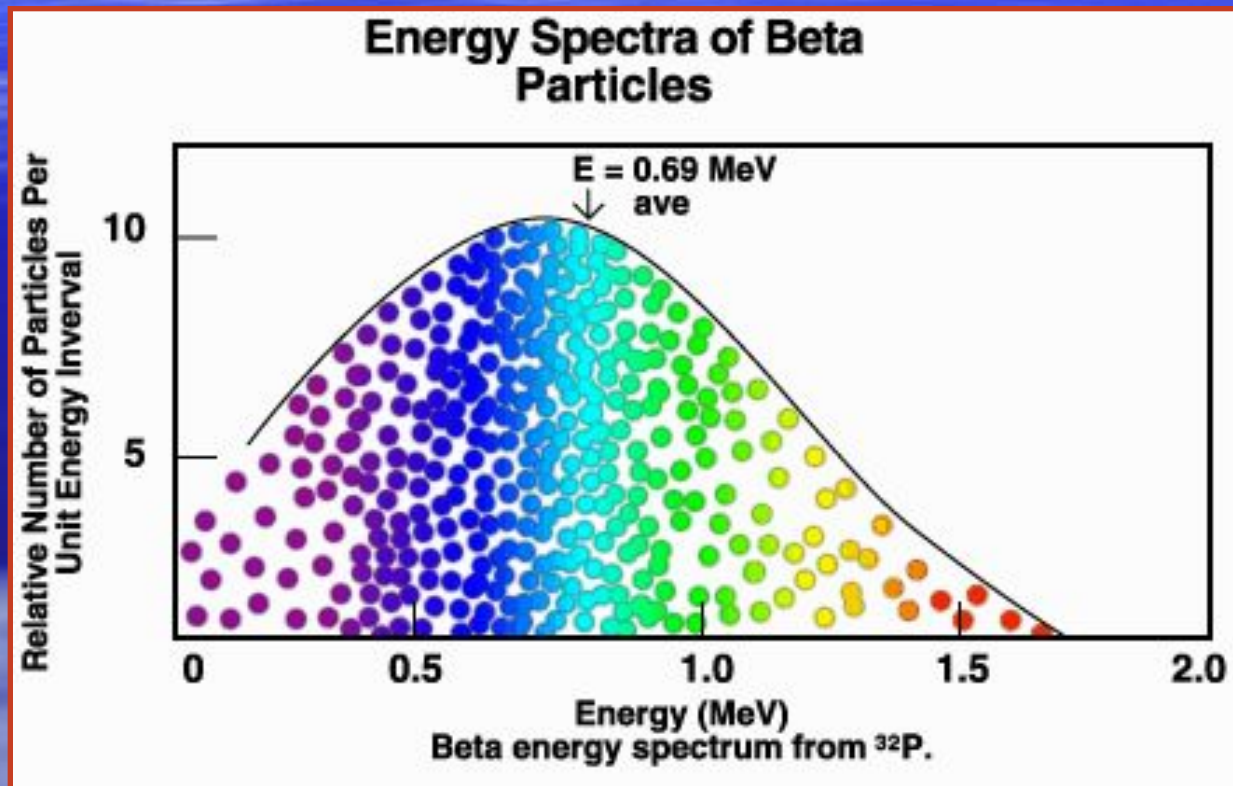
Ядерные реакции бета-распад



Ядерные реакции бета-распад



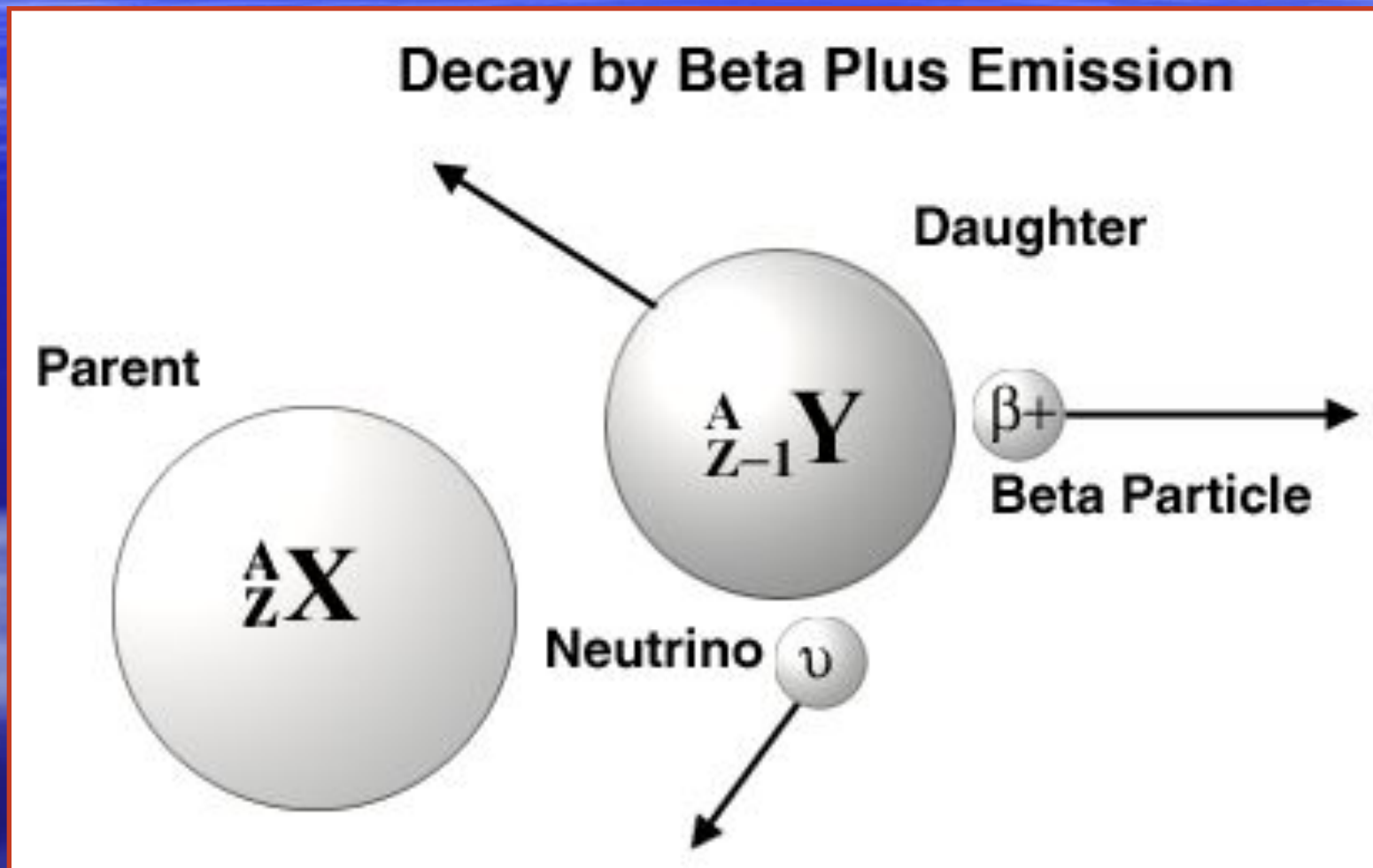
Спектр бета-частиц



$$E_{\text{cp.}} = \frac{1}{3} E_{\text{max}}$$

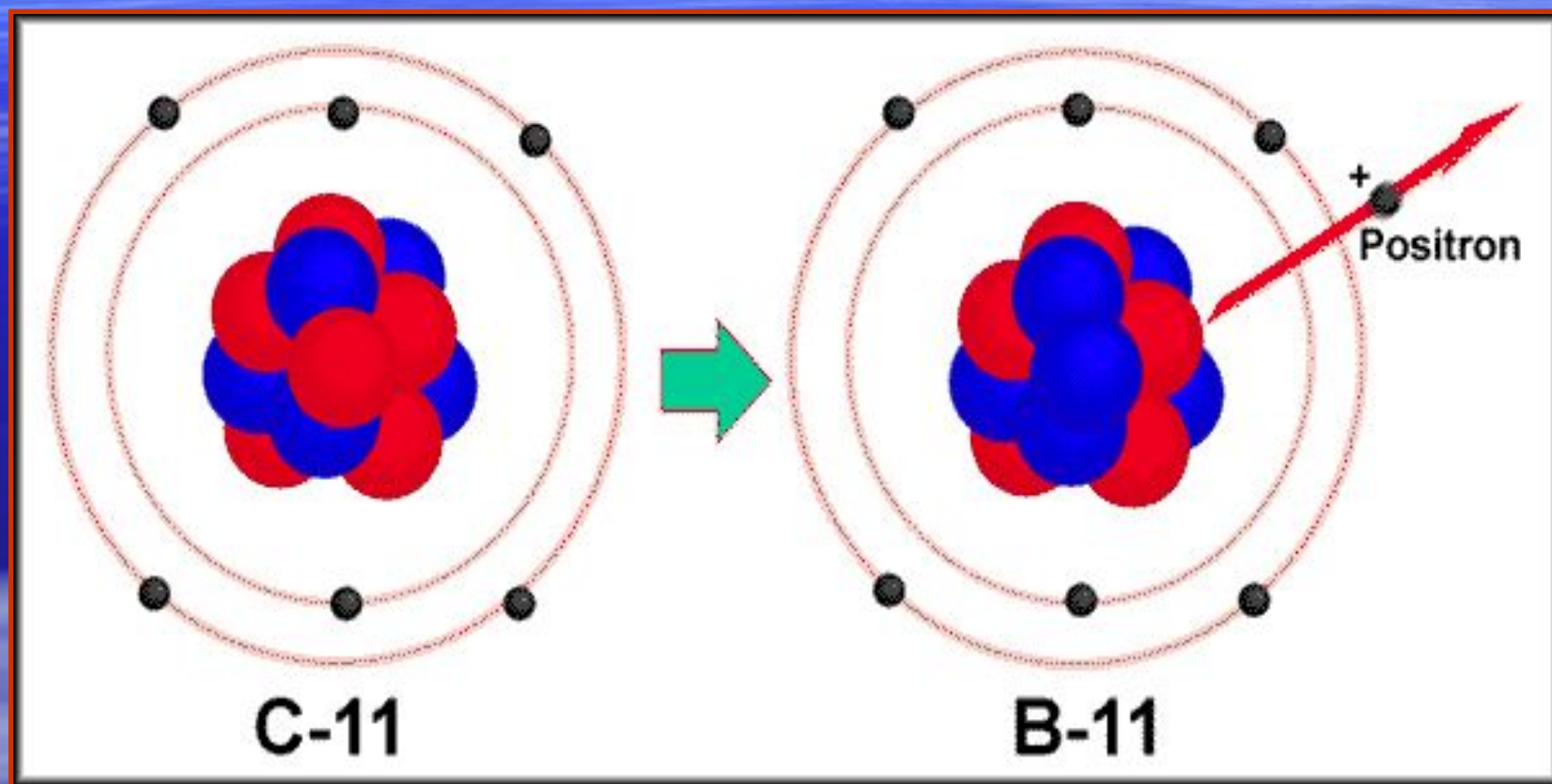
Ядерные реакции

Позитронный распад

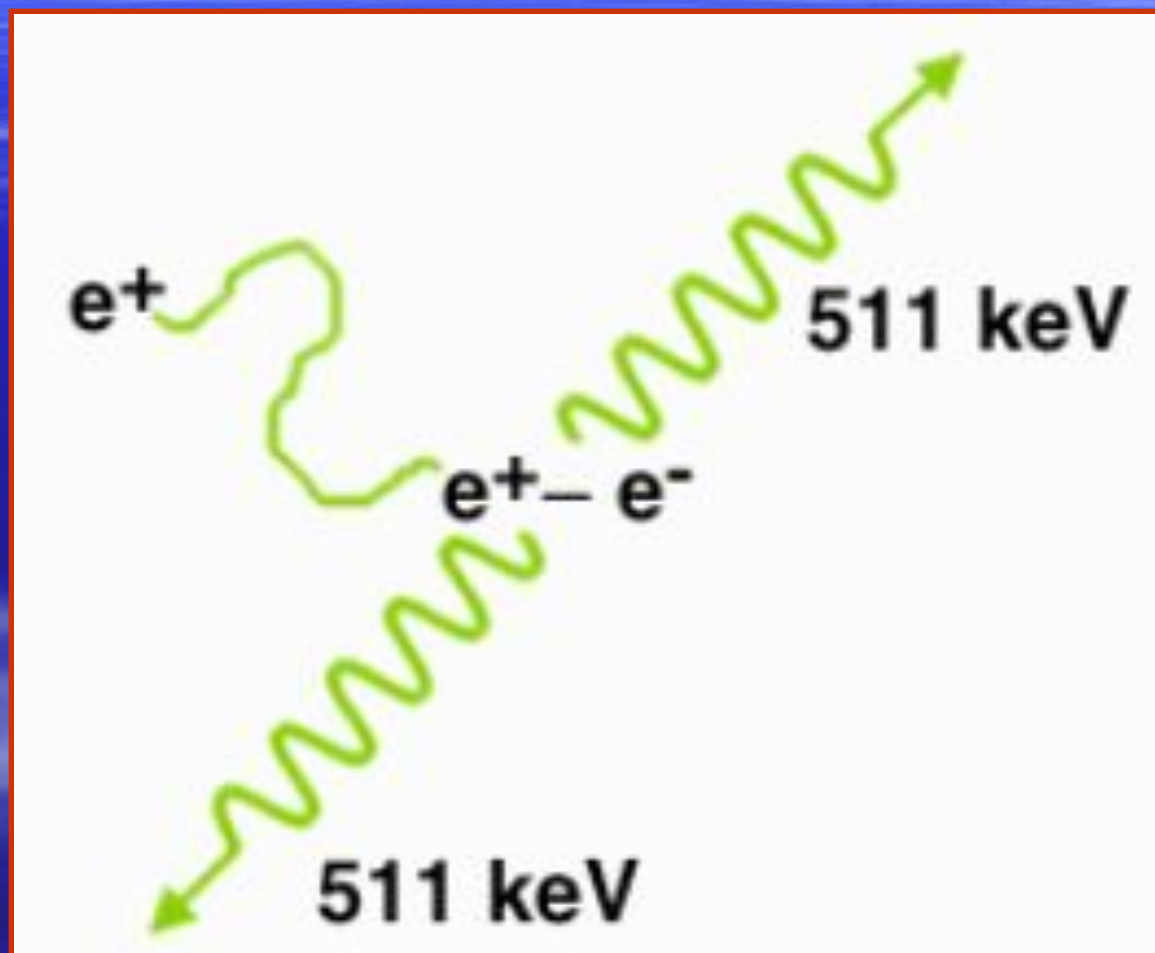


Ядерные реакции

Позитронный распад



Аннигиляция



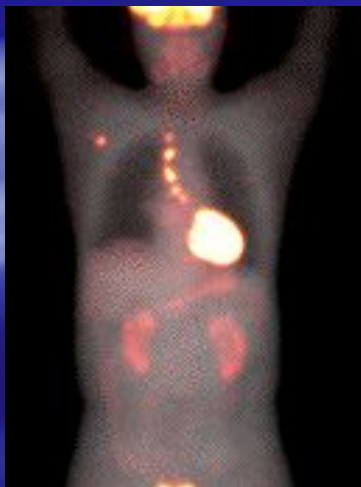
Пример использования позитронного распада (^{18}F)



Позитронно-эмиссионная томография (PET).

Используется для изучения физиологических и биохимических процессов в теле.

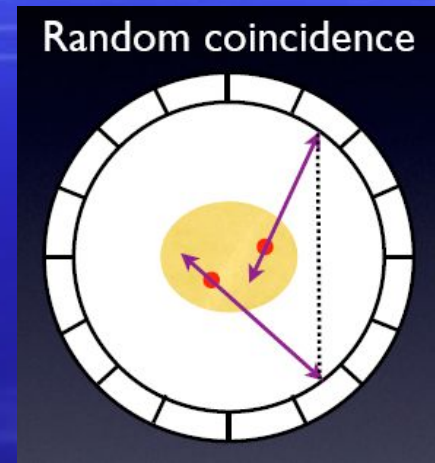
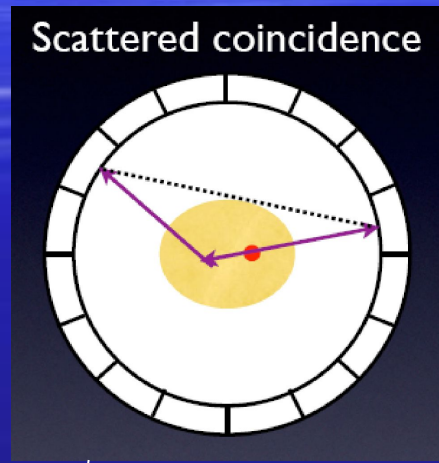
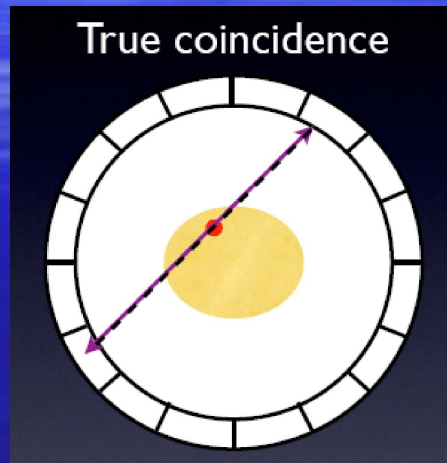
Изучению подлежат кислород и глюкоза в крови, метаболизм жирных кислот, транспорт аминокислот, pH и плотности нерворецепторов



Для производства радиофармпрепаратов с очень коротким периодом полураспада требуется циклотрон непосредственно в отделении.

Такое сканирование имеет ограниченное применение из-за высокой стоимости оборудования.

Пример использования позитронного распада (^{18}F)

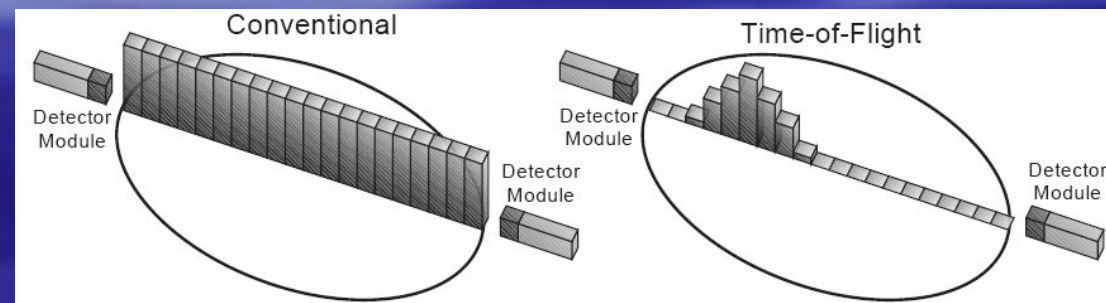
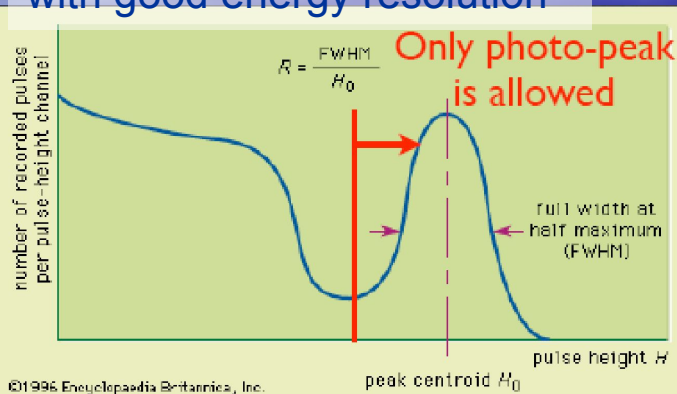


- Annihilation point
- Gamma ray
- Line of response

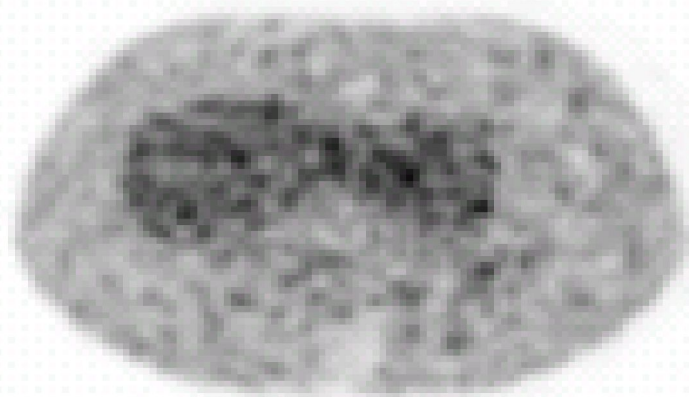
remove Compton-scattered γ
with good energy resolution

remove combinatorial bg by ToF meas.

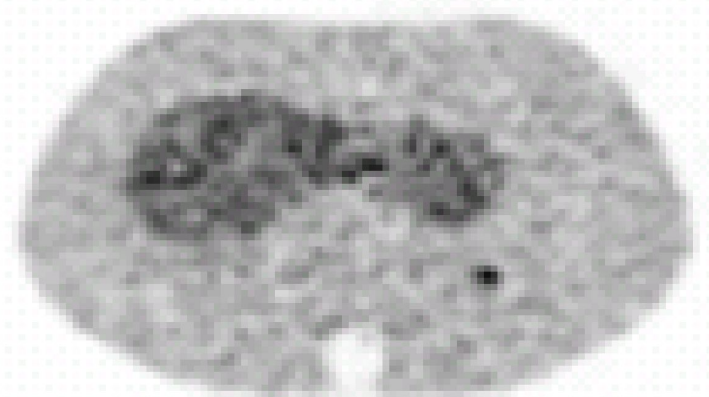
$$\Delta t = 500 \text{ ps} \Rightarrow \Delta x = \frac{c}{2} \Delta t = 7.5 \text{ cm}$$



Пример использования позитронного распада (^{18}F)

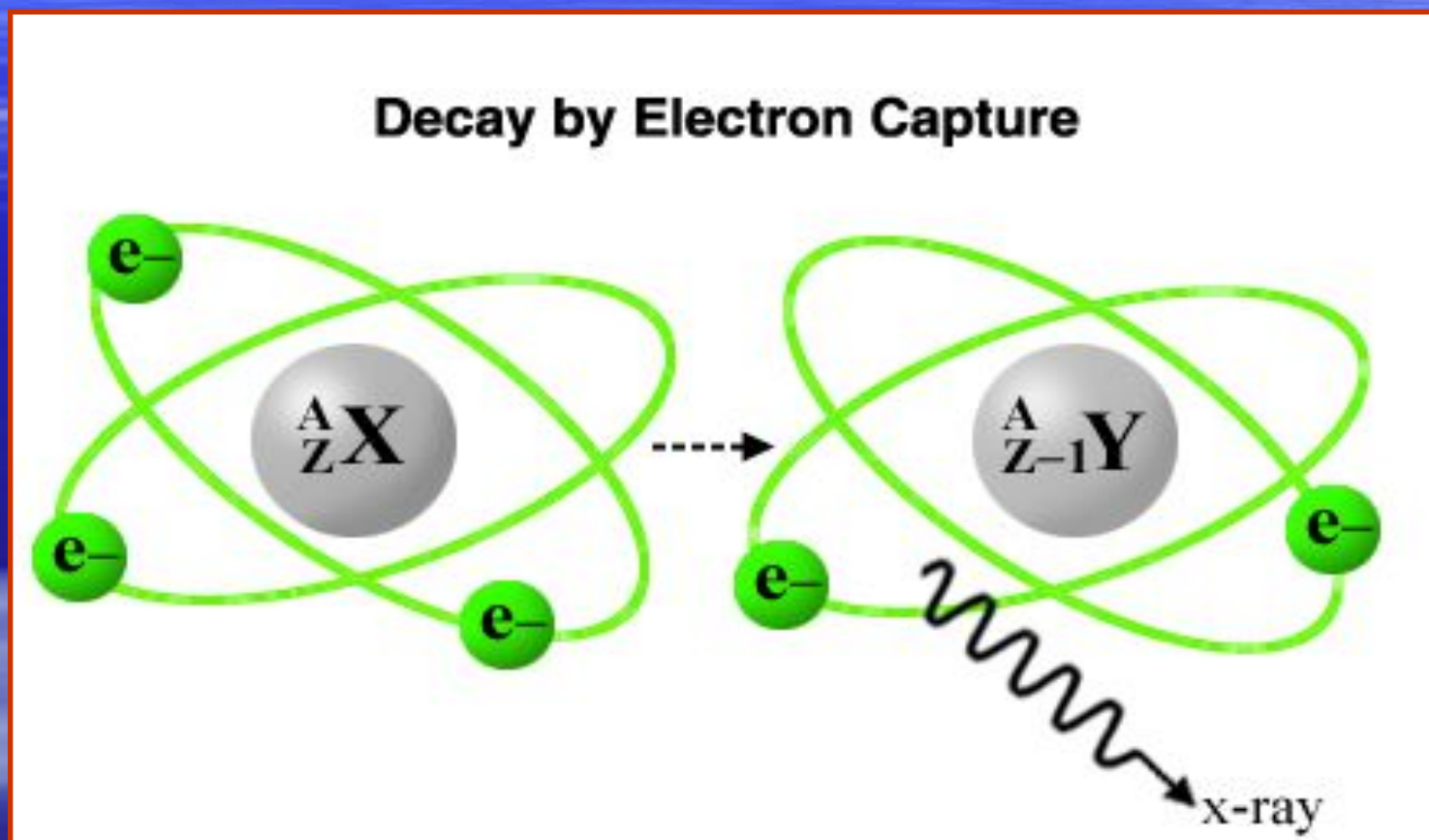


Conventional



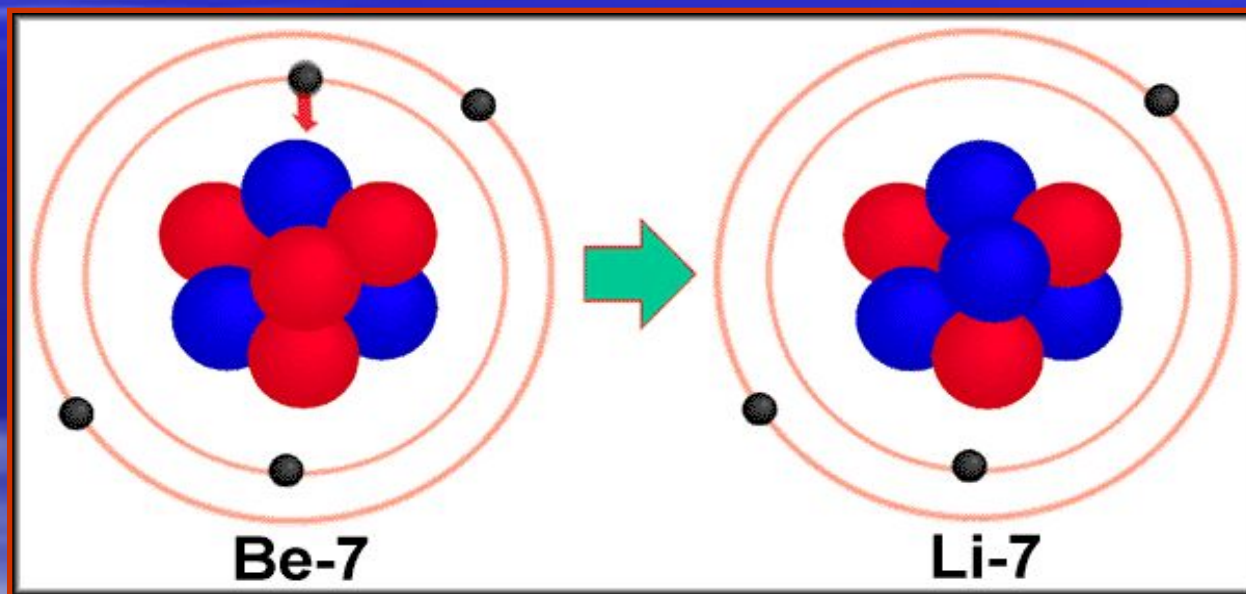
300 ps

Ядерные реакции электронный захват

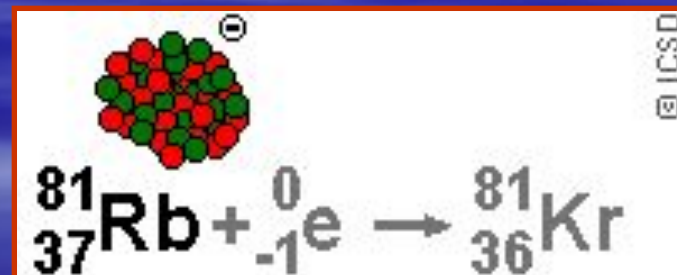
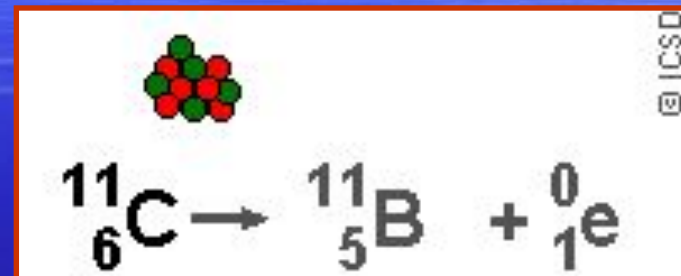
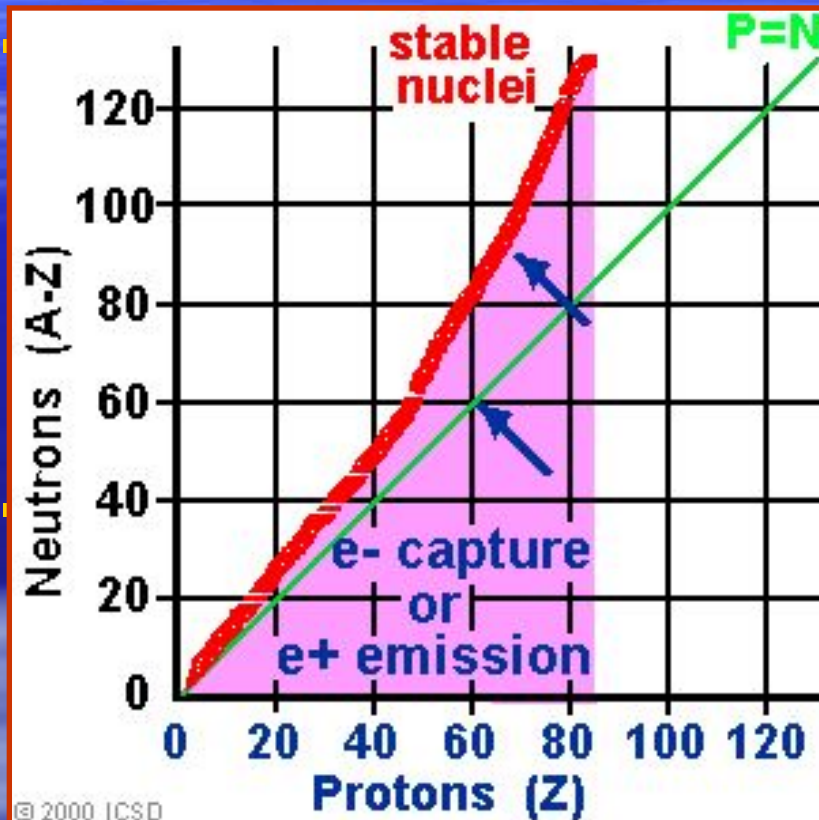


Результат: Характеристическое рентгеновское излучение

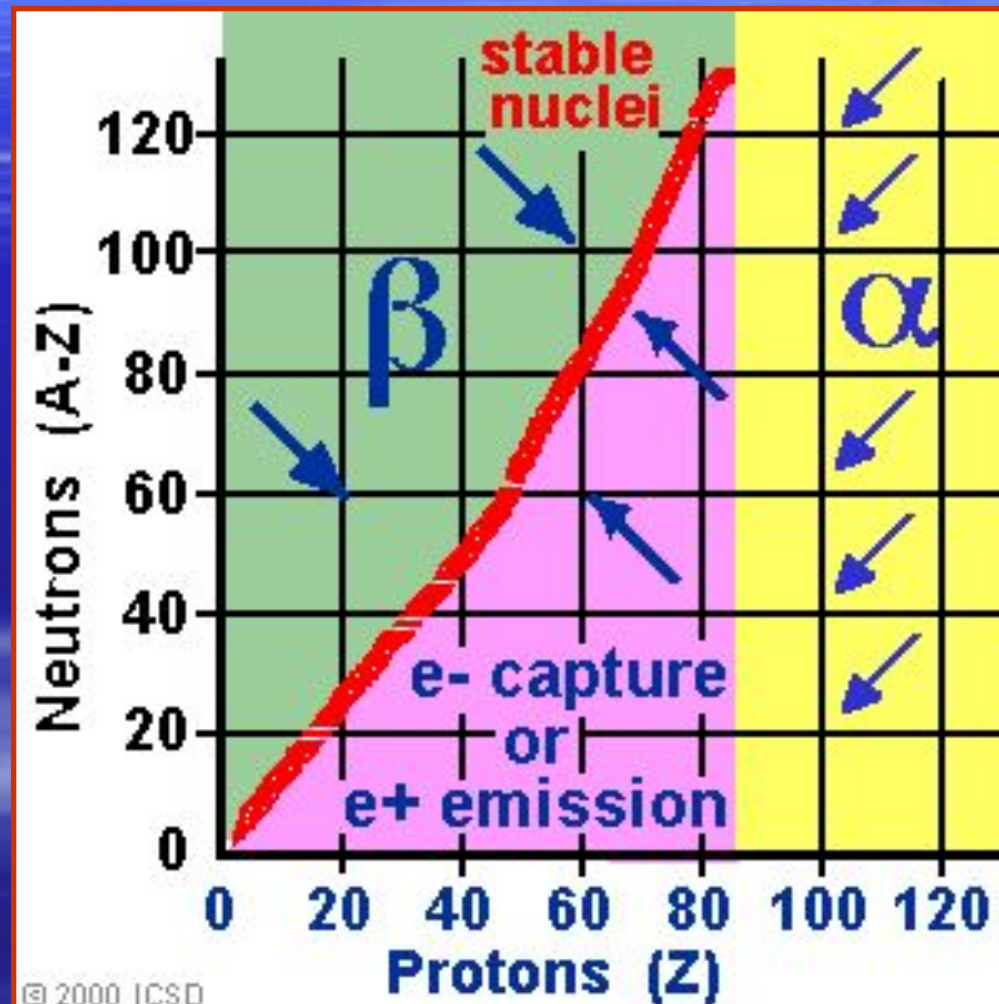
Ядерные реакции электронный захват



Ядерные реакции: позитронный распад и электронный захват



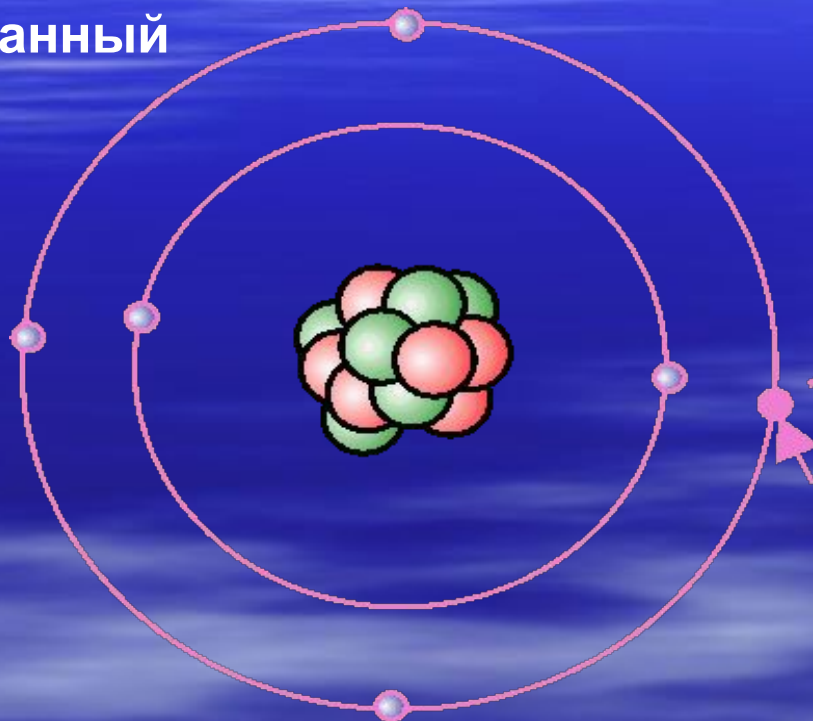
Основные механизмы распада



Ионизация

Ионизированный
атом

+1

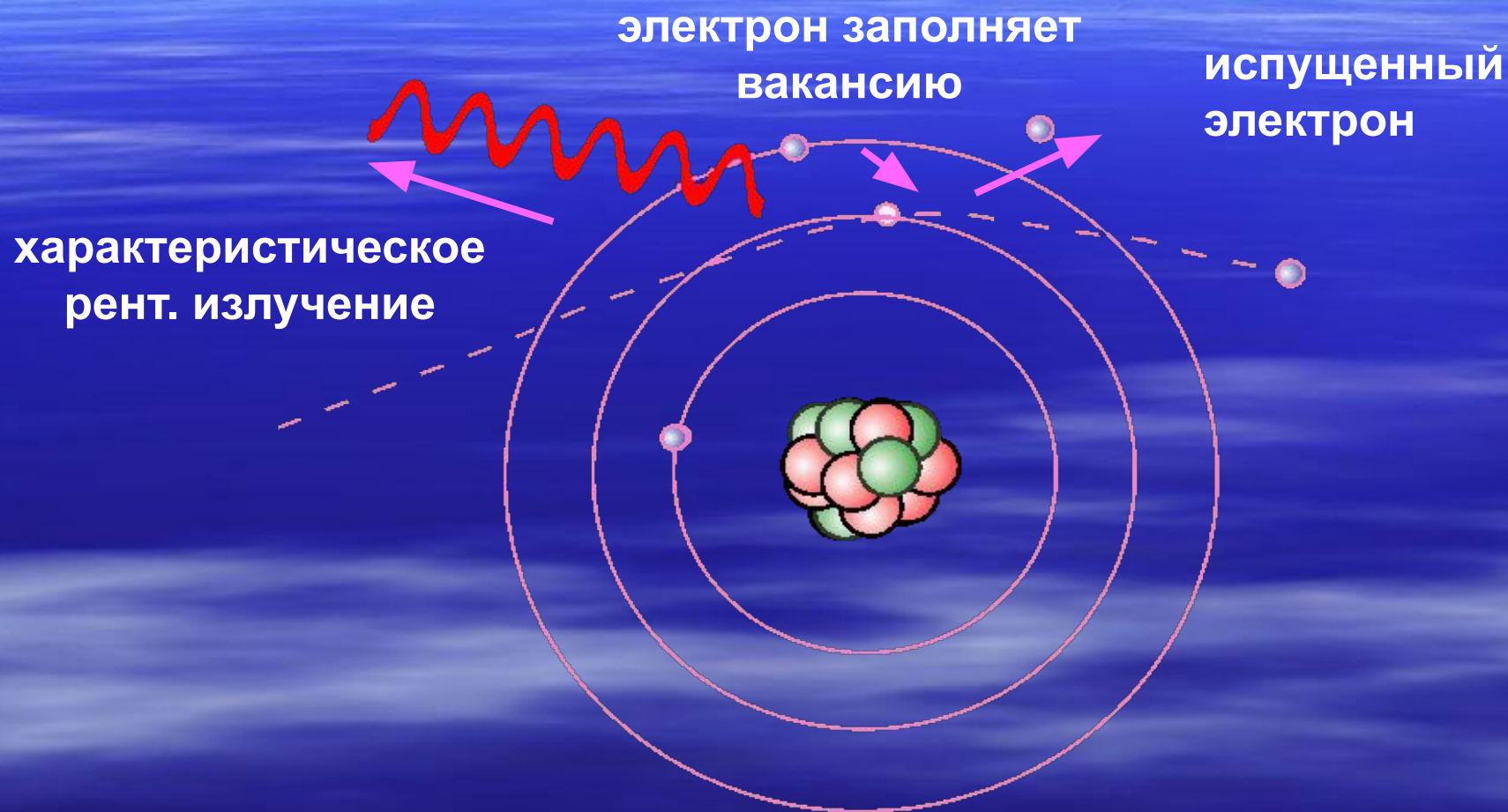


электрон

-1

излучение

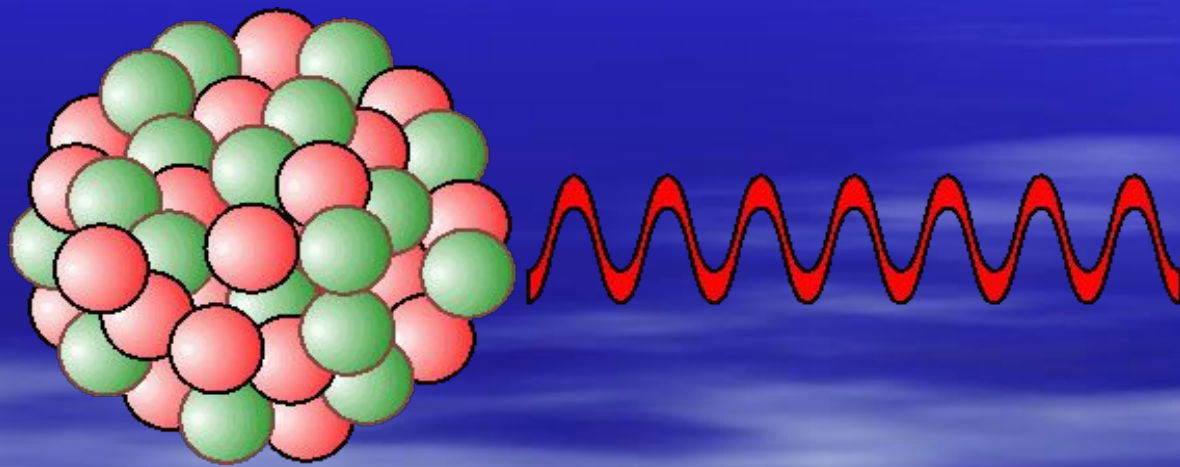
Рентгеновское излучение



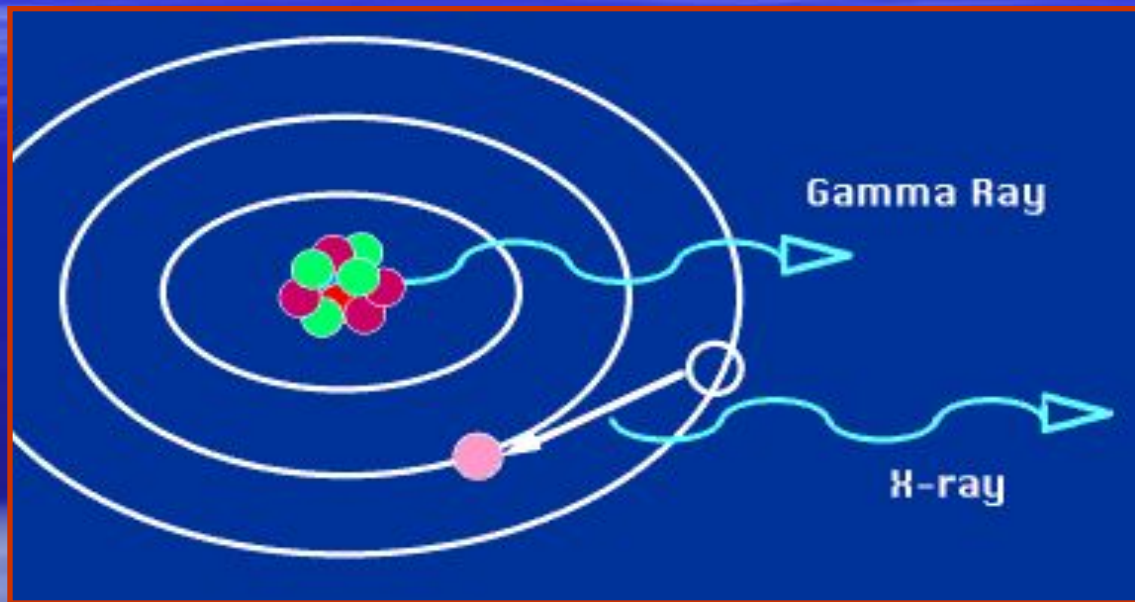
Гамма-излучение

- Моноэнергетическое гамма-излучение испускается ядрами возбужденных атомов при радиоактивном распаде
- Освобождает ядра от избыточной энергии
- Имеет характерные энергии которые могут быть использованы для идентификации радионуклидов

Гамма-излучение



Фотонное излучение



**Различие
между гамма и
рентгеновским
излучением**

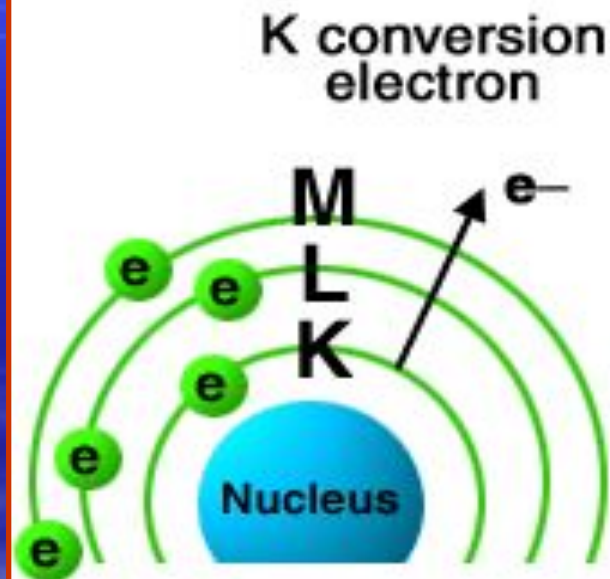
Внутренняя конверсия

- Процесс при котором возбужденные ядра высвобождают энергию возбуждения
- Ядро передает энергию возбуждения непосредственно орбитальными электронами выбрасывая электрон из атома
- При заполнении электронами внешних орбит вакансии оставленные конверсионными электронами испускается характеристическое рентгеновское излучение

Внутренняя конверсия



Nucleus is excited following decay or nuclear interaction.

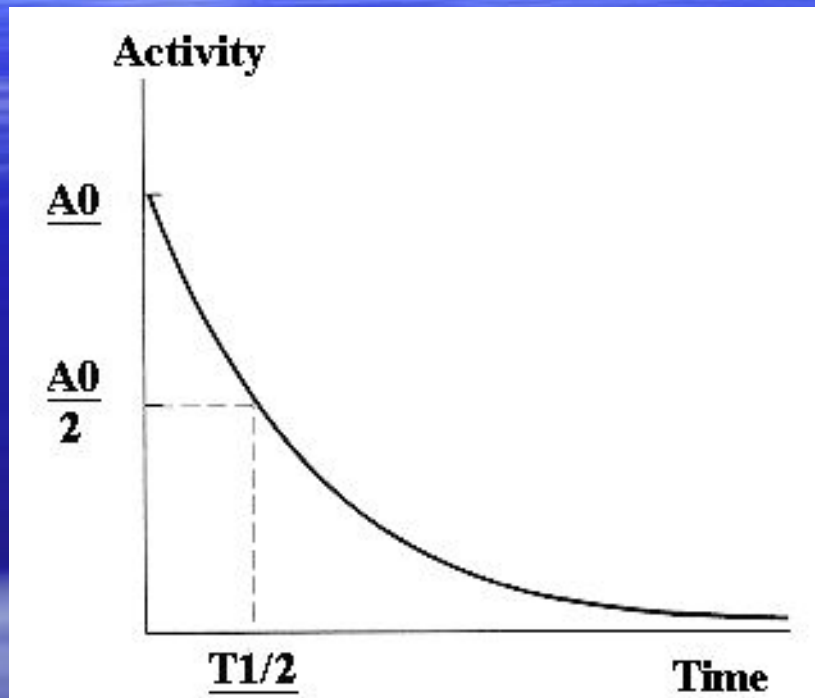


Nucleus de-excites by emitting conversion electron (ce-k).

Механизмы радиоактивного распада

Модель распада	Характеристика материнского радионуклида	Изменение атомного числа (Z)	Изменение массы атома	Примечание
Альфа	Мало нейтронов	- 2	- 4	Моноэнергетическое альфа
Бета	Много нейтронов	+1	0	Спектр бета
Позитрон	Мало нейтронов	-1	0	Спектр позитронов
Электронный захват	Мало нейтронов	-1	0	К-захват; испускается характеристическое рентг.излучение
Гамма	Возбужденное состояние	Нет	Нет	Моноэнергетическое
Внутренняя конверсия	Возбужденное состояние	Нет	Нет	Выбрасывается орбитальный электрон; Испускаются характ-е рентг.излучение

Радиоактивный распад



$$\frac{dN}{dt} = -N \cdot \lambda$$

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

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

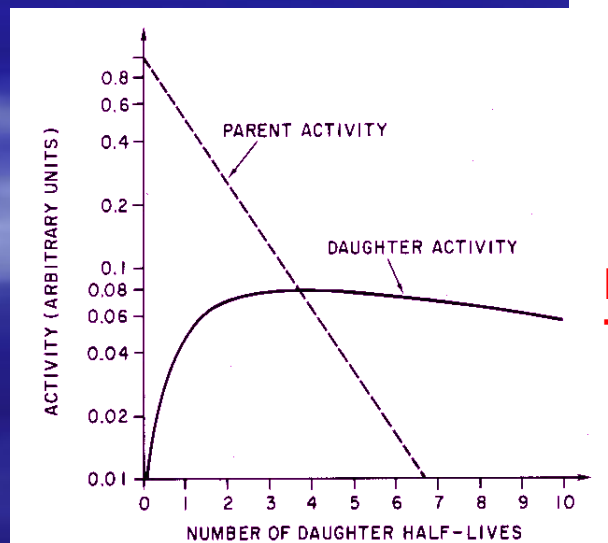
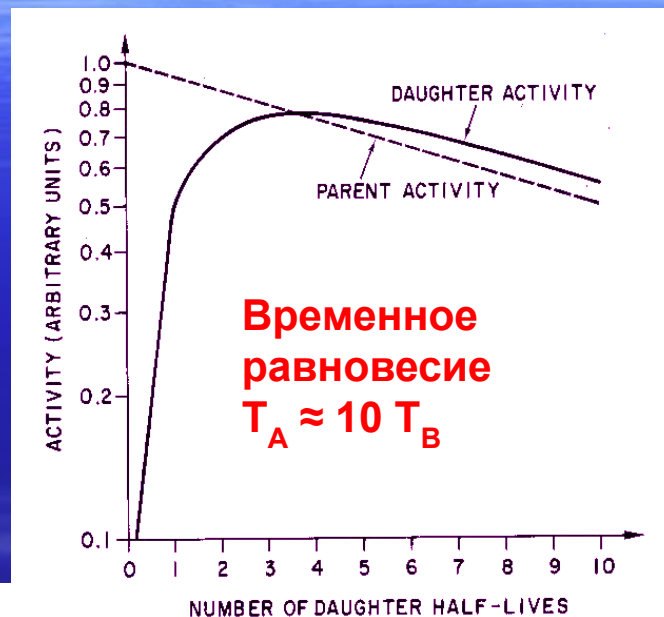
Дочки-матери



$$A(t) = A_0 \cdot e^{-\lambda_1 \cdot t}$$

$$B(t) = \frac{A_0 \cdot \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 \cdot t} - e^{-\lambda_2 \cdot t})$$

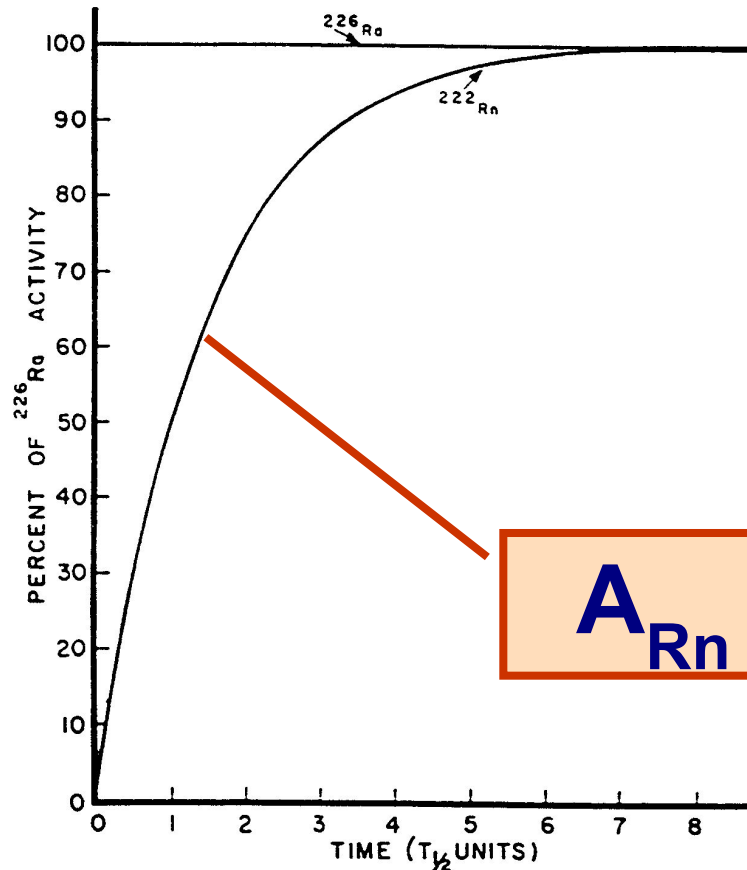
Дочки-матери



Нет равновесия
 $T_A \approx 1/10 T_B$

Дочки-матери

Вековое равновесие



^{226}Ra

^{222}Rn

$^{226}\text{Ra} - T_{1/2} = 1600 \text{ лет}$

$^{222}\text{Rn} - T_{1/2} = 3,8 \text{ дня}$

или

$^{90}\text{Sr} \rightarrow ^{90}\text{Y} \rightarrow ^{90}\text{Zr}$

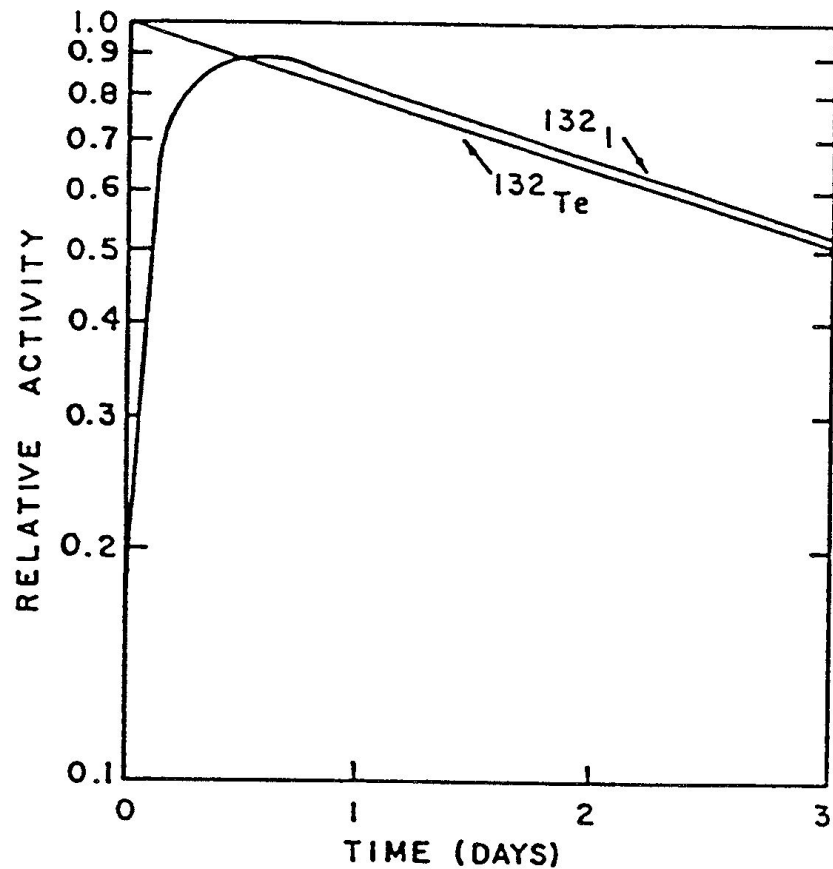
$^{90}\text{Sr} - T_{1/2} = 28 \text{ лет}$

$^{90}\text{Y} - T_{1/2} = 64 \text{ часа}$

$$A_{\text{Rn}}(t) = A_{\text{Ra}}^0 (1 - e^{-\lambda_{\text{Rn}} t})$$

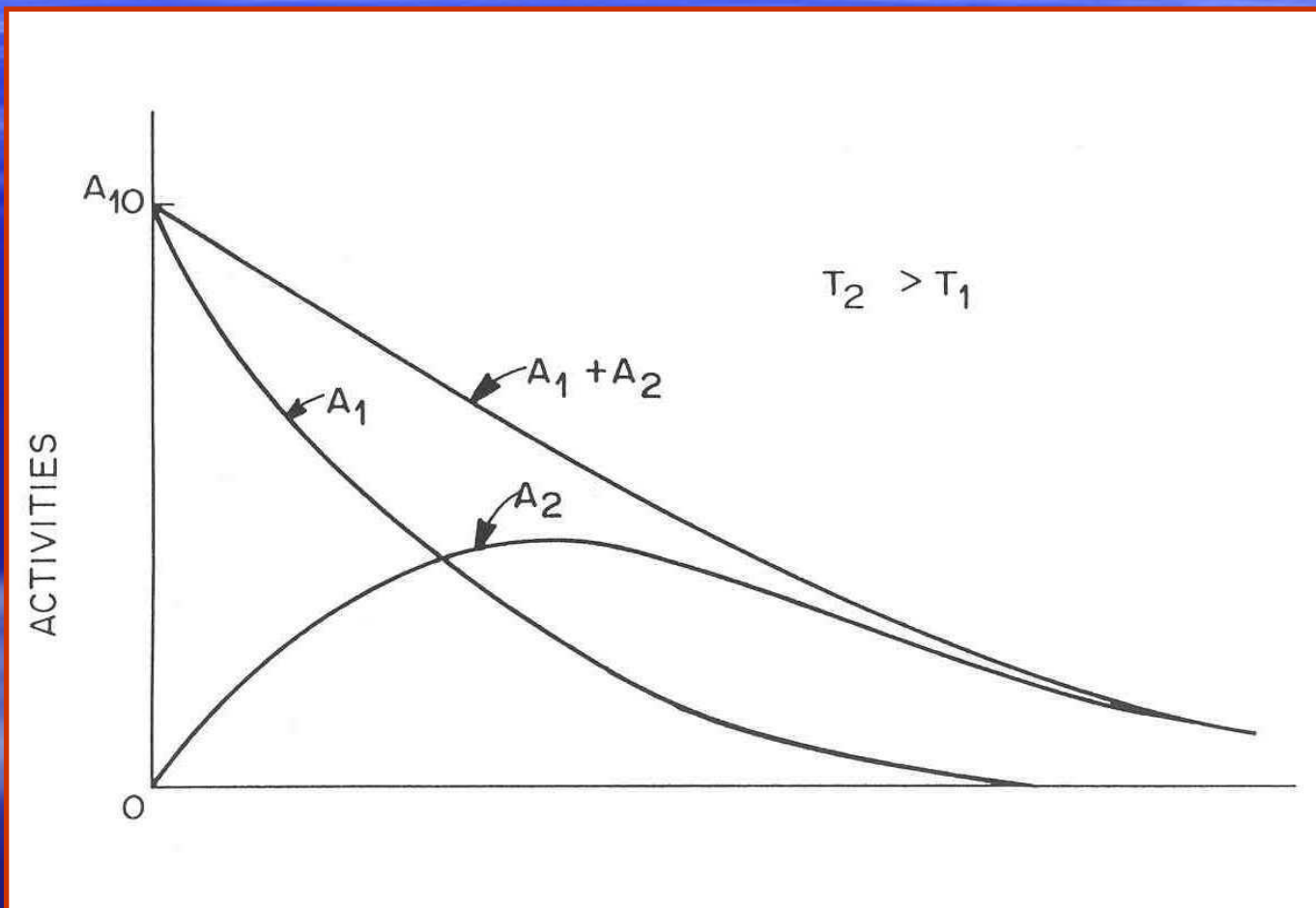
Дочки-матери

Временное равновесие

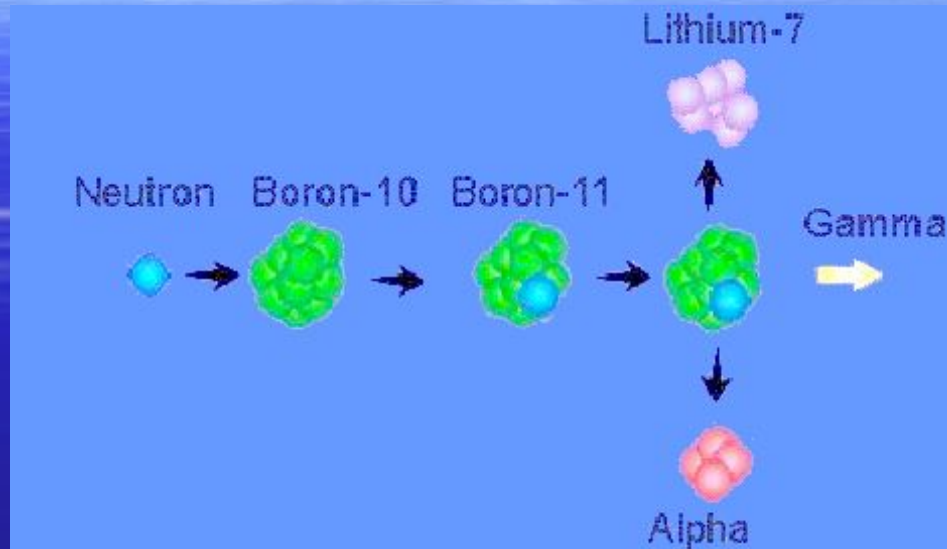


Нет равновесия

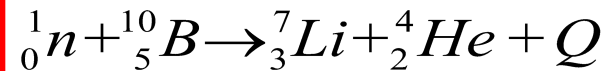
$$T_A < T_B$$



Ядерные реакции при бомбардировке ядер



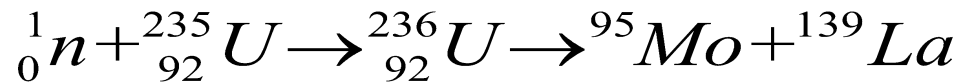
(n, зар.ч-
ца)



(n, гамма)

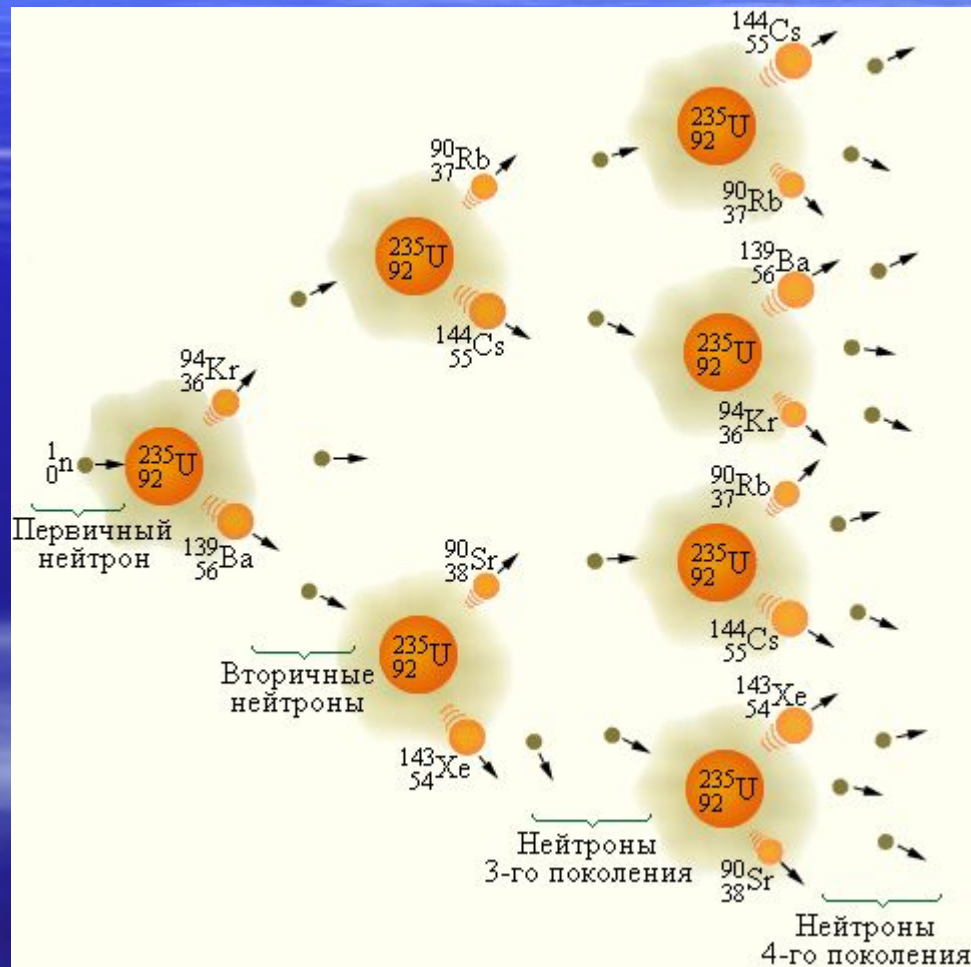


(n, деление)



Ядерные реакции

деление тяжелых ядер



Ядерные реакции

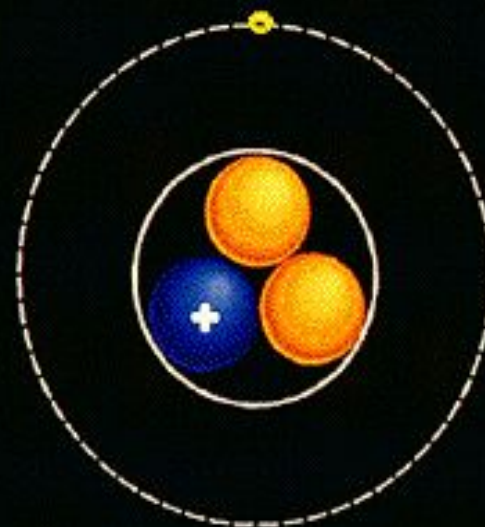
синтез



Hydrogen
 ${}_1\text{H}^1$



Deuterium
 ${}_1\text{H}^2$



Tritium
 ${}_1\text{H}^3$

Ядерные реакции

синтез

