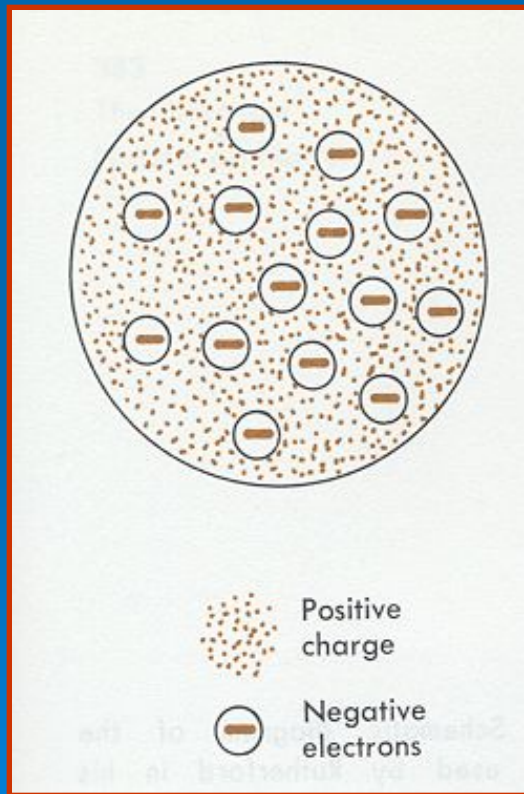


# ATOM



# АТОМ

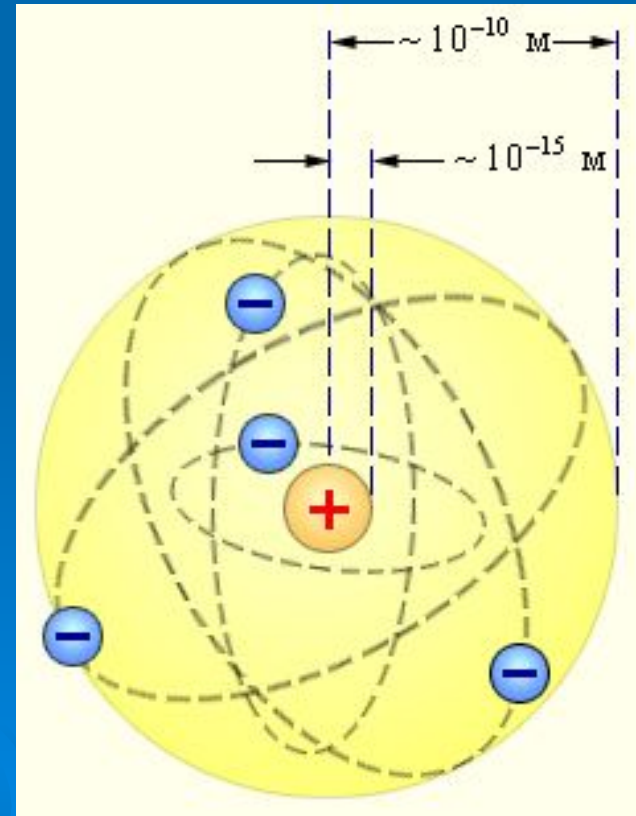
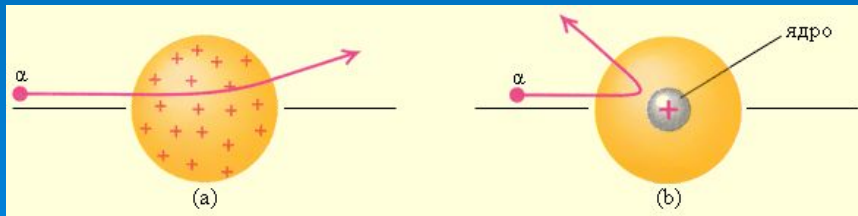
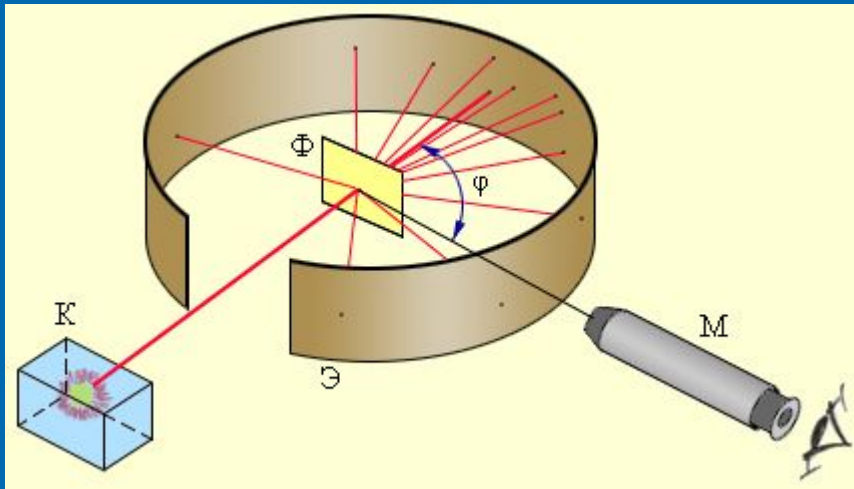
## Модель Томсона



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.

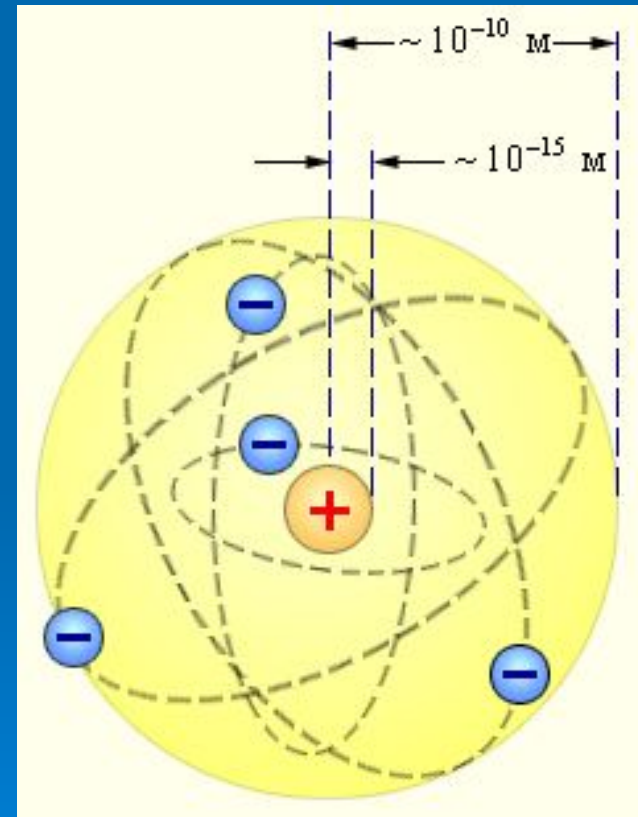
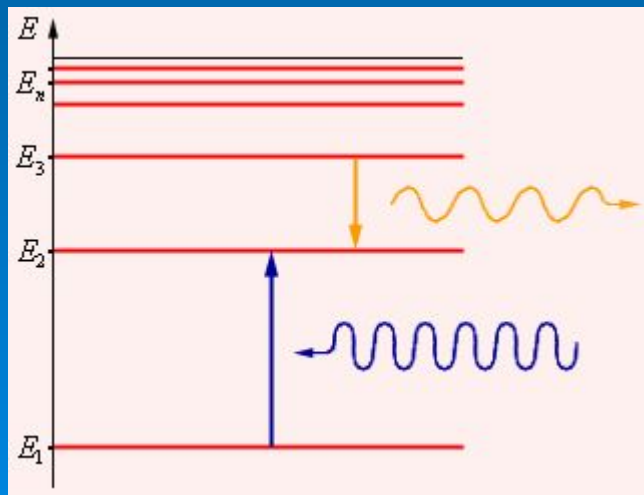
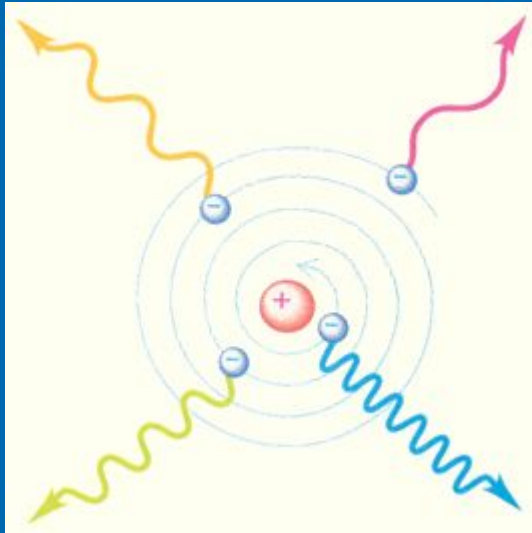
# АТОМ

**Модель Резерфорда**  
1911 г. Планетарная модель атома.



# АТОМ

## Модель Бора – полуклассическая модель



# Состав атомного ядра

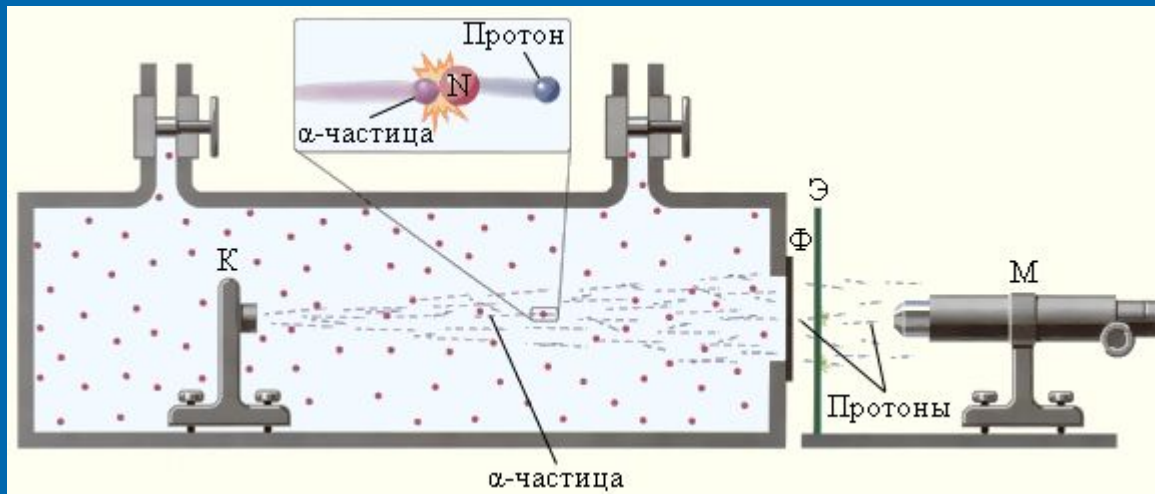


Схема опытов Резерфорда по обнаружению протонов в продуктах расщепления ядер

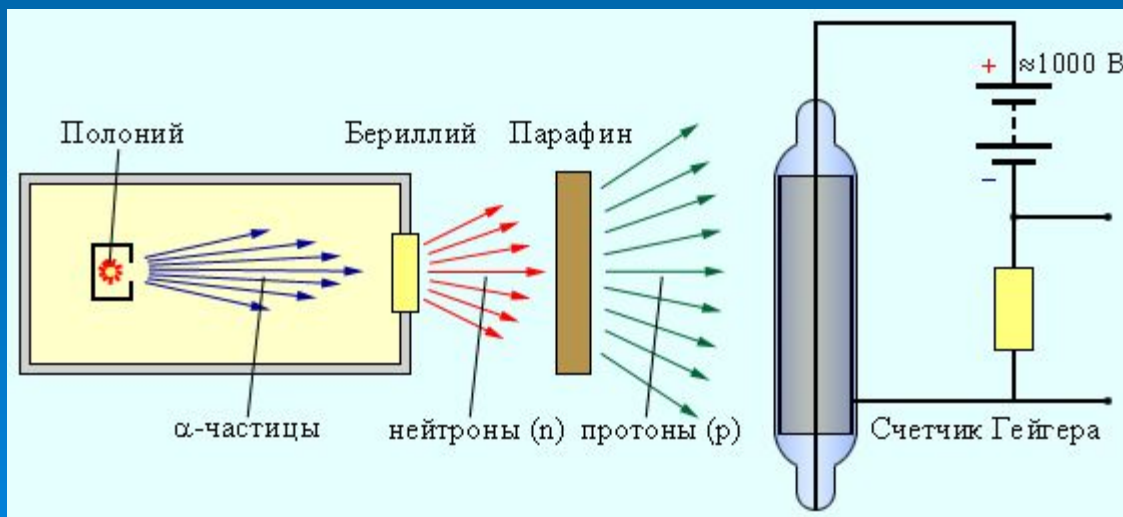
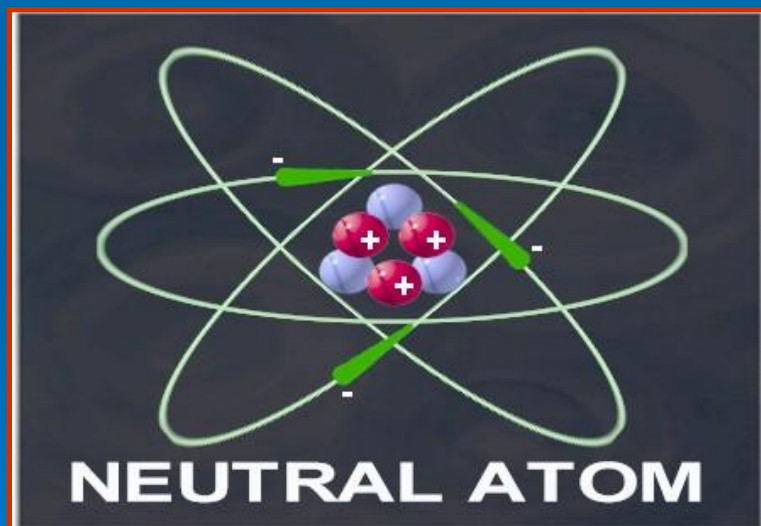


Схема опытов Чедвика по обнаружению нейтронов в продуктах расщепления ядер

# АТОМ

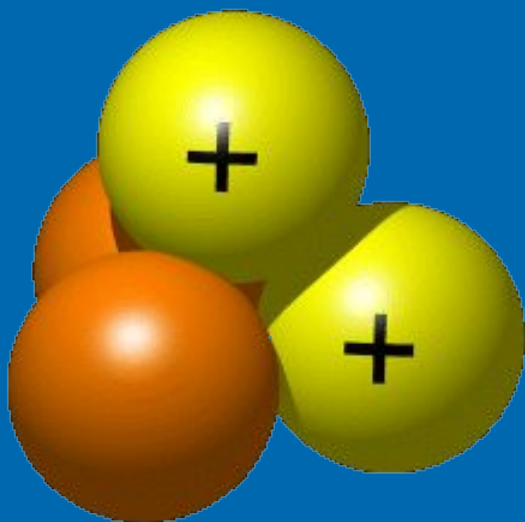
1932 г. Д.Д. Иваненко  
и В. Гейзенберг



**АТОМ СОСТОИТ ИЗ:**

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

# Ядро



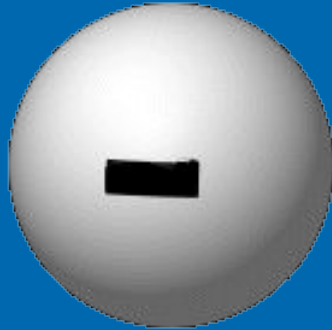
**Протоны и нейтроны образуют ядро атома.**

**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:

${}^1\text{H}$  atom = 1 amu

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

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

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

${}^{12}\text{C}$  atom = exactly 12 amu

${}^1\text{H}$  atom = 1.0078252 amu

${}^{16}\text{O}$  atom = 15.9949149 amu

**Где 1 аму  
приблизительно  
равна  
 $1.6605 \times 10^{-24}$  грамма**

# Атомная единица массы

Атомные массы протона и нейтрона  
приблизительно равны:

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

Нейтрон =  $1.6749 \times 10^{-24}$  г = 1.0087 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  $\sim 8$  мин). Распадется на протон электрон и антинейтрино

# Атомная единица массы

Атомная масса электрона:

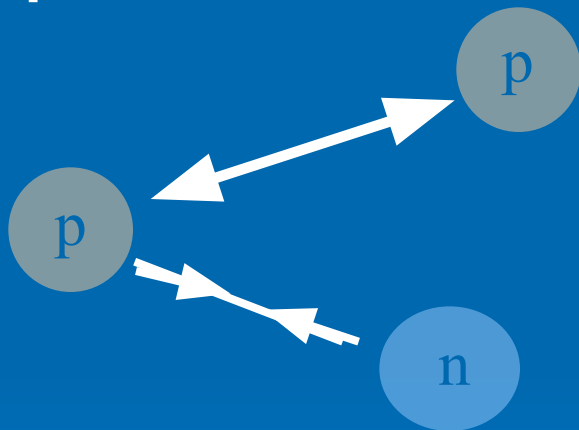
Электрон =  $9.1094 \times 10^{-28}$  г = 0.00055 аем

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

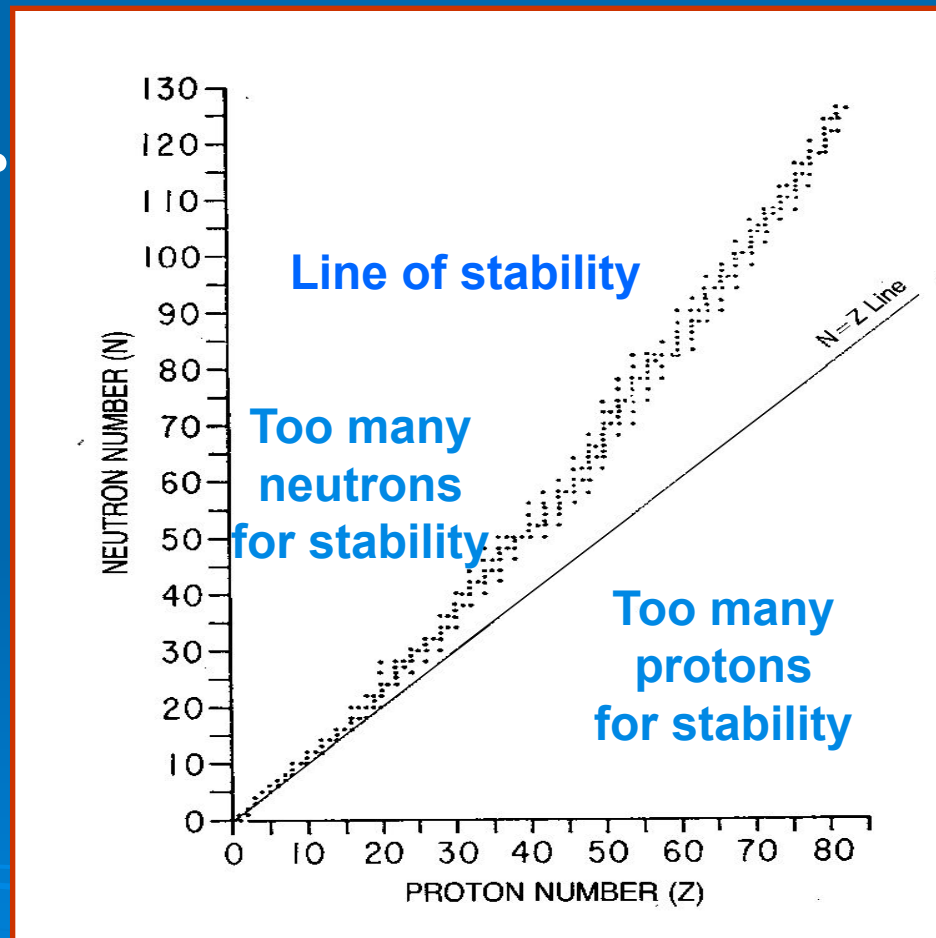


# Стабильные нуклиды

Дальнодействующие  
электростатические силы



Короткодействующие  
Сильные взаимодействия



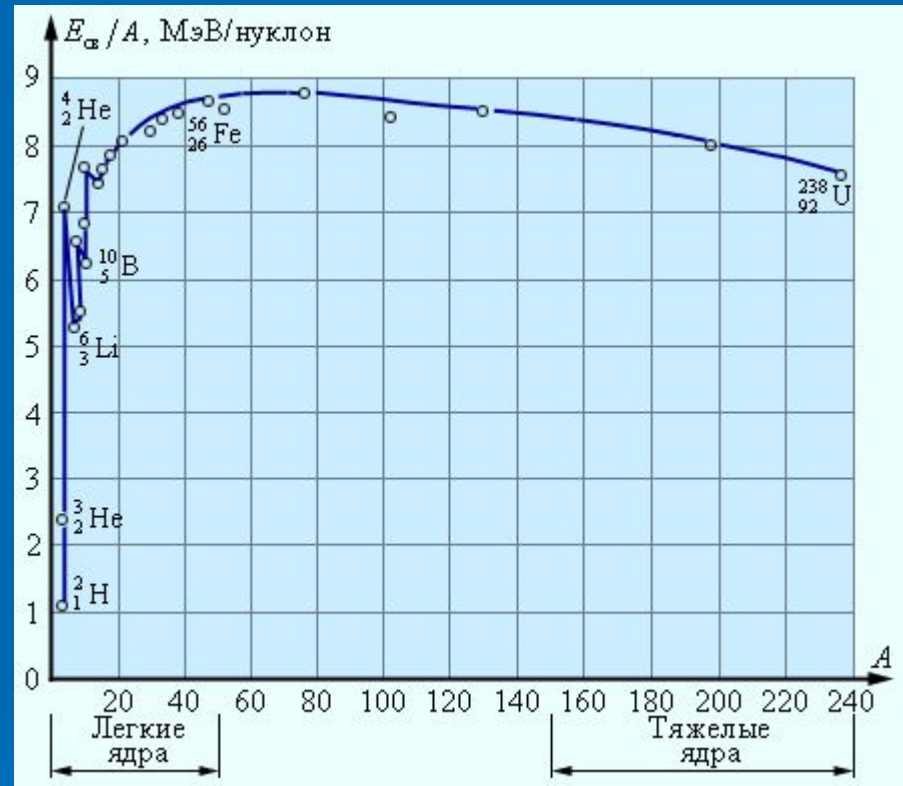
# Энергия связи ядер

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:

$$M_{\text{я}} < Zm_{\text{p}} + Nm_{\text{n}}$$

$$\Delta M = Zm_{\text{p}} + Nm_{\text{n}} - M_{\text{я}}$$

$$E_{\text{св}} = \Delta Mc^2 = (Zm_{\text{p}} + Nm_{\text{n}} - M_{\text{я}})c^2$$

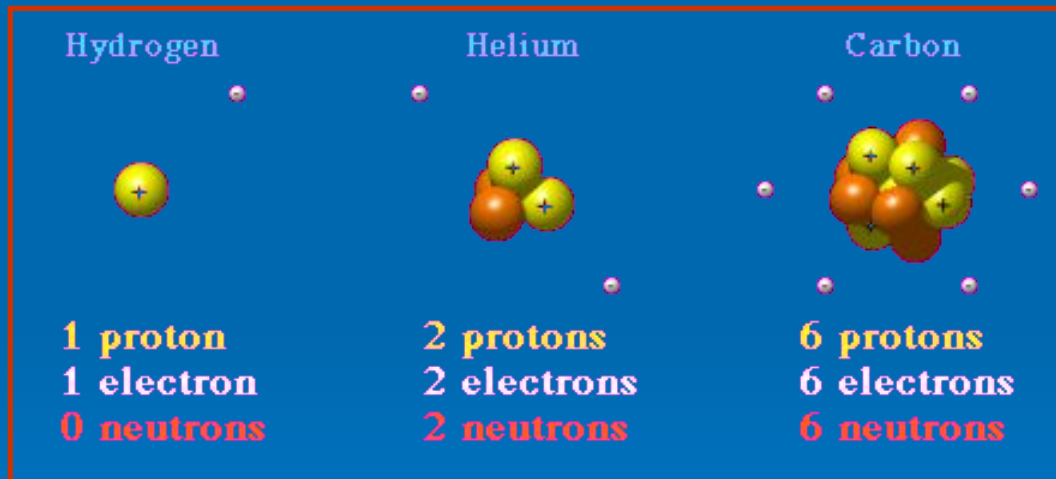


- деление тяжелых ядер на более легкие;
- слияние легких ядер в более тяжелые.



# Элементы

Число протонов в атоме определяет элемент.

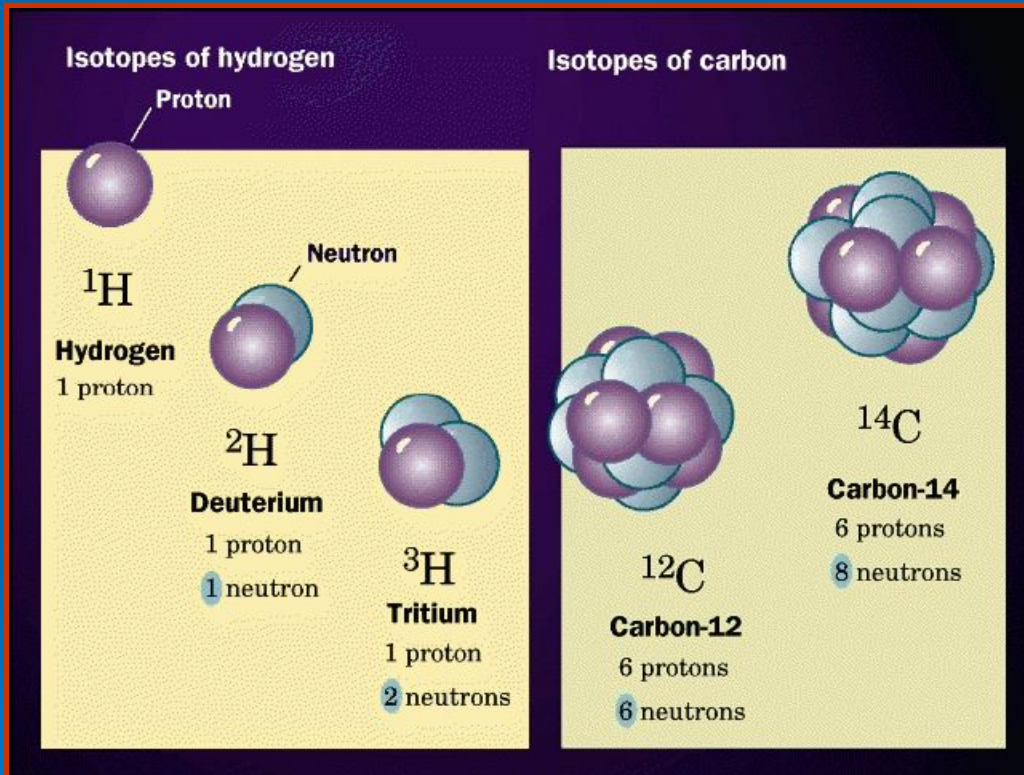


Для нейтрального атома число протонов равно числу электронов.

# 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:



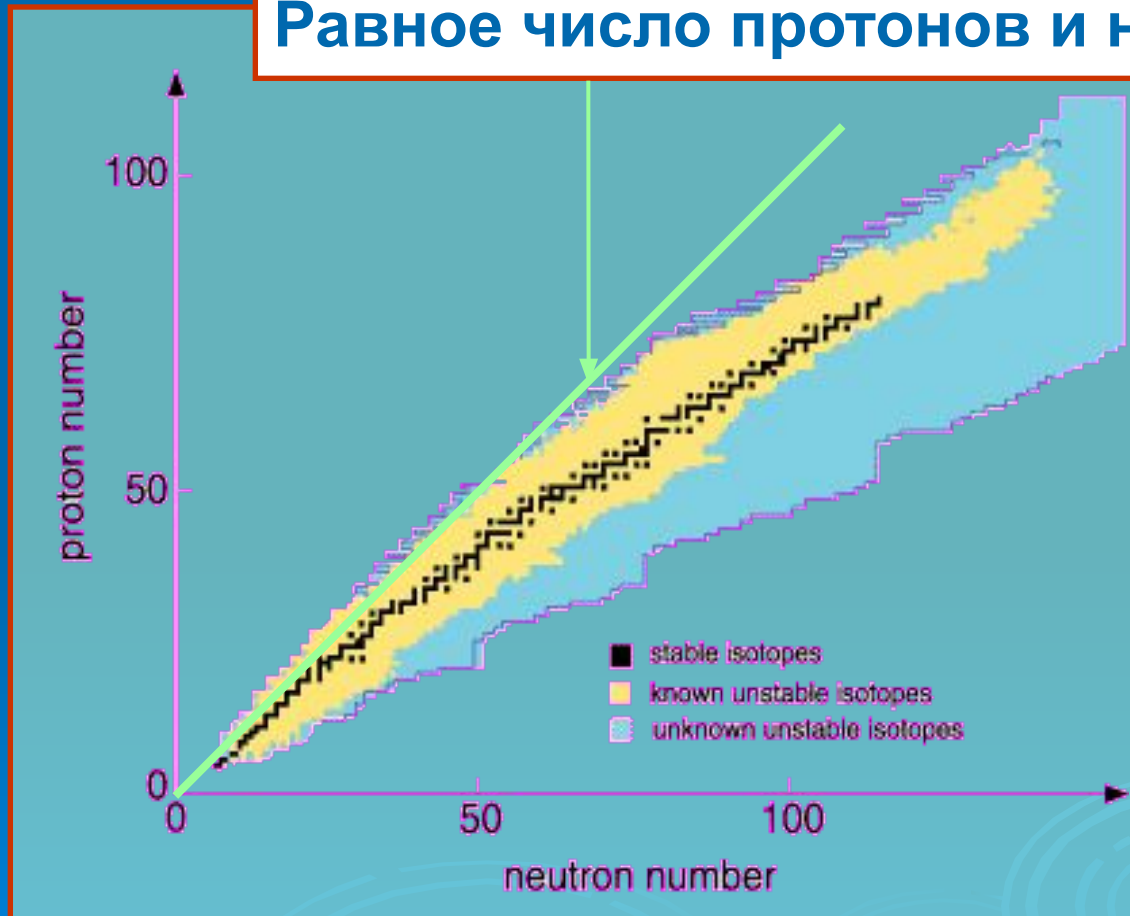
Xy = обозначение элемента

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  $\alpha$  – излучением, и более проникающую,  $\beta$  – излучением.
- 1900 г. Поль Виллард обнаружил третью составляющую излучения урана: названую  $\gamma$  – излучением.
- 1931 г. Чедвик. Открытие нейтрона.
- 1940 г. Г.Н. Флеров и К.А. Петряком открыто спонтанное деление ядер  $^{235}\text{U}$ .
- 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

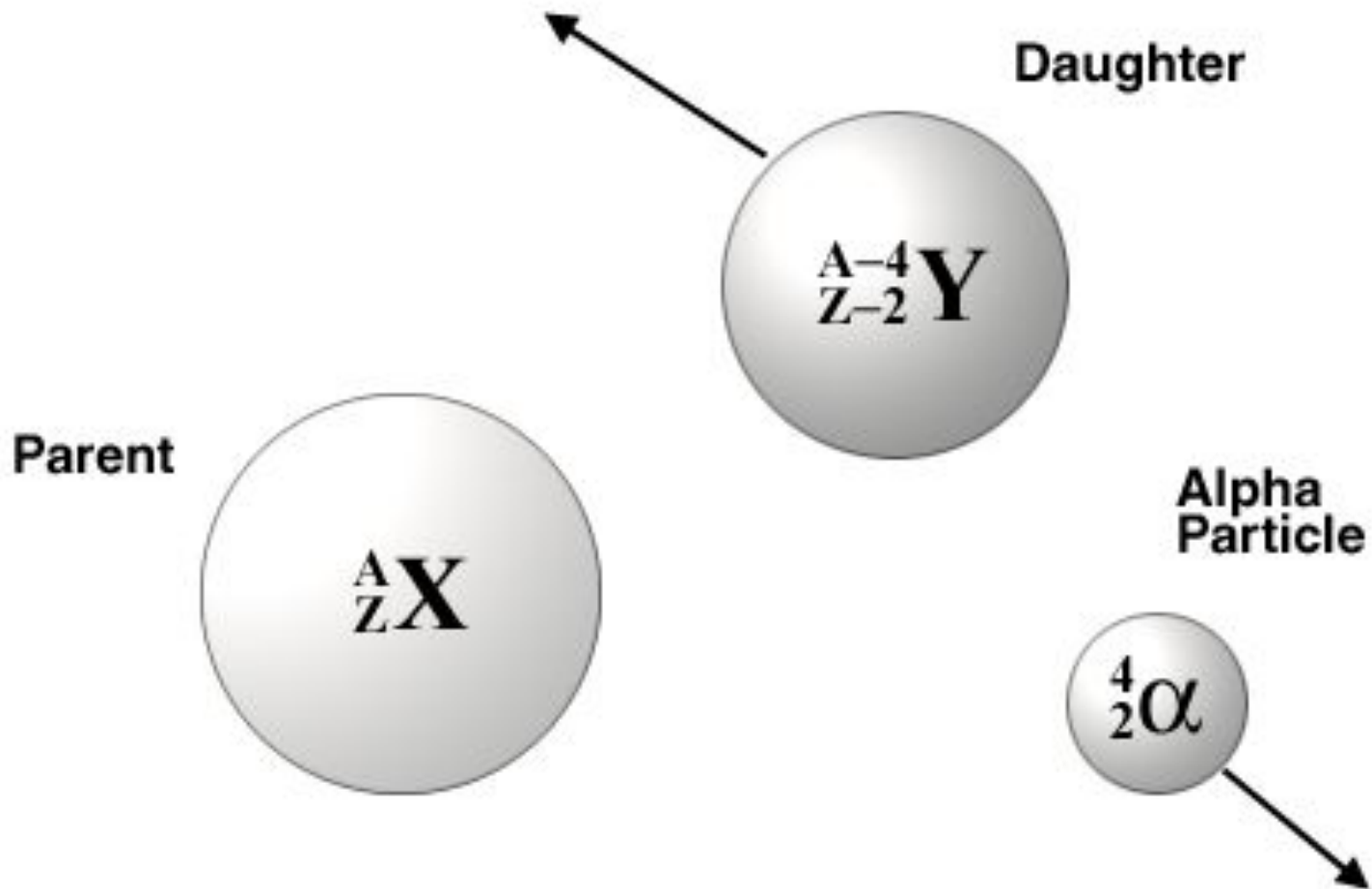
- Радиоактивность ядер, существующих в природных условиях, называют *естественной*. Радиоактивные ядра, синтезированные в лабораторных условиях искусственными способами посредством ядерных реакций, называются *искусственными (техногенными)*.

# Виды радиоактивного распада

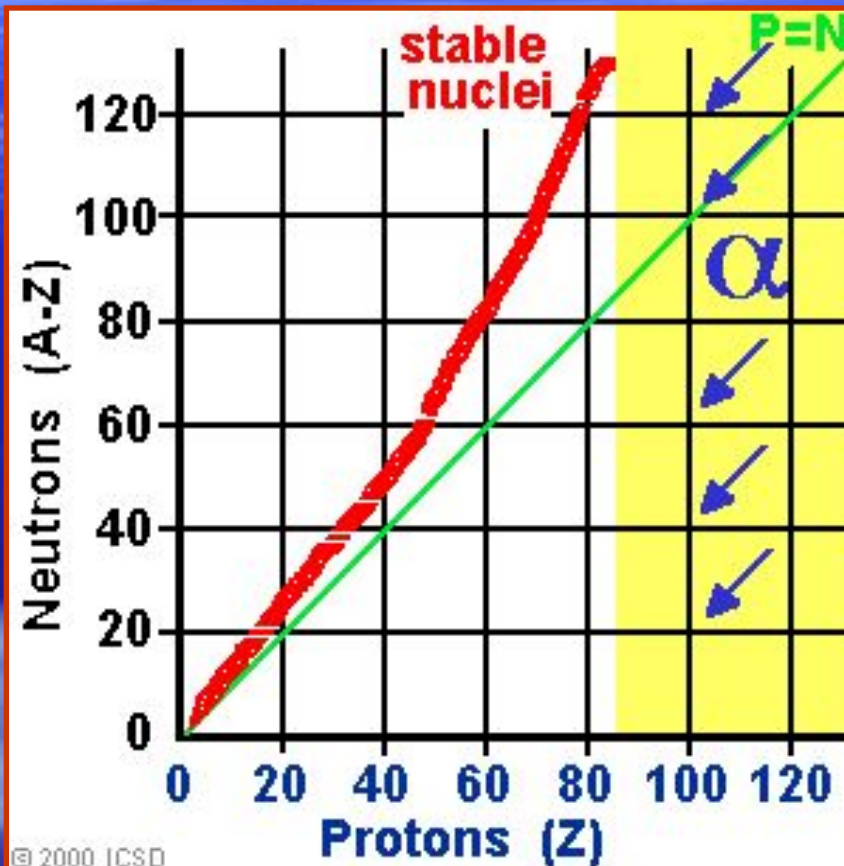
Радиоактивные элементы испускают альфа-частицы, бета-частицы и гамма-кванты. При этом говорят о двух базовых типах радиоактивного распада: альфа-распаде и бета-распаде. Гамма-кванты образуются как сопутствующее этим видам распада излучение.

# Ядерные реакции альфа-распад

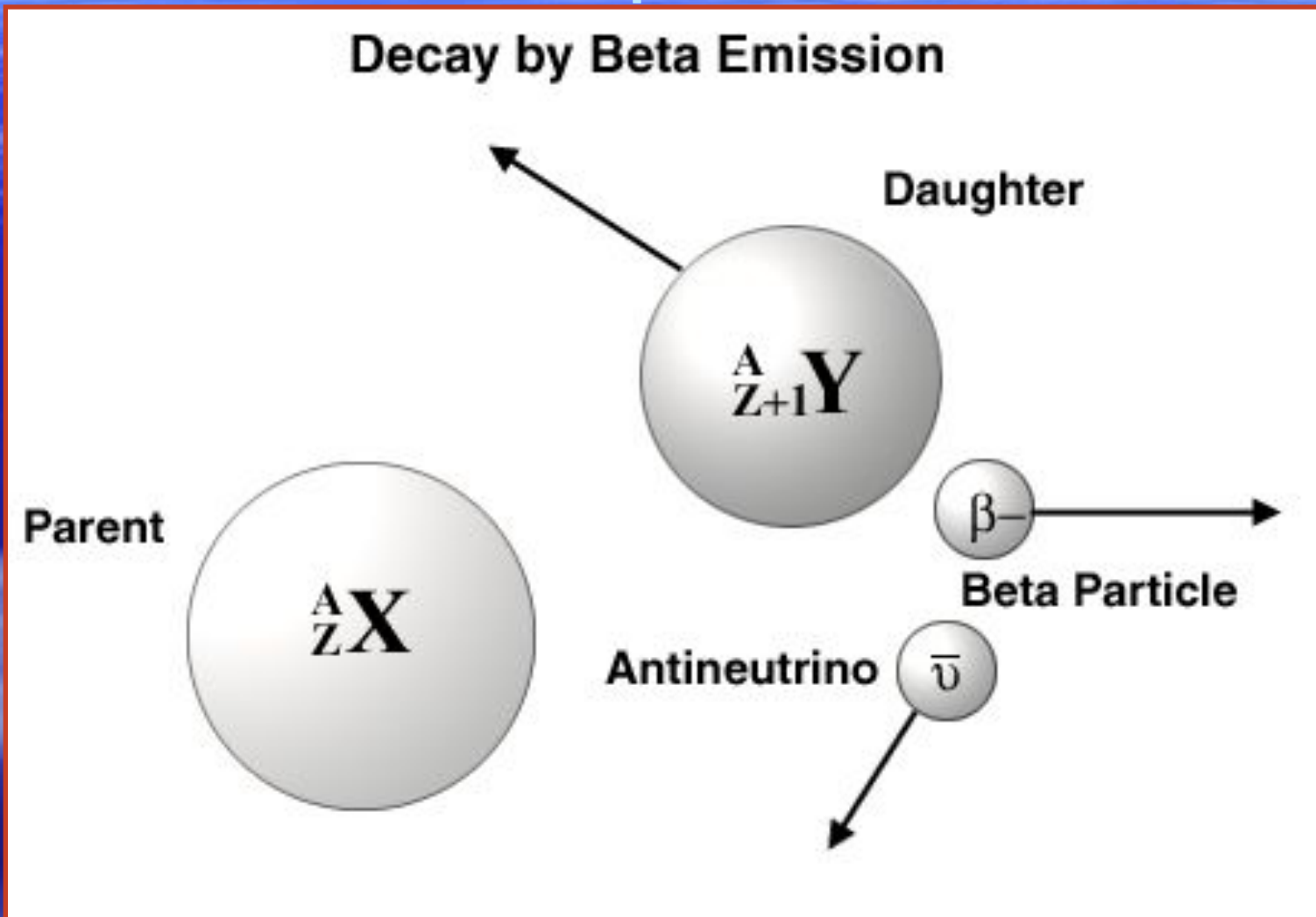
## Decay by Alpha Emission



# Ядерные реакции альфа-распад

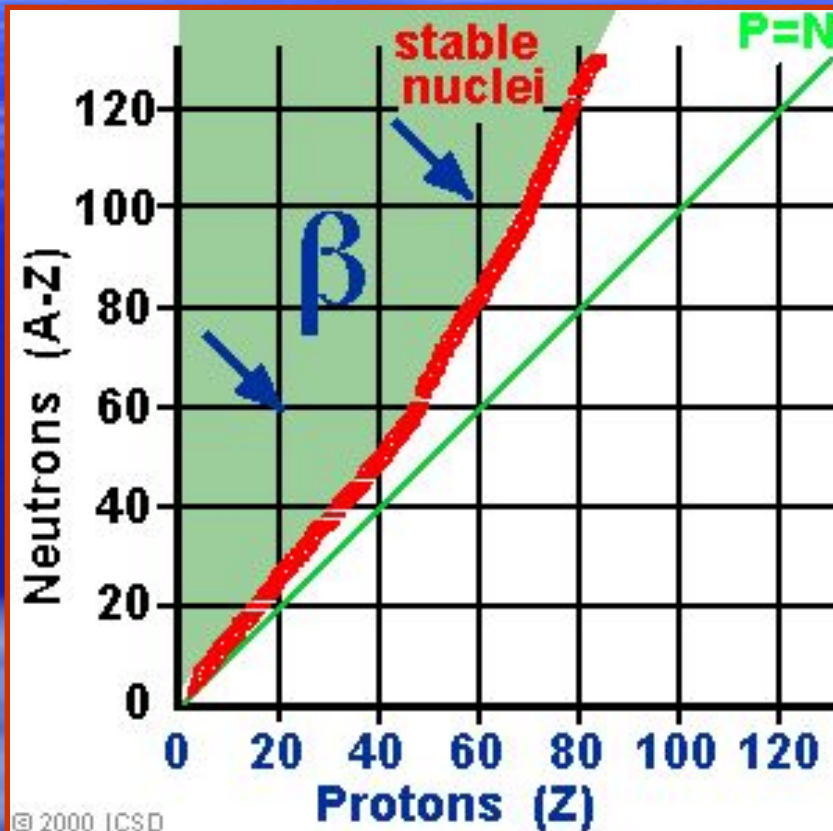


# Ядерные реакции бета-распад

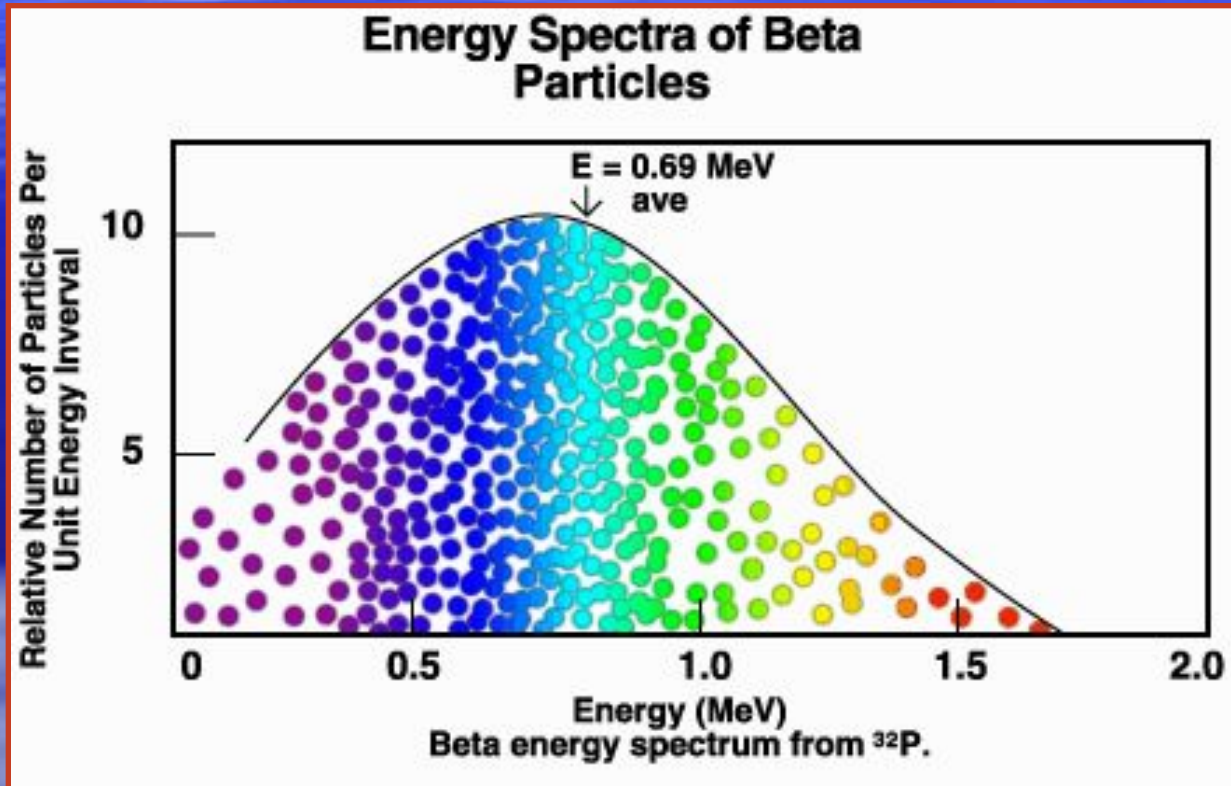




# Ядерные реакции бета-распад



# Спектр бета-частиц

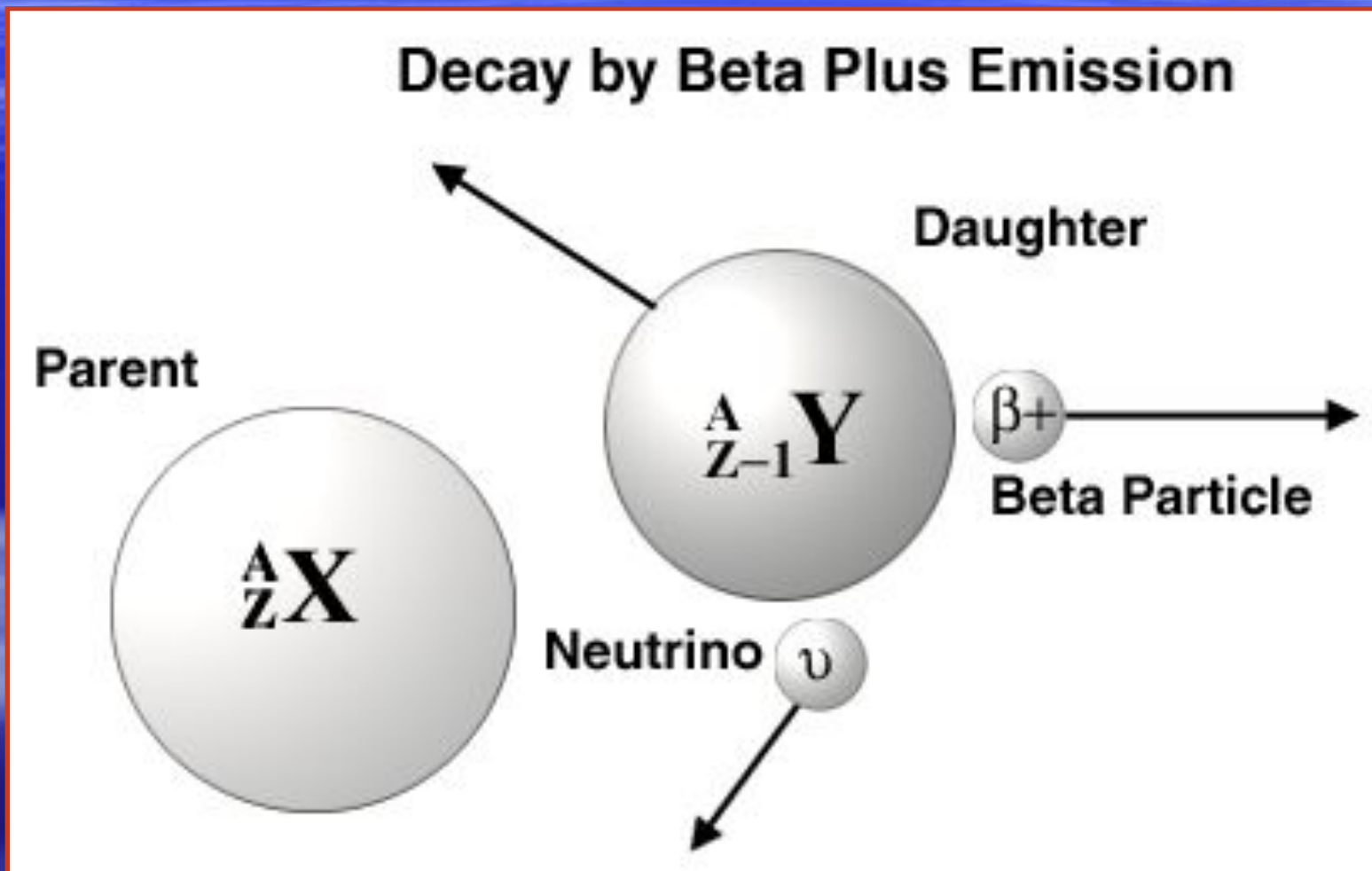


$$E_{\text{cp.}} = 1/3 E_{\text{max}}$$



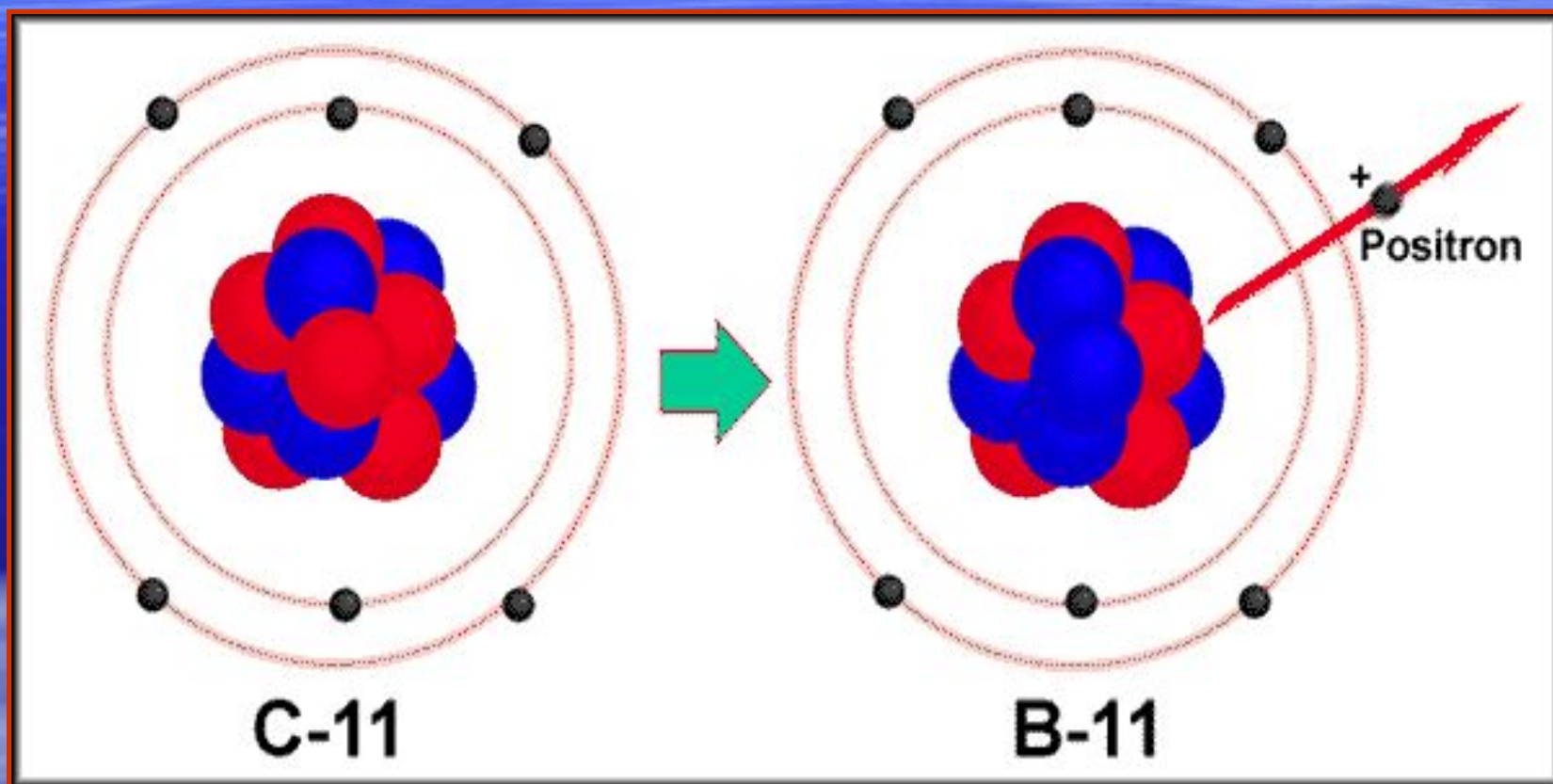
# Ядерные реакции

## Позитронный распад

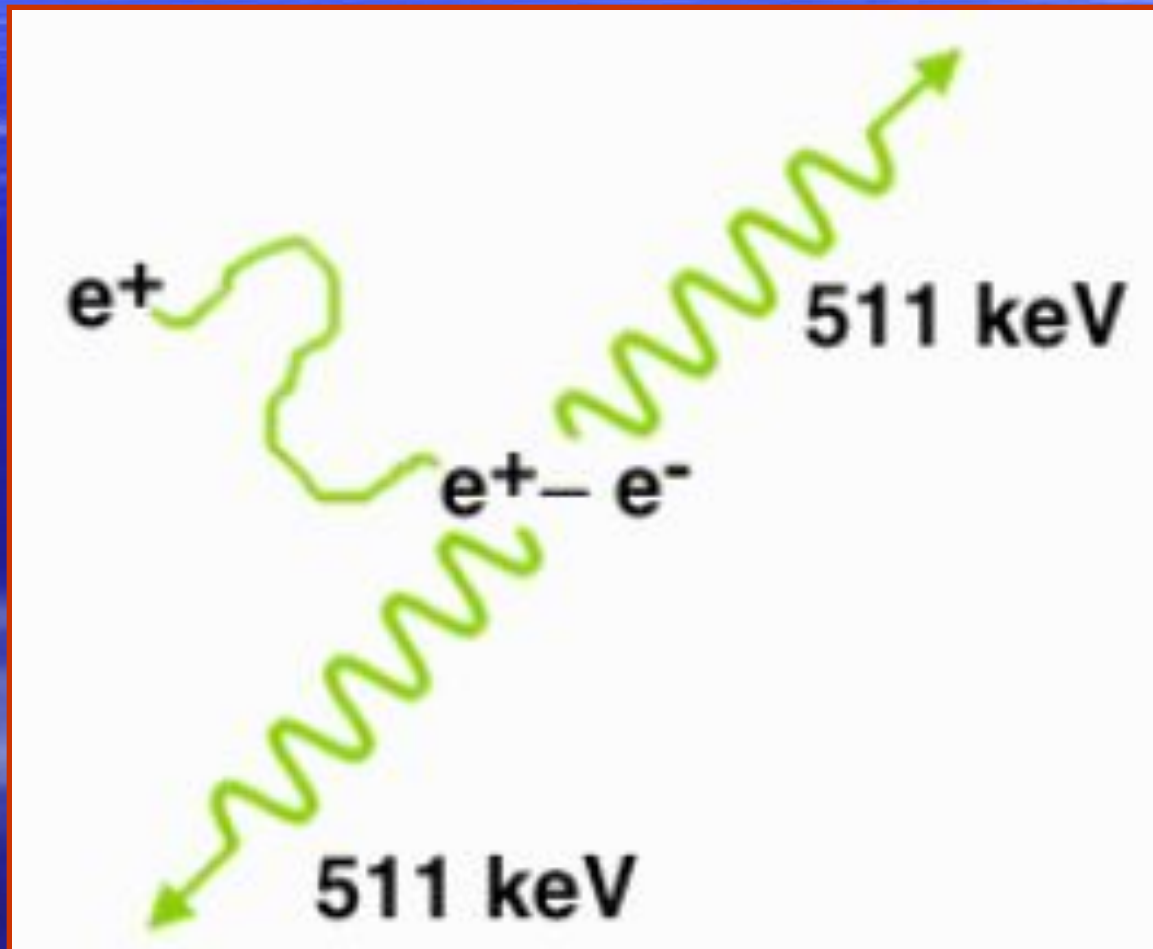


# Ядерные реакции

## Позитронный распад



# Аннигиляция



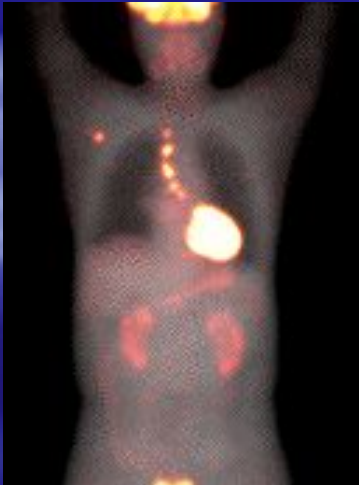
# Пример использования позитронного распада ( $^{18}\text{F}$ )



**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 нерецепторов**

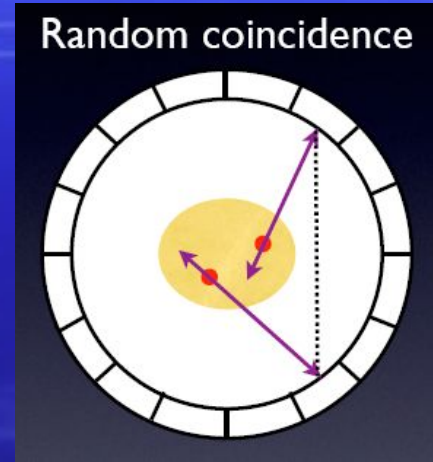
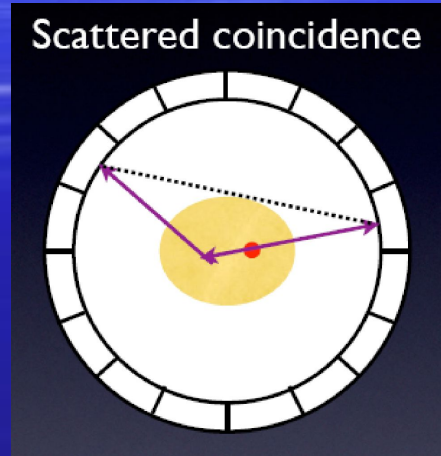
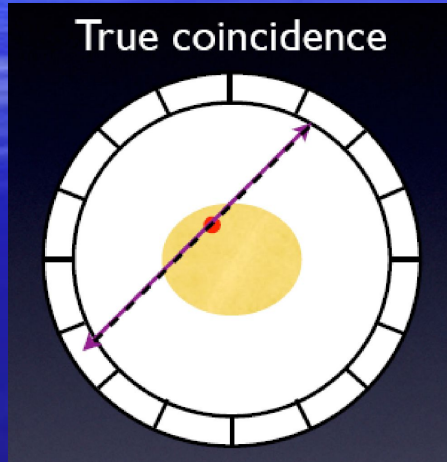


**Для производства радиофармпрепаратов с очень коротким периодом полураспада требуется циклотрон непосредственно в отделении.**

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



# Пример использования позитронного распада ( $^{18}\text{F}$ )

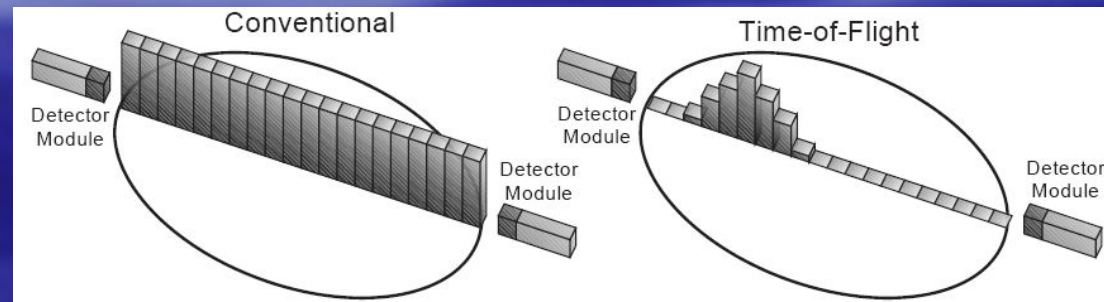
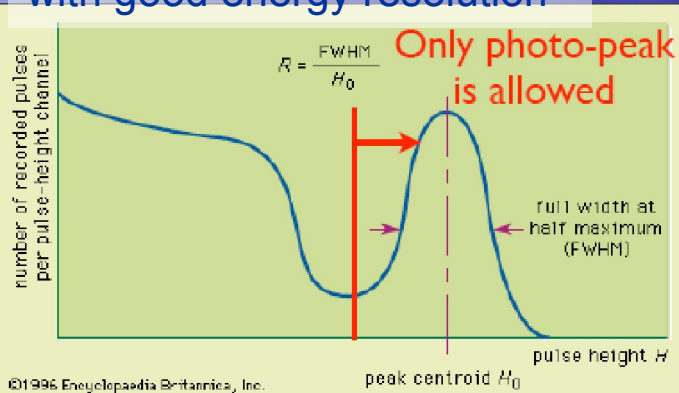


- Annihilation point
- Gamma ray
- ..... Line of response

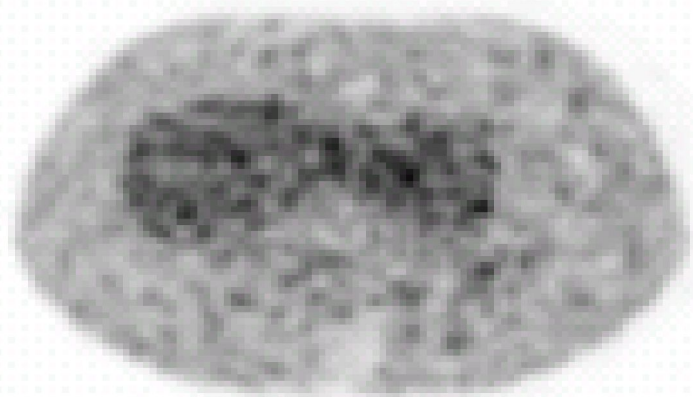
remove Compton-scattered  $\gamma$   
with good energy resolution

remove combinatorial bg by ToF meas.

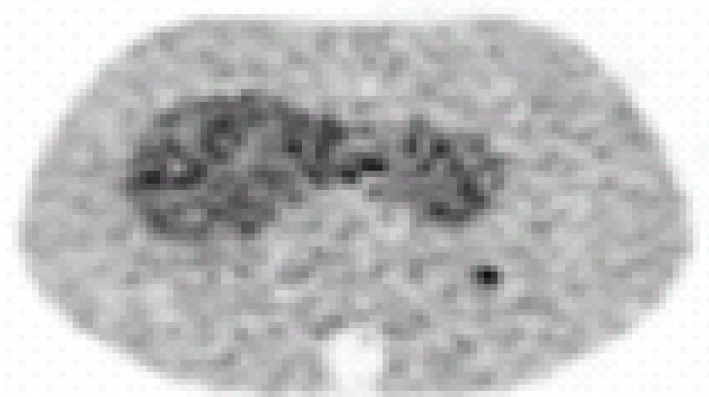
$$\Delta t = 500 \text{ ps} \quad \Delta x = \frac{c}{2} \Delta t = 7.5 \text{ cm}$$



# Пример использования позитронного распада ( $^{18}\text{F}$ )

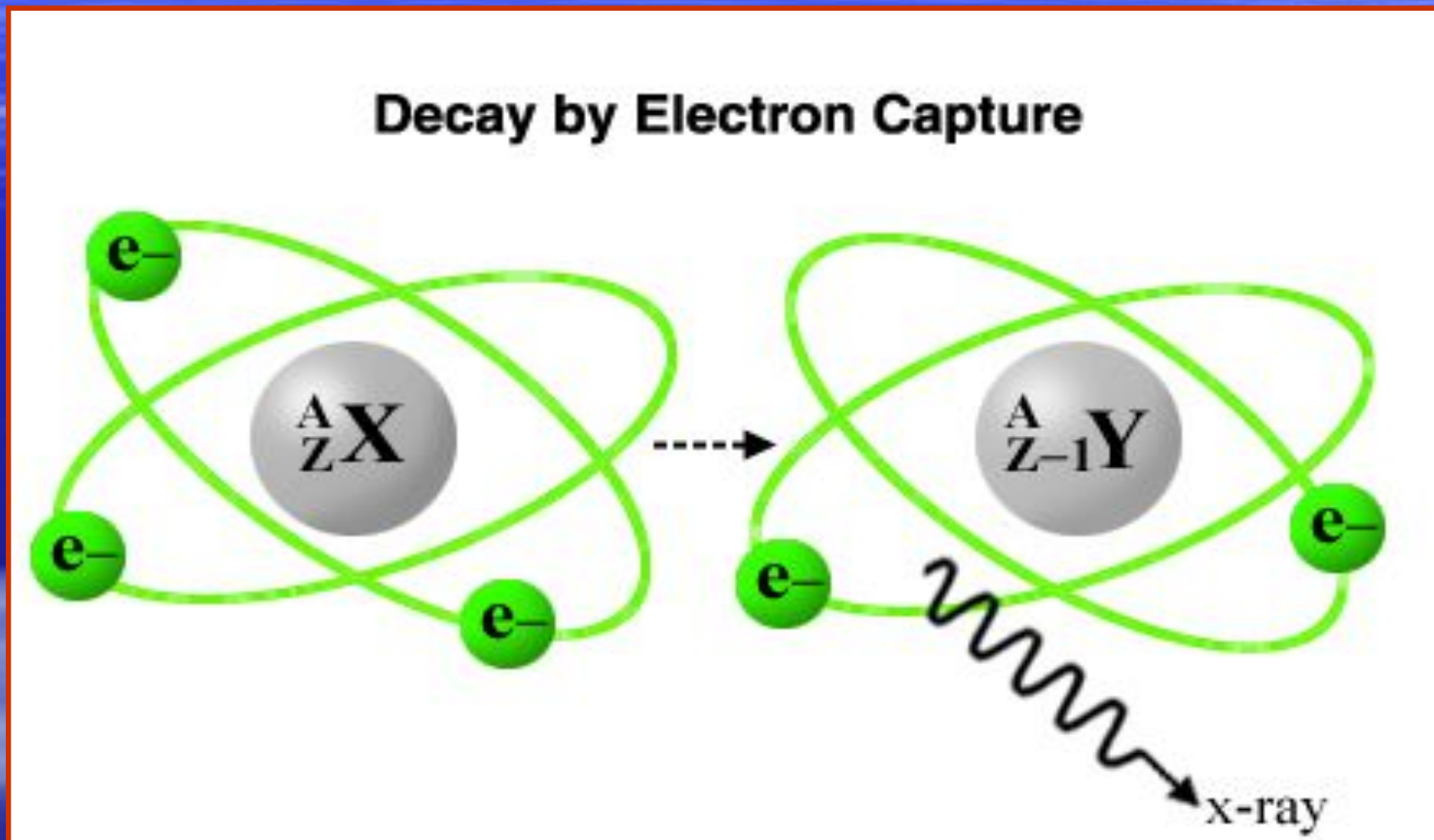


**Conventional**



**300 ps**

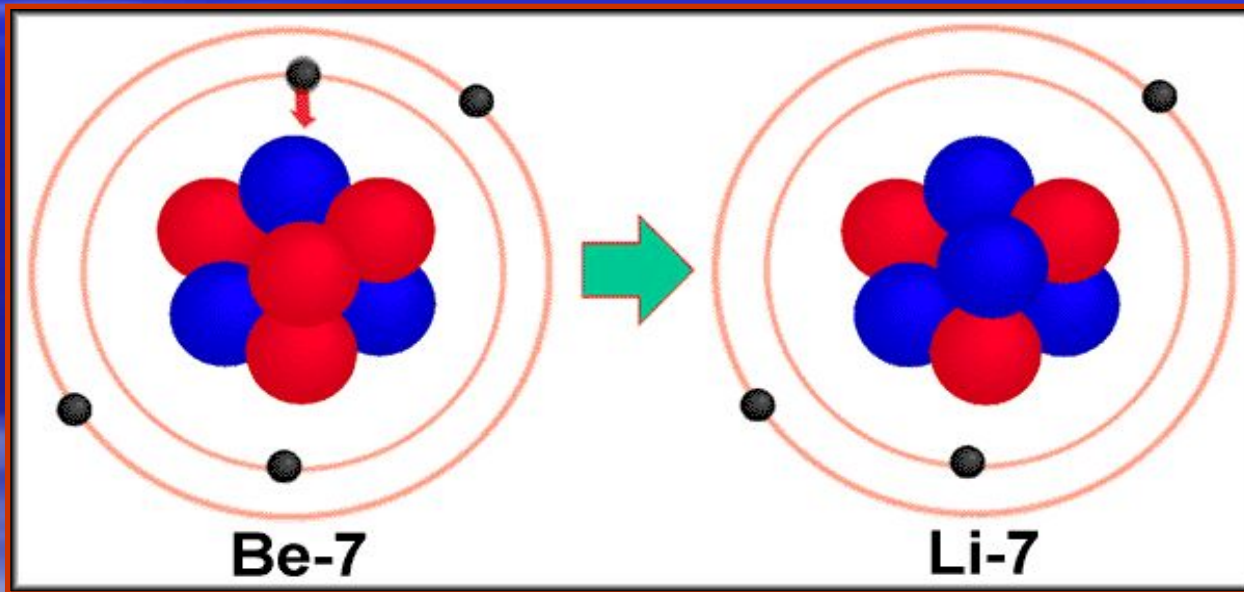
# Ядерные реакции электронный захват



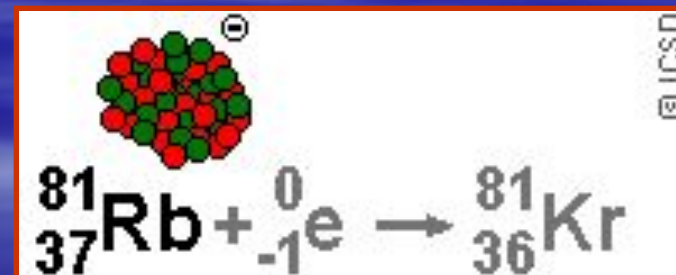
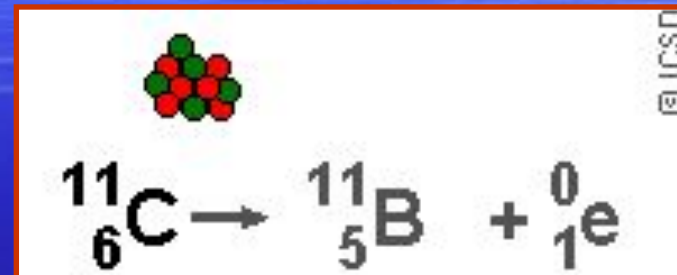
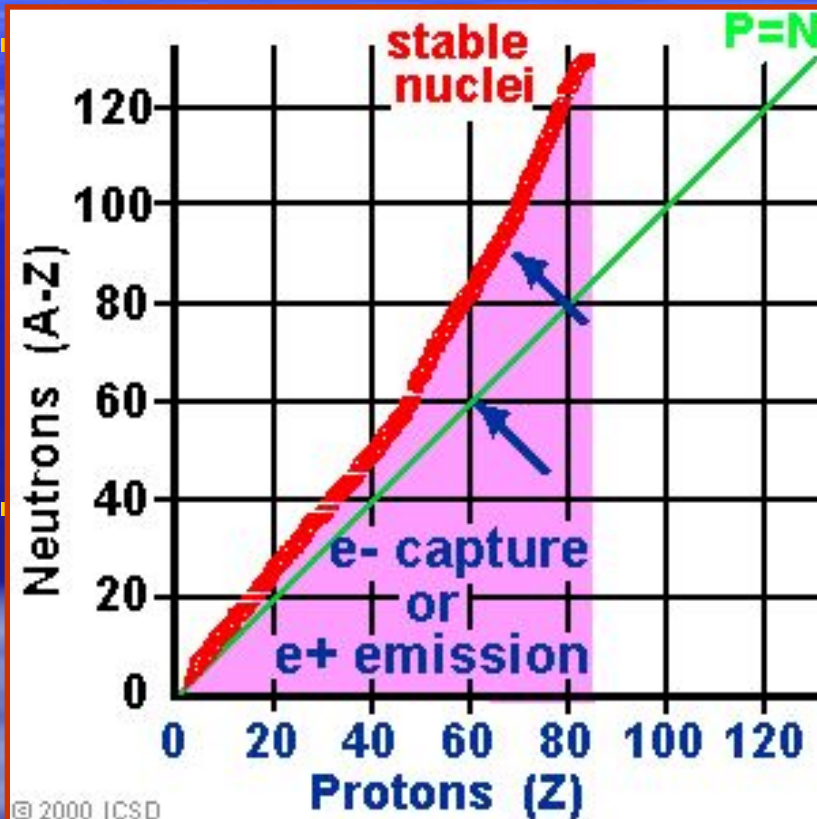
Результат: Характеристическое рентгеновское излучение



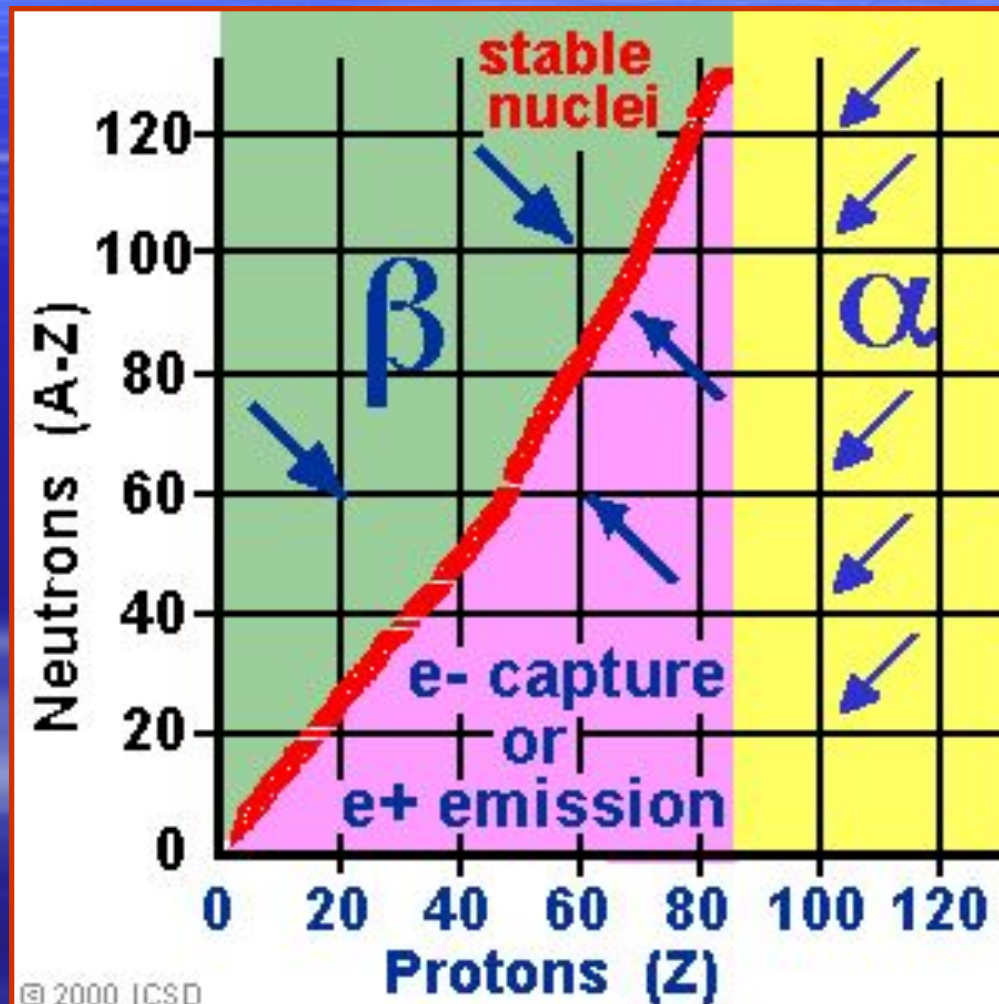
# Ядерные реакции электронный захват



# Ядерные реакции: позитронный распад и электронный захват



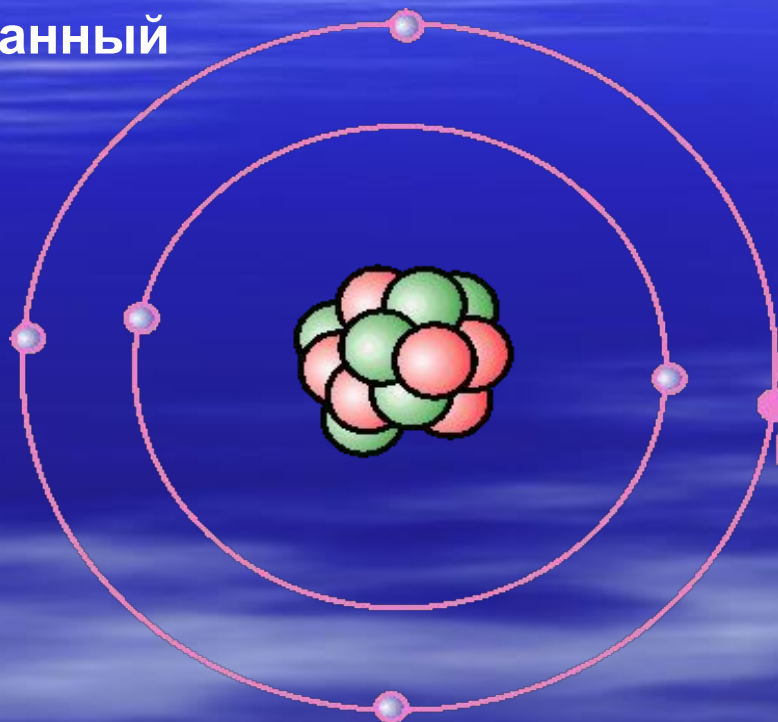
# Основные механизмы распада



# Ионизация

Ионизированный  
атом

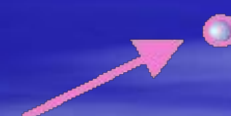
+1



электрон

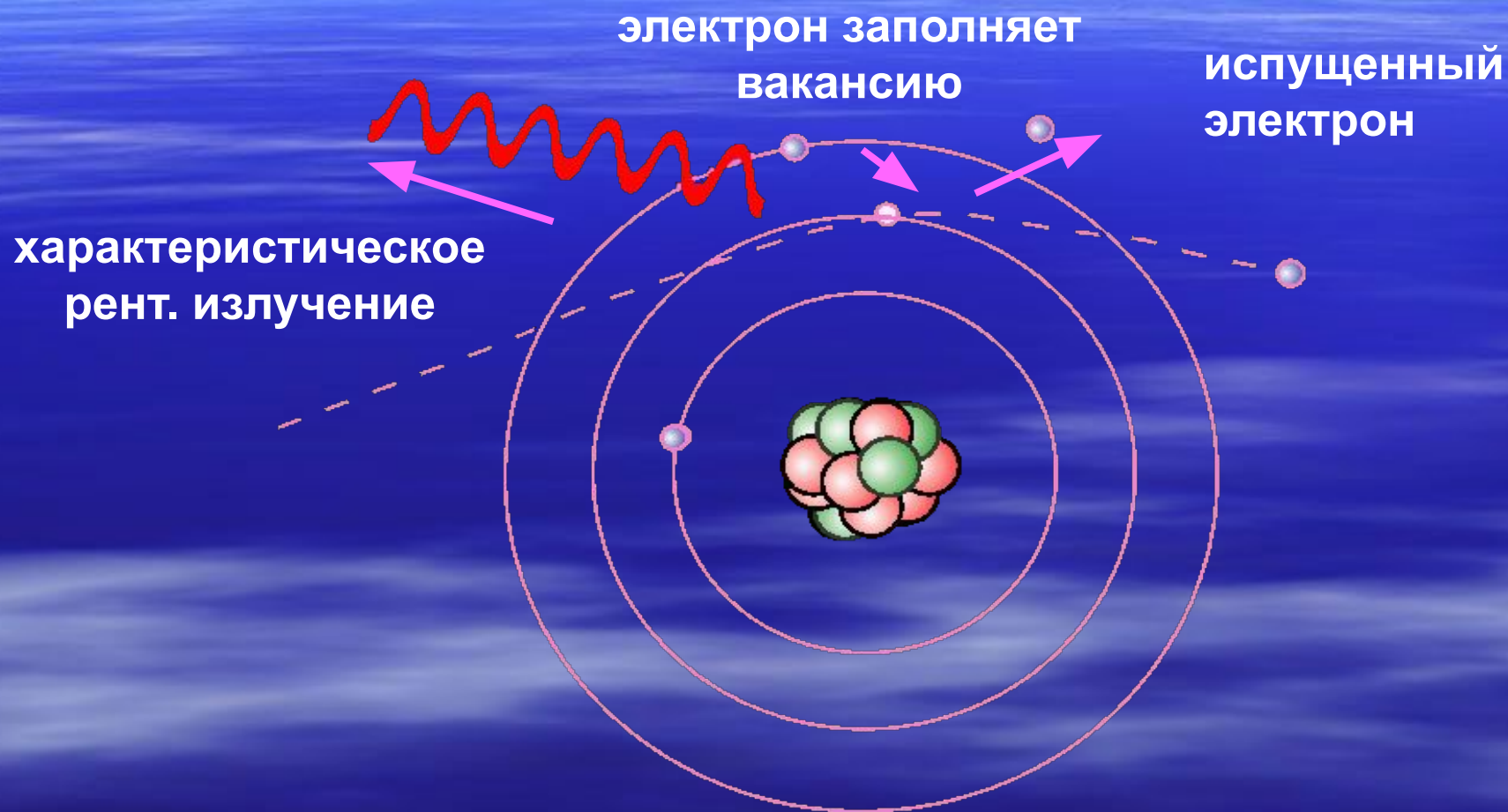
-1

излучение





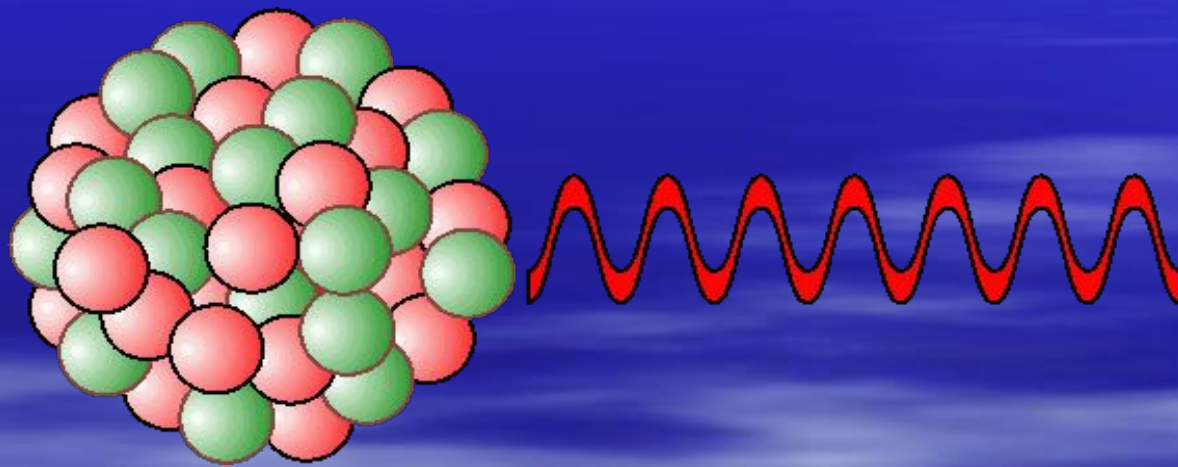
# Рентгеновское излучение



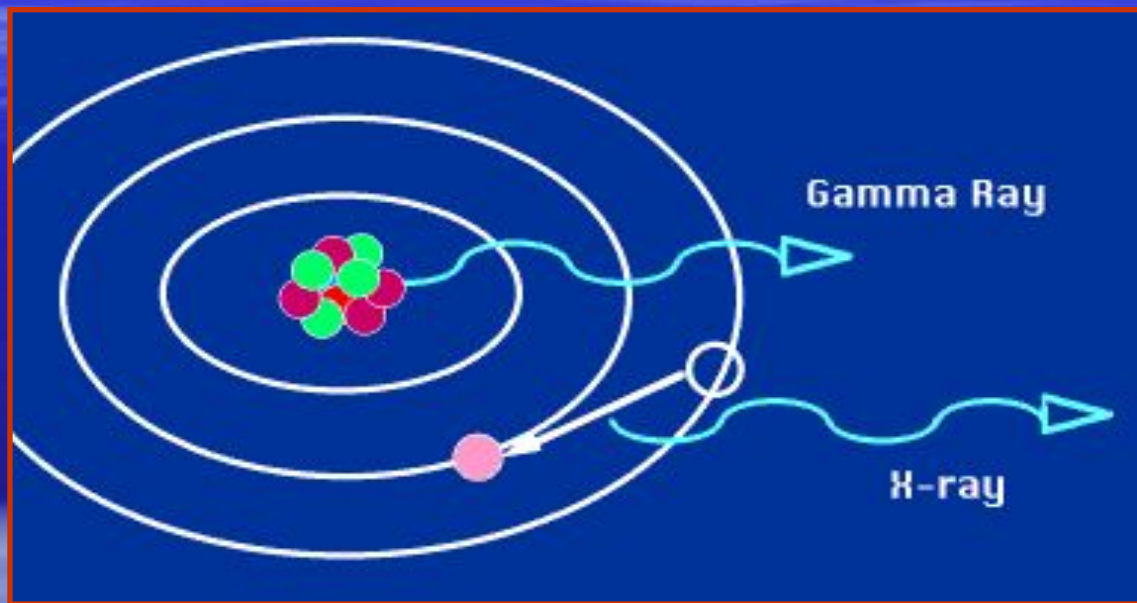
# Гамма-излучение

- **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**



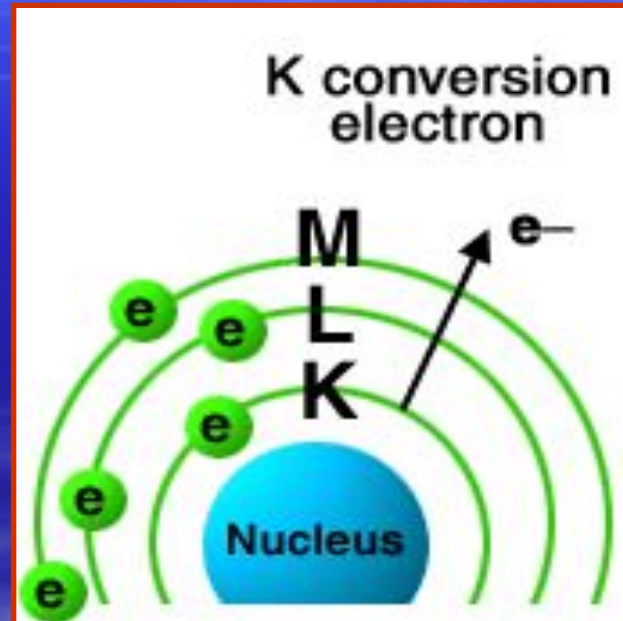
# Внутренняя конверсия

- 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.**

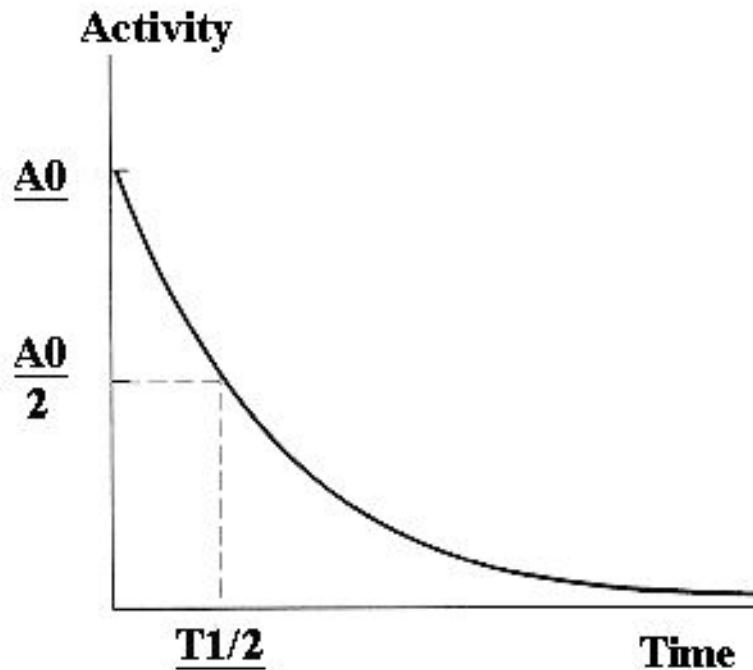


**Nucleus de-excites by emitting conversion electron (ce-k).**

# 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	K-захват; испускается характеристическое рент.излучение
Гамма	Возбужденное состояние	Нет	Нет	Моноэнергетическое
Внутренняя конверсия	Возбужденное состояние	Нет	Нет	Выбрасывается орбитальный электрон; Испускаются характ-е рент.излучение

# Радиоактивный распад



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

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

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



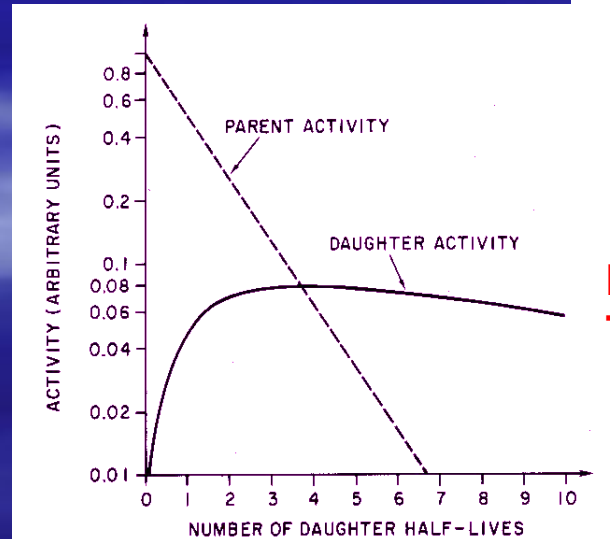
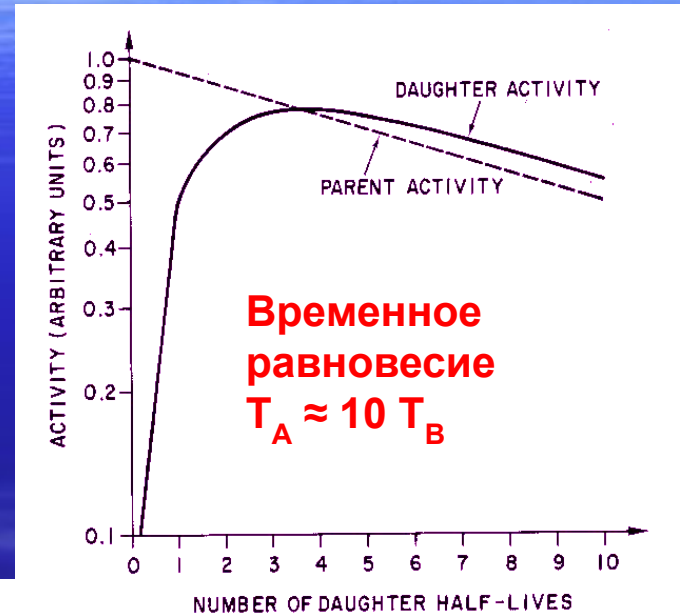
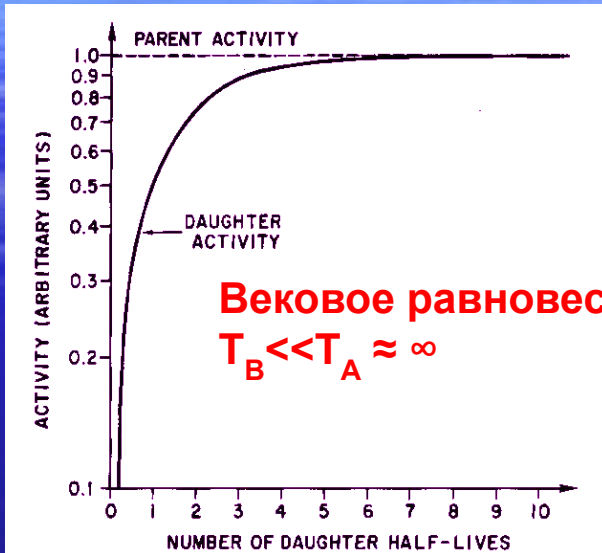
# Дочки-матери



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

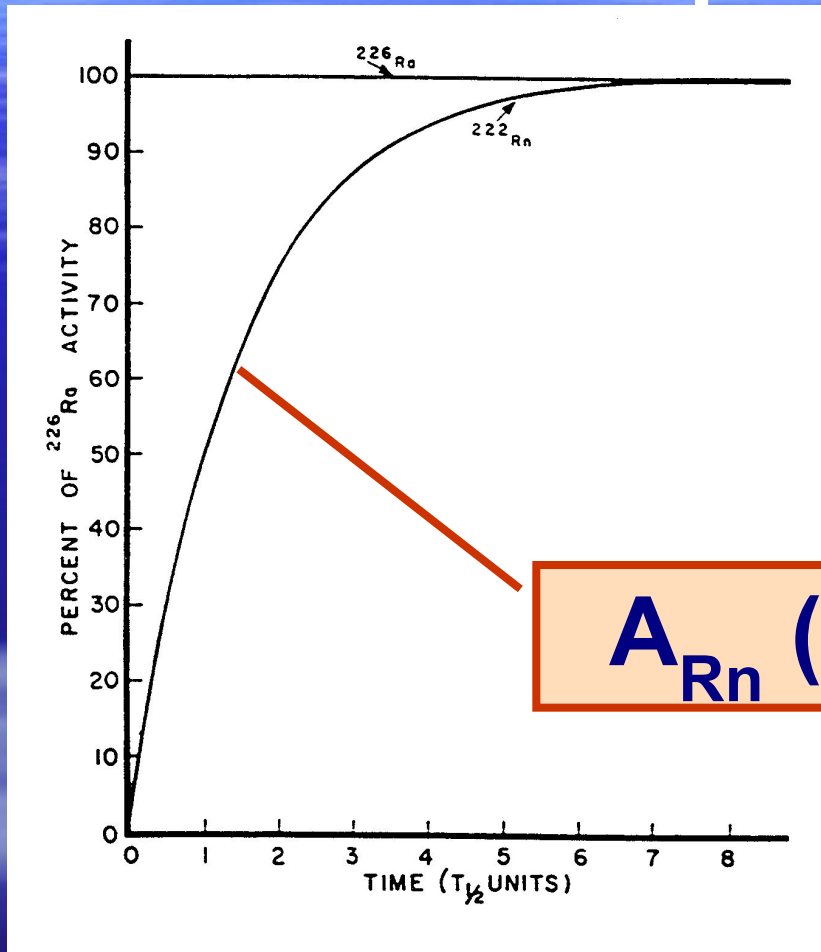
$$B(t) = \frac{A_0 \cdot \lambda_2}{\lambda_2 - \lambda_1} (e^{-\lambda_1 \cdot t} - e^{-\lambda_2 \cdot t})$$

# Дочки-матери



# Дочки-матери

## Вековое равновесие



$^{226}\text{Ra}$

$^{222}\text{Rn}$

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

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

или

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

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

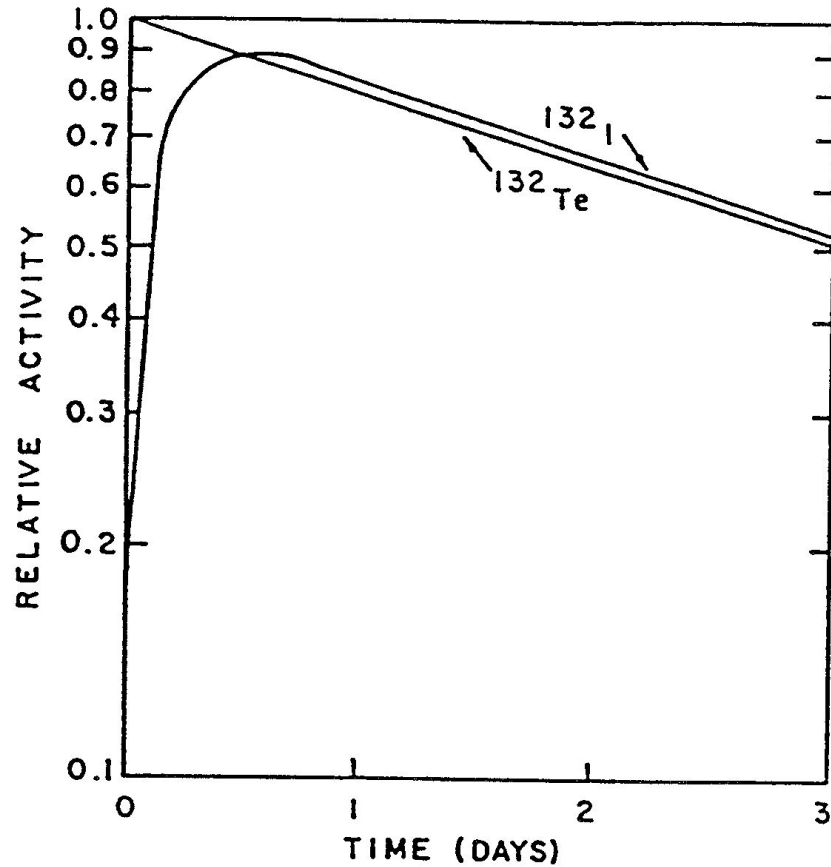
$^{90}\text{Y} - T_{1/2} = 64 \text{ часа}$

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



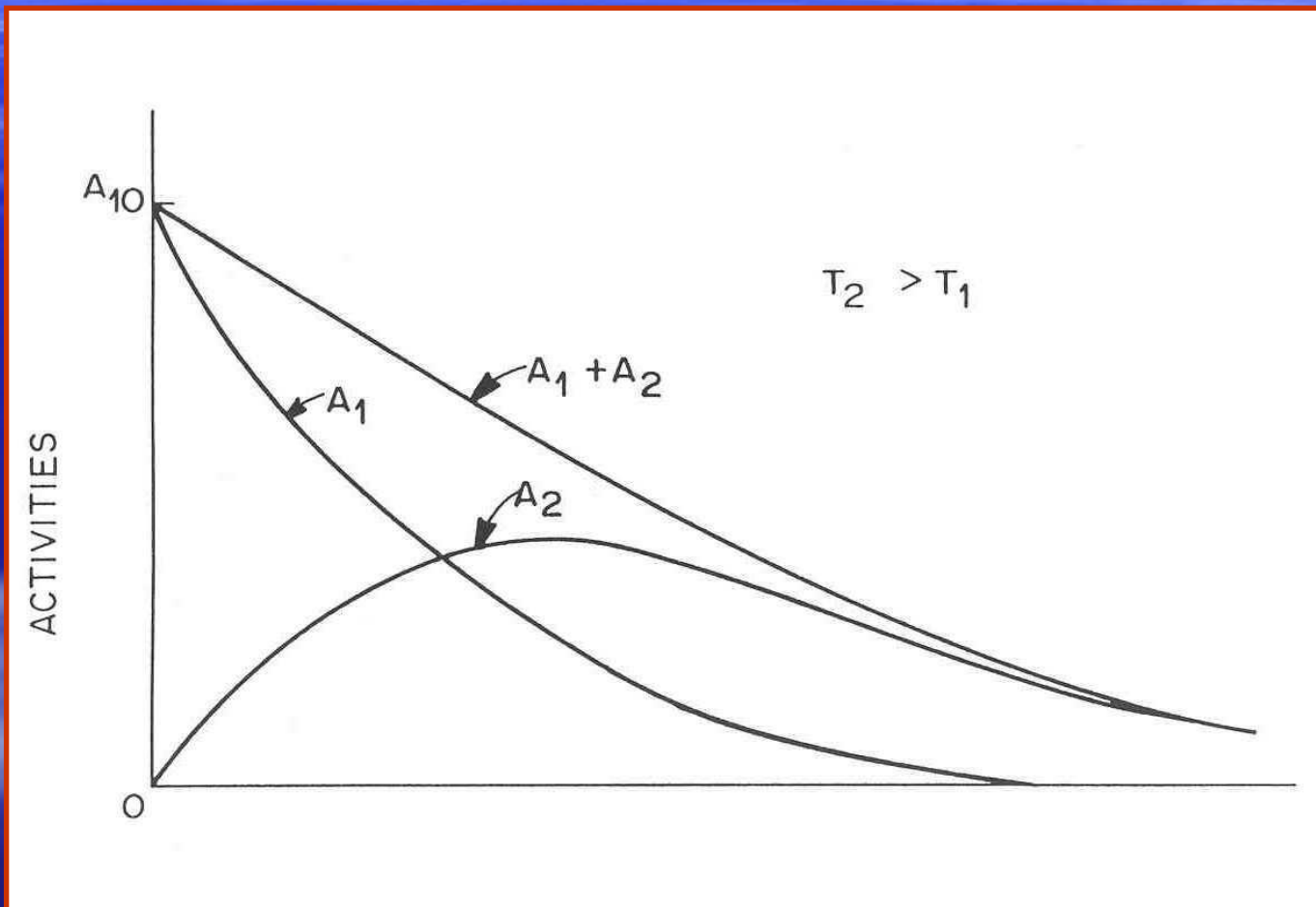
# Дочки-матери

## Временное равновесие

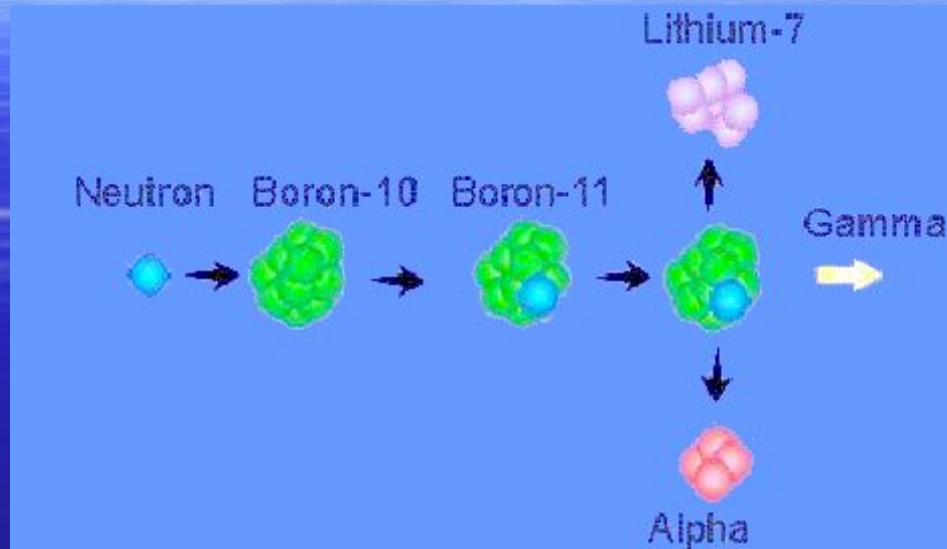


# Нет равновесия

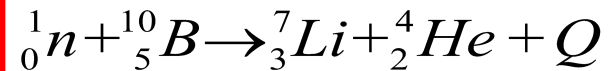
$$T_A < T_B$$



# Ядерные реакции при бомбардировке ядер



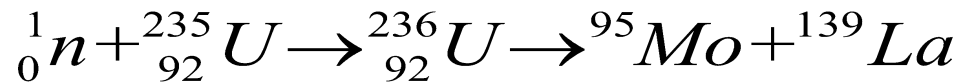
(n, зар.ч-ца)



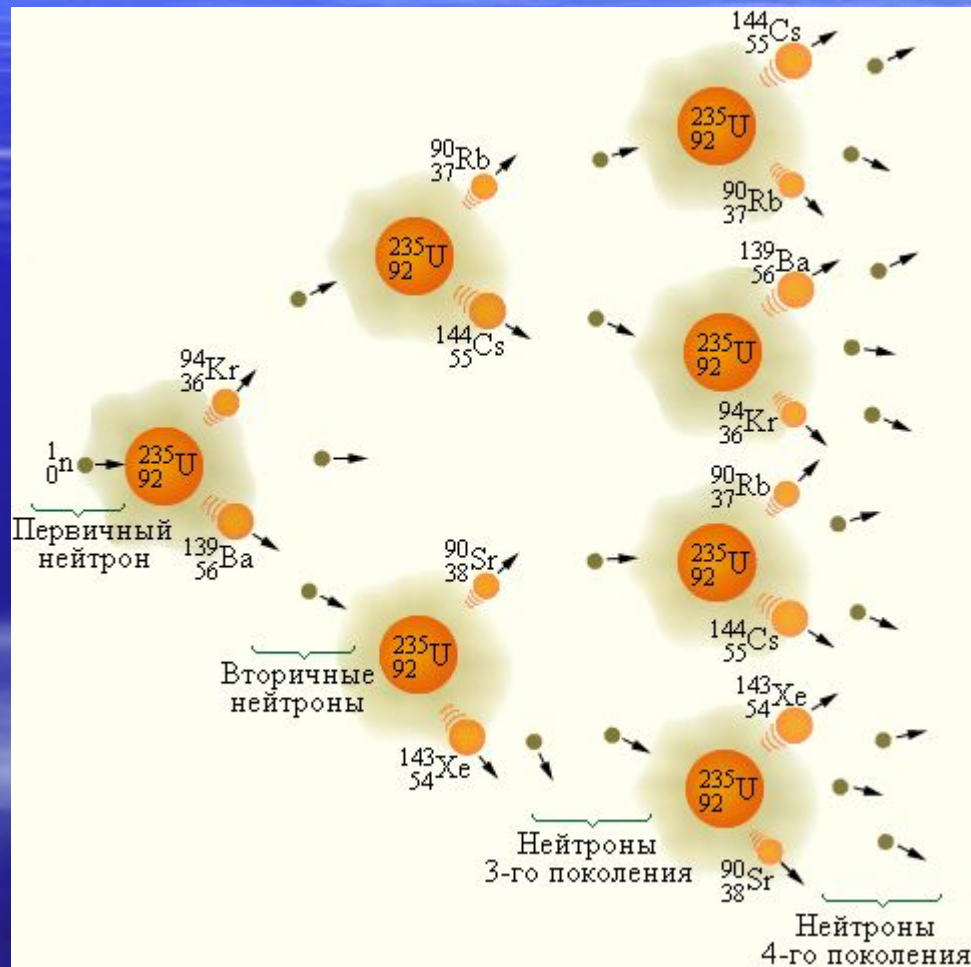
(n, гамма)



(n, деление)



# Ядерные реакции деление тяжелых ядер

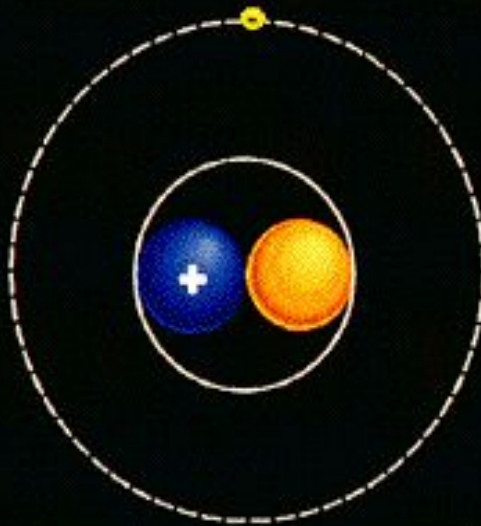




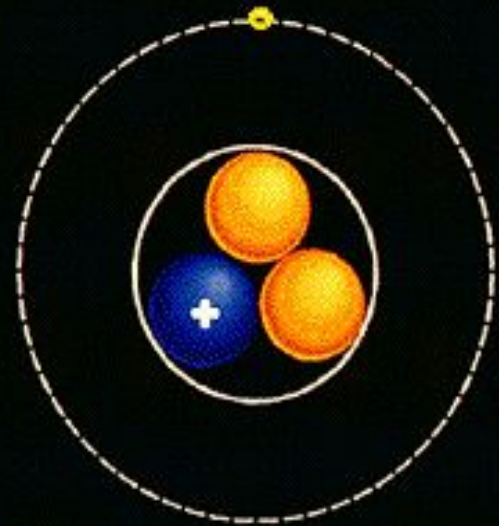
# Ядерные реакции синтез



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



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



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

# Ядерные реакции СИНТЕЗ

