

АТОМНОЕ ЯДРО

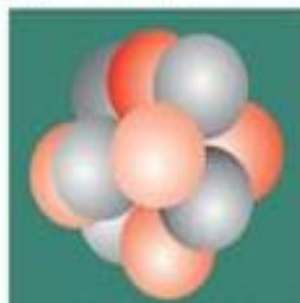
Заряд и размеры атомного ядра

Заряд атомного ядра

$$q = Z \cdot e$$



p-протон



Состав атомного ядра

Радиус атомного ядра

$$R = 1,3 \cdot 10^{-15} \cdot \sqrt[3]{A} \text{ м.}$$



n-нейтрон



Обозначение изотопа

Z-число протонов в ядре, зарядовое число

N-число нейтронов в ядре

A=Z+N-число нуклонов в ядре, массовое число

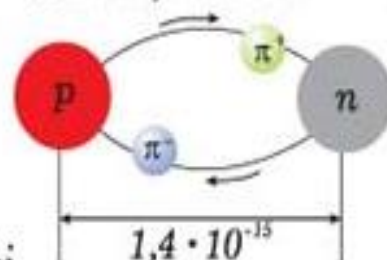
Ядерное взаимодействие нуклонов



Ядерные силы притяжения между любыми двумя нуклонами одинаковы

Обменные силы

$$p \rightarrow n + \pi^+, \quad n + \pi^+ \rightarrow p$$



Энергия связи атомных ядер

$$m_p = 1,6726 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00728 \text{ а.е.м.};$$

$$m_n = 1,6749 \cdot 10^{-27} \text{ кг} = 1,00866 \text{ а.е.м.}$$

Дефект массы

$$\Delta m = Zm_p + Nm_n - m_s$$

Энергия связи

$$E_{\text{св}} = \Delta m c^2$$

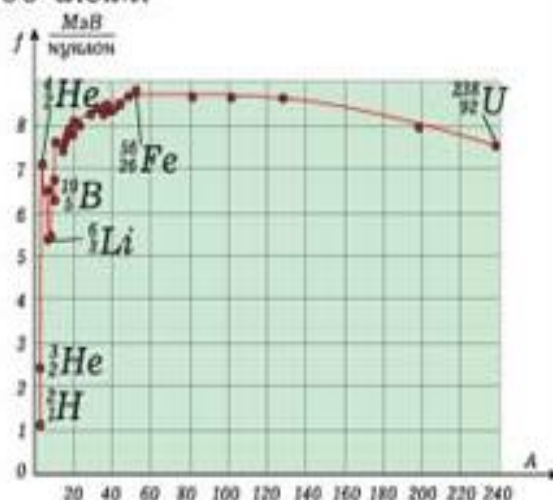
Удельная энергия связи

$$f = \frac{E_{\text{св}}}{A}$$

Энергетические эквиваленты

$$1 \text{ МэВ} = 1,602 \cdot 10^{-13} \text{ Дж}$$

$$1 \text{ а.е.м.} \cdot c^2 = 931,5 \text{ МэВ}$$



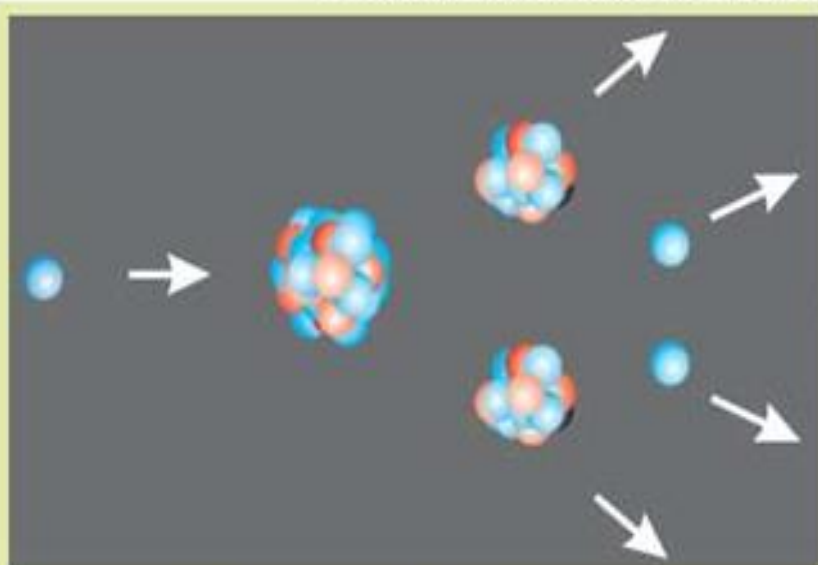
Зависимость удельной энергии связи атомных ядер от массового числа

ЯДЕРНЫЕ РЕАКЦИИ

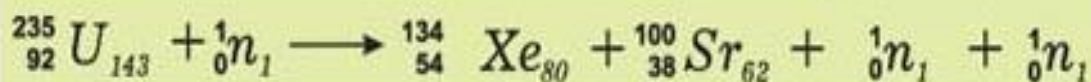
Первая осуществленная человеком ядерная реакция:



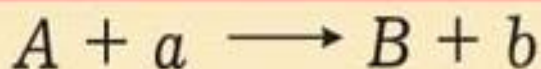
Реакция деления ядра урана



$$\Delta E = 200 \text{ МэВ}$$



Выход ядерной реакции:



$$E = \Delta m \cdot c^2, \quad \Delta m = m_A + m_a - m_B - m_b$$

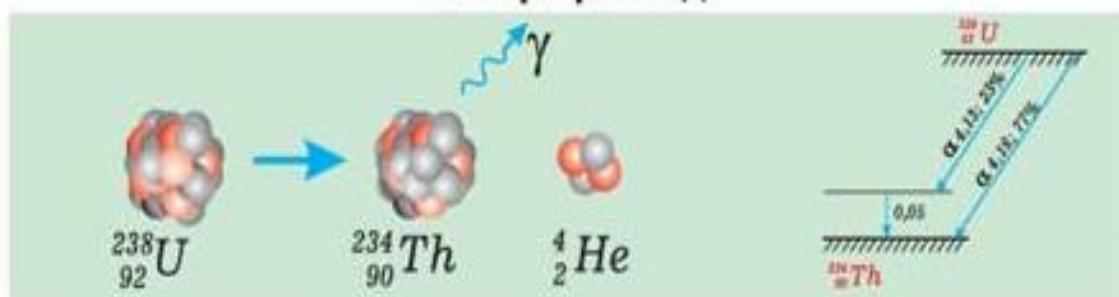
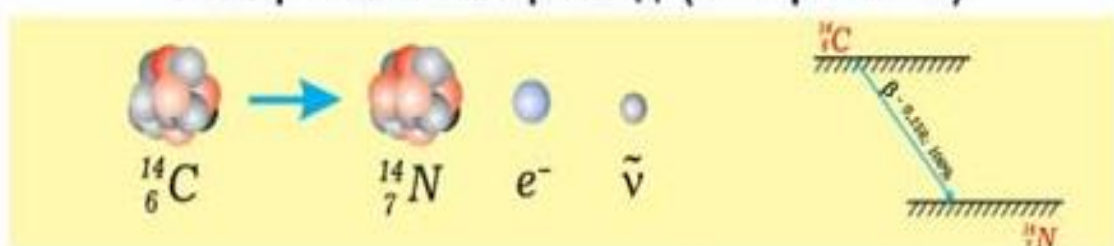
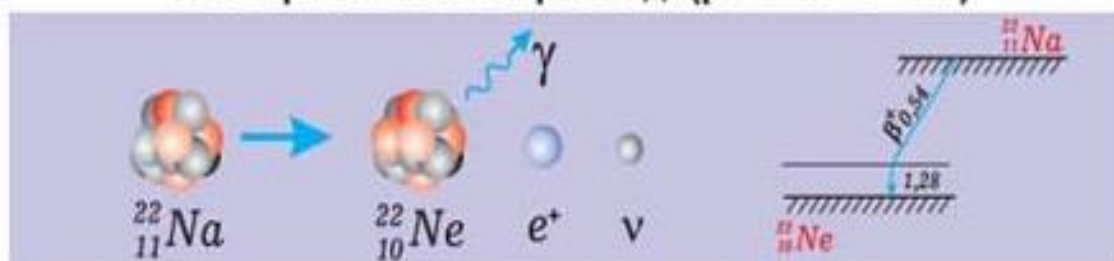
Реакция синтеза ядра гелия из ядер водорода:



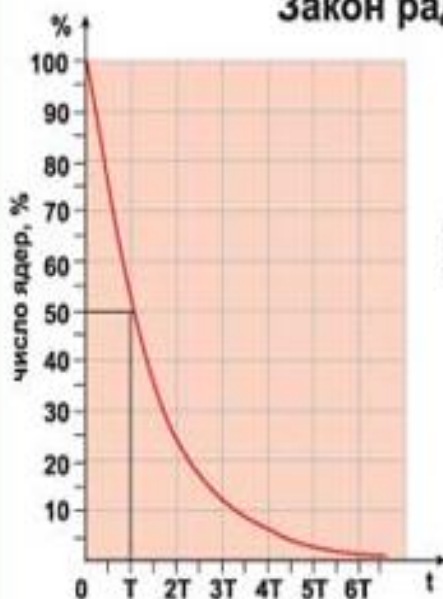
$$\Delta E = 17,6 \text{ МэВ}$$



Альфа-распад

Электронный бета-распад ($n \rightarrow p + e^- + \bar{\nu}$)Позитронный бета-распад ($p \rightarrow n + e^+ + \nu$)

Закон радиоактивного распада



$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

N_0 и N - количества радиоактивных ядер в моменты времени 0 и t , T - период полураспада.

Активность

$$A = \lambda \cdot N, \quad \lambda = \frac{\ln 2}{T}$$

где A - скорость распада, λ - постоянная распада.
Единица активности - 1 беккерель = 1 распад/с

СВОЙСТВА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

Основные процессы, сопровождающие прохождение быстрых заряженных частиц через вещество



Длина пробега альфа-частиц и бета-частиц в воздухе и воде

Энергия частиц	0,5 МэВ	5 МэВ
Воздух	α → 0,3 см β → 2,5 м	α → 3,5 см β → 25 м
Вода	α → 0,004 мм β → 2,6 мм	α → 0,045 мм β → 26 мм

Основные процессы, сопровождающие прохождение рентгеновского и гамма-излучения через вещество

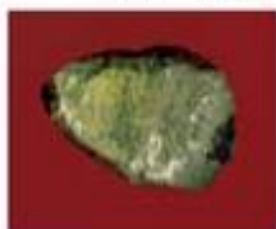


Поглощение гамма-излучения в веществе

Энергия гамма-квантов	Толщина слоя вещества, ослабляющего поток гамма излучения в десять раз		
	Вода	Бетон	Свинец
0,5 МэВ	24 см	12 см	1,3 см
1,0 МэВ	33 см	16 см	2,9 см
5,0 МэВ	76 см	36 см	4,7 см

МЕТОДЫ РЕГИСТРАЦИИ ЧАСТИЦ

Метод фотоэмульсий

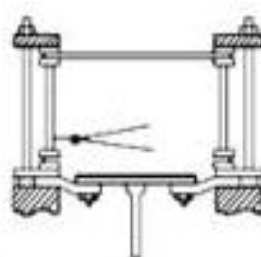


Урановая руда

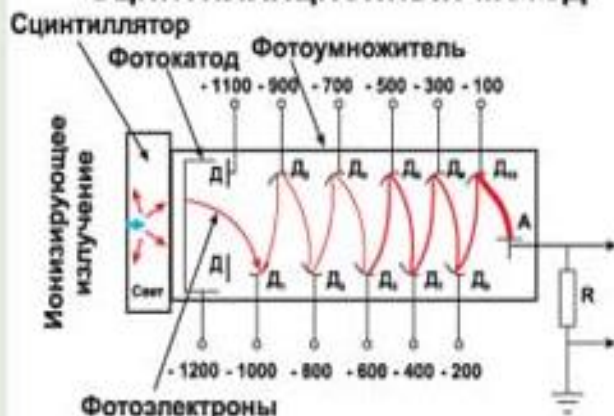


След на фотопленке от излучений урановой руды

Камера Вильсона



Сцинтилляционный метод



Трековая камера



Стереоснимок следов частиц, возникших при столкновении протона с антипротоном в стримерной камере

Ионизационная камера



Карманный дозиметр



Счетчик Гейгера-Мюллера

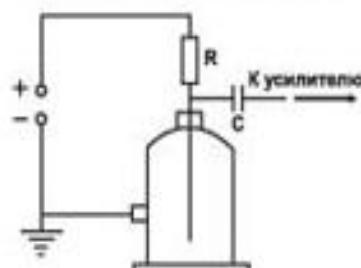


Схема включения счетчика Гейгера-Мюллера



Радиометр

Единицы СИ доз ионизирующего излучения

Наименование величины	Единицы		
	Наименование	Обозначение	Определение
Экспозиционная доза облучения	кулон на килограмм	Кл/кг	Кулон на килограмм равен экспозиционной дозе рентгеновского и гамма-излучений, при которой сопряженная корпускулярная эмиссия в сухом атмосферном воздухе массой 1 кг производит ионы, несущие электрический заряд каждого знака, равный 1 Кл
Мощность экспозиционной дозы	ампер на килограмм	А/кг	Ампер на килограмм равен мощности экспозиционной дозы рентгеновского и гамма-излучений, при котором за время 1 с сухому атмосферному воздуху передается экспозиционная доза излучения 1 Кл/кг
Поглощенная доза излучения	грэй	Гр	Грэй равен поглощенной дозе излучения, при которой облученному веществу массой 1 кг передается энергия ионизирующего излучения 1 Дж
Мощность поглощенной дозы излучения	грэй в секунду	Гр/с	Грэй в секунду равен мощности поглощенной дозы излучения, при которой за время 1 с облученным веществом поглощается доза излучения 1 Гр
Эквивалентная доза излучения	зиверт	Зв	Зиверт равен эквивалентной дозе излучения, при которой поглощенная доза равна 1 Гр и коэффициент К качества излучения равен единице
Мощность эквивалентной дозы излучения	зиверт в секунду	Зв/с	Зиверт в секунду равен мощности эквивалентной дозы излучения, при которой за время 1 с облучаемым веществом поглощается эквивалентная доза излучения 1 Зв

Коэффициент К качества излучения для некоторых видов излучения

Рентгеновское и гамма-излучения	1
Электроны, позитроны, β -излучение	1
Нейтроны с энергией $\leq 0,1-10$ МэВ	10
Протоны с энергией ≤ 10 МэВ	10
α -излучение с энергией 10 МэВ	20

Связь единиц дозы излучения СИ с внесистемными единицами

1 рентген = 1Р = $2,58 \cdot 10^{-4}$ Кл/кг
 Биологический эквивалент рентгена (бэр)
 1 бэр = 0,01 Зв
 Экспозиционной дозе 1 Р рентгеновского и гамма-излучения соответствует эквивалентная доза $\approx 0,01$ Зв (1 Зв ≈ 100 Р)

ДОПУСТИМЫЕ И ОПАСНЫЕ ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ

Естественные источники радиации



Предельно допустимые эквивалентные дозы облучения

Для профессионалов	за год	→ 50 мЗв (5 бэр)
Для ограниченной части населения	за год	→ 5 мЗв (0,5 бэр)
	за 70 лет	→ 350 мЗв (35 бэр)

Предельно допустимая мощность экспозиционной дозы

Для профессионалов (1700 рабочих часов в год): 30 мкЗв/час (3 мбэр/час)*

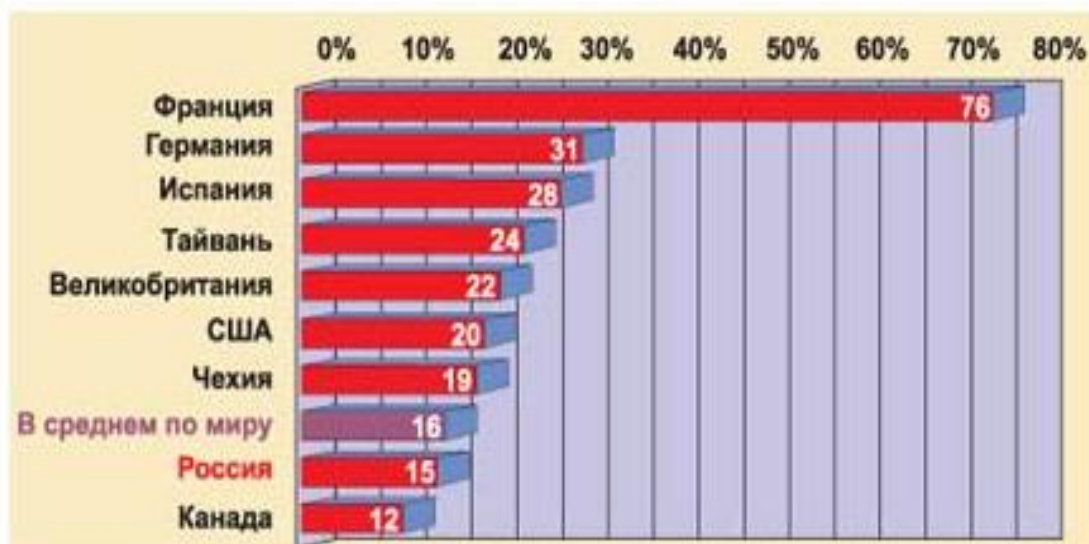
* Мощности экспозиционной дозы 3 мбэр/час для рентгеновского и гамма-излучения соответствует экспозиционная доза 3 мР/час

Опасные дозы однократного общего облучения

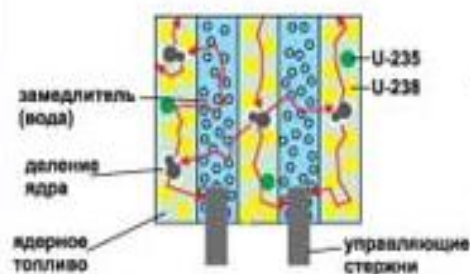
Гибель отдельных клеток крови и половых клеток:	0,1-0,5 Зв (10-50 бэр)
Нарушения в работе кроветворной системы:	0,5-1,0 Зв (50-100 бэр)
Острая лучевая болезнь (≈50% смертельных исходов):	3-5 Зв (300-500 бэр)

ЯДЕРНАЯ ЭНЕРГЕТИКА

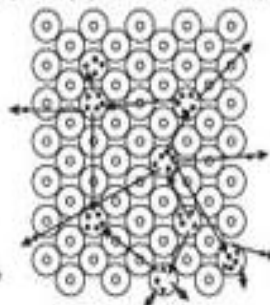
Доля ядерной энергетики в общей выработке электроэнергии в 2000 году



Цепная реакция деления ядер урана

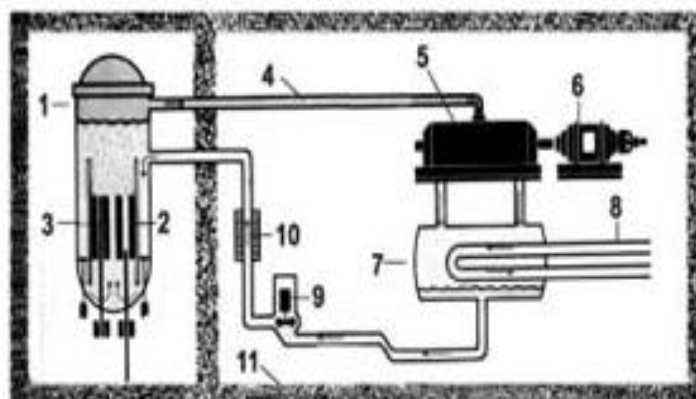


Действие замедлителя

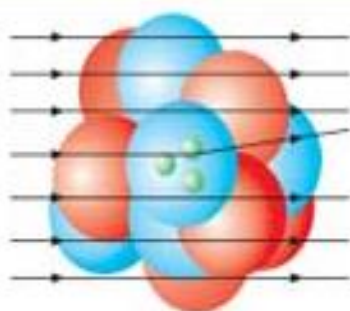


Тепловыделяющие элементы

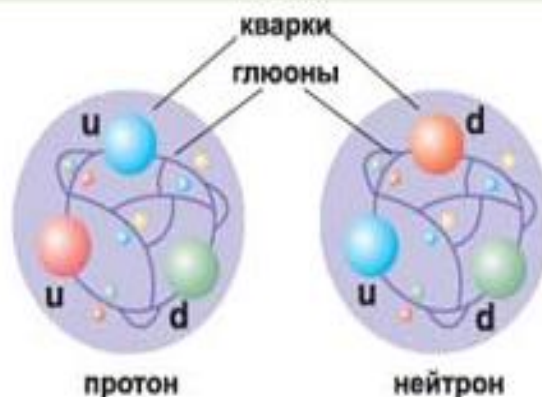
Схема атомной электростанции



ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ



Рассеяние электронов
внутри ядра



протон

нейтрон

Фундаментальные элементарные частицы

Кварки		Лептоны		
Обозначение	Электрический заряд	Название	Обозначение	Электрический заряд
u	$+\frac{2}{3}e$	Электрон	e	-e
c	$+\frac{2}{3}e$	Мюон	μ	-e
t	$+\frac{2}{3}e$	Таон	τ	-e
d	$-\frac{1}{3}e$	Электронное нейтрино	ν_e	0
s	$-\frac{1}{3}e$	Мюонное нейтрино	ν_μ	0
b	$-\frac{1}{3}e$	Таонное нейтрино	ν_τ	0

Фундаментальные взаимодействия

	Сильное	Электромагнитное	Слабое	Гравитационное
Взаимодействующие частицы	кварки, нуклоны	частицы с электрическими зарядами	кварки, лептоны	все частицы
Радиус действия сил	10^{-15} м	∞	10^{-17} м	∞
Относительная сила взаимодействия	1	10^2	10^2	10^{-38}
Частицы - носители взаимодействия	глюоны, мезоны	фотоны	промежуточные бозоны	гравитоны (?)

ЭВОЛЮЦИЯ ВСЕЛЕННОЙ

