



Кафедра БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Киселев Сергей Владимирович
(ст. преподаватель, каб. 146а - к.4)

Дисциплина:

**«ЗАЩИТА НАСЕЛЕНИЯ И ОБЪЕКТОВ
ОТ ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЙ.
РАДИАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ»**

• Форма аттестации – **ЗАЧЁТ**

Учебная

литература:

1. Г.А. Чернушевич, В.В. Перетрухин

Защита населения в чрезвычайных ситуациях:

тексты лекций для студентов всех специальностей. – Минск: БГТУ, 2005.

2. Р.А. Чарнушэвіч **Радыяцыйная бяспека:** вучэбны дапаможнік для студэнтаў тэхн. і тэхнал. спецыяльнасцей. Мінск: БДТУ, 2002.

3. Г.А. Чернушевич, В.В. Перетрухин

Радиационная безопасность: лаб. практикум по одноименному курсу для студентов всех специальностей. – Минск: БГТУ, 2018.

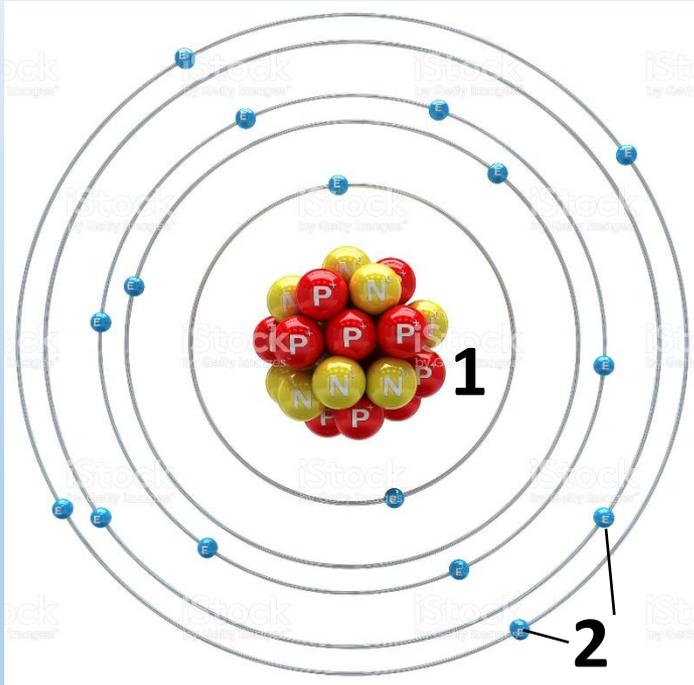
4. Г.А. Чернушевич, В.В. Перетрухин, В.В. Терешко

Оценка обстановки в чрезвычайных ситуациях. – уч.-метод. пособие. Минск: БГТУ, 2013 .

ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

- 1. Строение атома и его ядра. Изотопы и радионуклиды.**
- 2. Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Активность и единицы измерения. Основные виды радиоактивных превращений.**
- 3. Виды и характеристики ионизирующих излучений. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом.**

Вопрос 1: Строение атома и его ядра. Энергия связи. Изотопы и радионуклиды.



Атом – это наименьшая частица химического элемента.

Состоит из положительно заряженного ядра (1), вокруг которого двигаются отрицательно заряженные электроны (2), образующие электронную оболочку атома.

Атом - электрически нейтрален.

Электрон – это отрицательно заряженная элементарная частица с зарядом $e^- = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Размеры ядер атомов $10^{-14} - 10^{-15}$ м, а атома – 10^{-10} м.

ЯДРО АТОМА

Ядро – центральная часть атома, в нем сосредоточена почти вся масса атома (более 99,95%).

Ядро состоит из:

протонов (p) - положительно заряженных частиц

нейтронов (n) - частиц не имеющих заряда

Нейтроны и протоны имеют общее название – **нуклоны**.

Ядра с данным числом протонов и нейтронов называют **нуклидами**.



Заряд протона $q = 1,602 \cdot 10^{-19}$ Кл, масса покоя $m_p = 1,007$ а.е.м. = $1,6726 \cdot 10^{-27}$ кг = $1836 m_e$.

Нейтрон не имеет заряда, масса покоя $m_n = 1,6748 \cdot 10^{-27}$ кг = $1839 m_e$

Ядро атома характеризуется двумя основными параметрами:

Массовое число (A) - число равняется общему количеству нуклонов и характеризует массу ядра
 $A = (p + n) = Z + N.$

Зарядовое число ядра (Z) - численно равно общему числу протонов в ядре.

Заряд ядра, выраженный в элементарных единицах численно равен порядковому номеру элемента в периодической таблице Д.И. Менделеева.

Поскольку **Z** выражает число протонов, а **A** общее число нуклонов в ядре, то число нейтронов в атомном ядре
 $N = A - Z.$

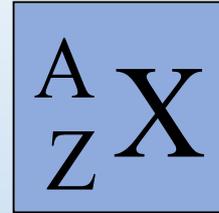
Для химических элементов принято следующее обозначение:

слева вверху массовое

число **A** –

слева внизу зарядовое

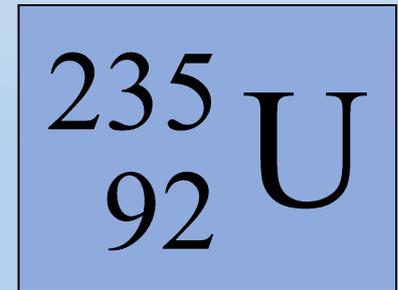
число **Z** –



Например, изотоп урана-235 означает, что:

массовое число **A = 235**

зарядовое число **Z = 92**



Число нейтронов

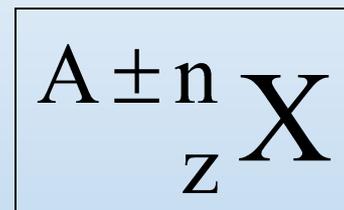
$$N = A - Z = 235 - 92 = 143$$

Так как атом является электрически нейтральной частицей, то число протонов в ядре и число электронов в атоме одинаково.

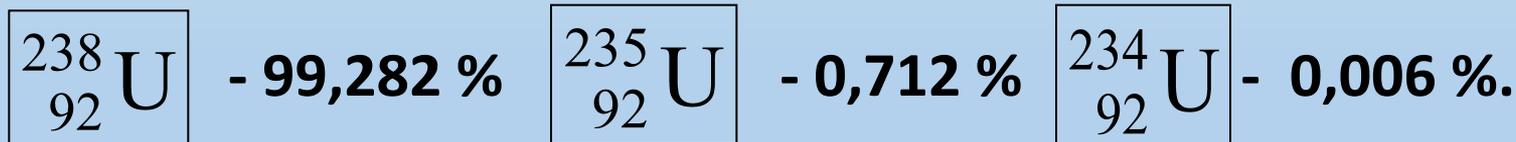
$$Z = p = e^-$$

Атомы одного и того же элемента с одинаковым числом протонов, но с различным числом нейтронов в ядре называются **ИЗОТОПАМИ**.

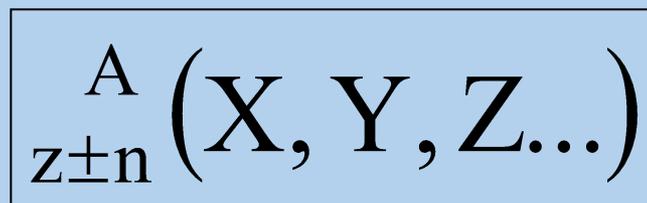
Изотопы имеют одинаковые химические свойства и располагаются в одной клетке



периодической таблицы Менделеева.
Например: природный уран – это смесь трех изотопов:



Атомные ядра с одинаковым массовым числом A и разным Z называются **ИЗОБАРАМИ**



Например: ядра $\begin{matrix} 40 \\ 18 \end{matrix} Ar$ $\begin{matrix} 40 \\ 19 \end{matrix} K$ $\begin{matrix} 40 \\ 20 \end{matrix} Ca$ – **изобары** (для них $A = 40$)

Вопрос 2: Радиоактивность. Закон радиоактивного распада. Активность и единицы измерения. Основные виды радиоактивных превращений.



**Антуан
Анри
Беккерель
(1852 -1908)**



**Пьер
Кюри
(1859-1906)**

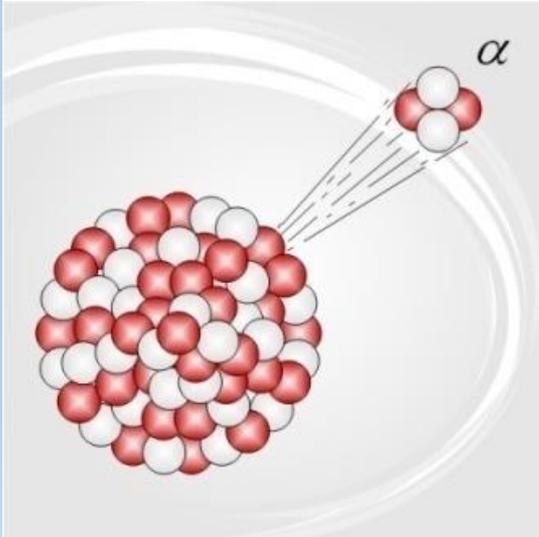


**Мария
Склодовская-
Кюри
(1867-1934)**

Радиоактивность - явление самопроизвольного (спонтанного) изменения структуры ядра атома одного элемента и превращение его в более устойчивое ядро атома другого элемента, сопровождающееся испусканием элементарных частиц или их групп.

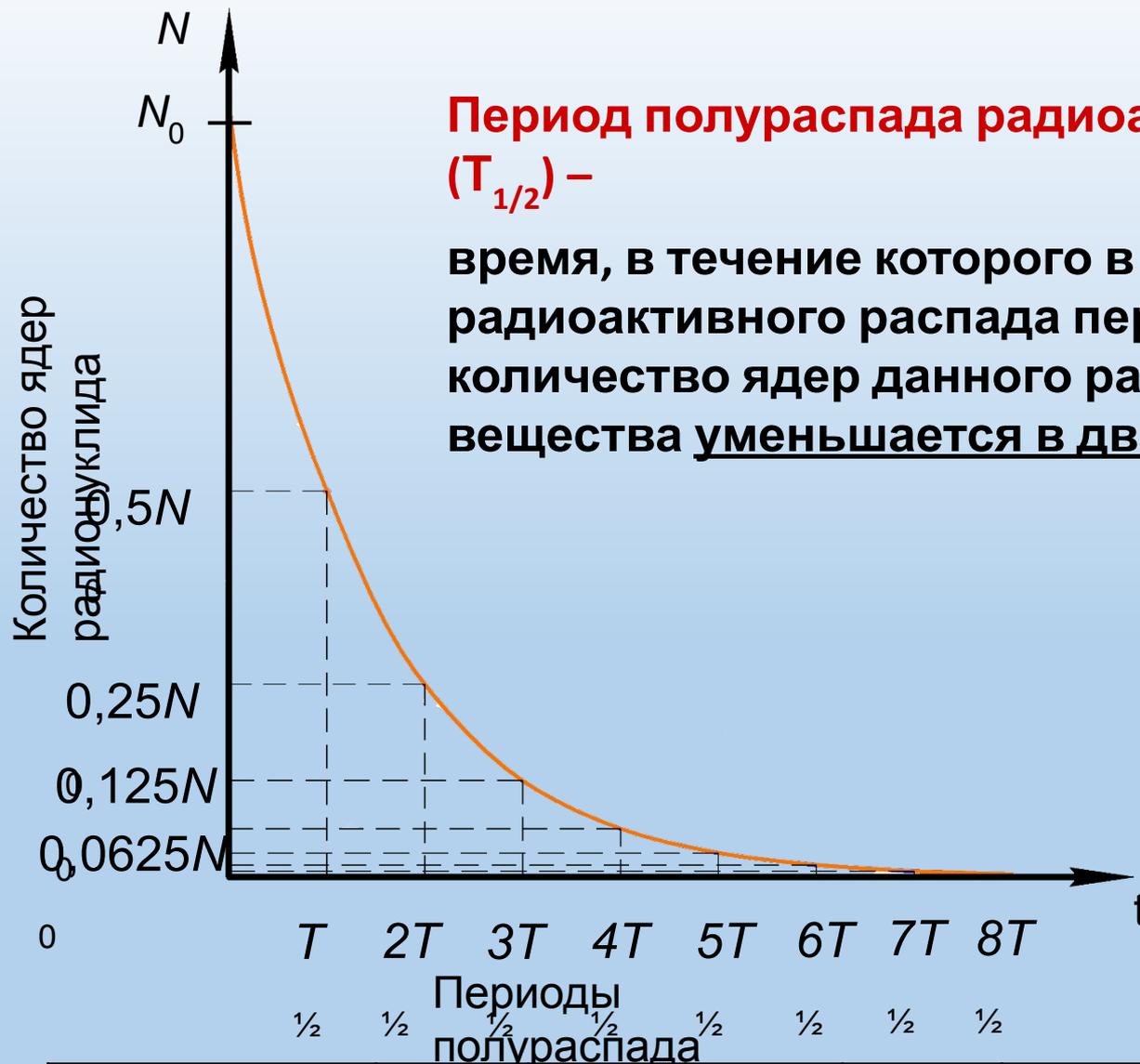
Неустойчивое ядро называется **радиоактивным**.

Каждый такой отдельный акт самопроизвольного превращения ядер с испусканием элементарных частиц или их групп называется **радиоактивным распадом**.



1. Радиоактивный распад с испусканием альфа-частиц (ядер атома гелия) - это **альфа-распад**;
2. бета-частиц (электроны, позитроны) – это **бета-распад**.

Альфа- и бета-распад обычно сопровождаются **гамма-излучением**.



Период полураспада радиоактивных веществ ($T_{1/2}$) –

время, в течение которого в результате радиоактивного распада первоначальное количество ядер данного радиоактивного вещества уменьшается в два раза.

Радионуклид	$^{137}_{55}\text{Cs}$	$^{40}_{19}\text{K}$	$^{90}_{38}\text{Sr}$	$^{131}_{53}\text{I}$	$^{235}_{92}\text{U}$	$^{238}_{92}\text{U}$	$^{232}_{90}\text{Th}$
$T_{1/2}$	30,17 лет	$1,24 \cdot 10^9$ лет	28,4 лет	8,04 суток	$4,47 \cdot 10^9$ лет	$7,038 \cdot 10^8$ лет	$1,405 \cdot 10^{10}$ лет

ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

Закон радиоактивного распада выражает уменьшение количества ядер атомов радиоактивного вещества во времени.

За единицу времени распадается всегда одна и та же доля нераспавшихся ядер данного радионуклида.

Эту долю называют **постоянной распада** и обозначают λ . В общем виде этот закон выражается зависимостью:

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

где $N(t)$ – число ядер, нераспавшихся за время t ;

N_0 – первоначальное число ядер радионуклида;

$e = 2,718$, основание натурального логарифма;

λ – **постоянная распада**, показывает вероятность распада ядра за единицу времени. Зависит только от устойчивости ядер.

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}$$

$$\tau = \frac{1}{\lambda} = \frac{T_{1/2}}{0,693} = 1,443 \cdot T_{1/2}$$

τ – среднее время жизни радиоактивного ядра.

Активность (A) - мера интенсивности распада радионуклида (скорость распада ядер) и определяется **как количество распадов ядер атомов радиоактивного вещества в единицу времени.**

Единица измерения активности в Международной системе единиц (СИ)- **Беккерель (Бк, Вq)** - равен активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за время 1 с происходит 1 радиоак. распад

$$1 \text{ Бк} = 1 \text{ расп/сек.}$$

Внесистемная единица измерения активности – **Кюри (Ки)** - равен активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за время 1 секунду происходит $3,7 \cdot 10^{10}$ распадов,

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк.}$$

$$1 \text{ мКи} = 3,7 \cdot 10^7 \text{ Бк} = 37 \text{ МБк};$$

$$1 \text{ мкКи} = 3,7 \cdot 10^4 \text{ Бк} = 37 \text{ кБк.}$$

Активностью в **1 Ки** обладает **1 г радия** и активность 1 грамма Ra была принята за единицу измерения **Кюри.**

Если радиоактивное вещество содержит **N** атомов и его постоянная распада, выражающая долю распадающихся атомов в единицу времени, **λ** , то активность будет равна:

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

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

$$N = \frac{6,02 \cdot 10^{23} \cdot m}{A}$$

Моль вещества содержит **$6,02 \times 10^{23}$** атомов.

Активность источника
выражается формулой:

$$A_n = \frac{\ln 2 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot m}{A \cdot T_{1/2}}$$

где A_n – активность радионуклида, Бк;
 m – масса радионуклида, г;
 A – массовое число радионуклида;
 $T_{1/2}$ – период полураспада
радионуклида, с.

Масса источника активностью 1 Кюри:

3 т ^{238}U ($T_{1/2} = 4,5$ млрд. лет),
16 г ^{239}Pu ($T_{1/2} = 24,4$ тыс. лет),
0,1 г ^{24}Na ($T_{1/2} = 15$ час) и т.д.

Активность источника, в котором содержатся радиоактивные ядра одного вида, уменьшается во времени по экспоненциальному закону:

$$A_n = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = A_0 \cdot e^{-\frac{0,693 \cdot t}{T_{1/2}}}$$

где A_0 – активность источника в начальный момент времени ($t = 0$);
 t – текущее время, которому соответствует активность
вещества A

Для характеристики загрязненности продуктов питания, воды, строительных материалов, почвы используется:

удельная активность

$$A_m = A_{уд} = \frac{A_n}{m}$$

$$\frac{\text{Бк}}{\text{кг}}$$

$$\frac{\text{Ки}}{\text{кг}}$$

объемная активность

$$A_v = A_{об} = \frac{A_n}{V}$$

$$\frac{\text{Бк}}{\text{м}^3}$$

$$\frac{\text{Бк}}{\text{л}}$$

$$\frac{\text{Ки}}{\text{м}^3}$$

$$\frac{\text{Ки}}{\text{л}}$$

поверхностная
активность

$$A_s = A_{пов} = \frac{A_n}{S}$$

$$\frac{\text{Бк}}{\text{м}^2}$$

$$\frac{\text{Ки}}{\text{м}^2}$$

$$\frac{\text{Ки}}{\text{км}^2}$$

где m и V соответственно масса и объем пробы с активностью A_n
 S – площадь загрязненной поверхности.

Величины удельной активности и объемной активности зависят от плотности вещества

$$A_m = \frac{A_v}{\rho}$$

Если плотность пробы $\rho = 1 \text{ кг/л}$ например воды, то значения объемной активности A_v , Бк/л численно совпадают с удельной активностью A_m , Бк/кг .

Вопрос 3: Виды и характеристики ионизирующих излучений. Взаимодействие ионизирующих излучений с веществом.

Радиация = Ионизирующее излучение

Ионизирующее излучение (ИИ) – поток частиц и электромагнитных квантов, взаимодействие которых со средой приводит к **ионизации** ее атомов и молекул.

Ионизация – процесс образования положительных и отрицательных ионов и свободных электронов из электрически нейтральных атомов и молекул.

Ионизирующие излучения делятся на:

электромагнитные (фотонные) излучения -

представляющие собой поток электромагнитной энергии с разной (преимущественно короткой) длиной волны.

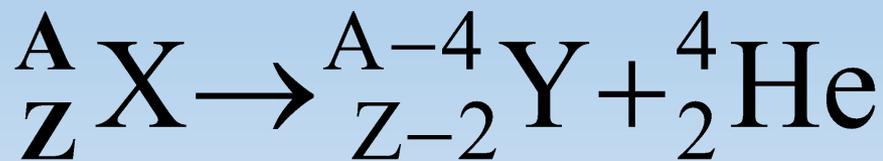
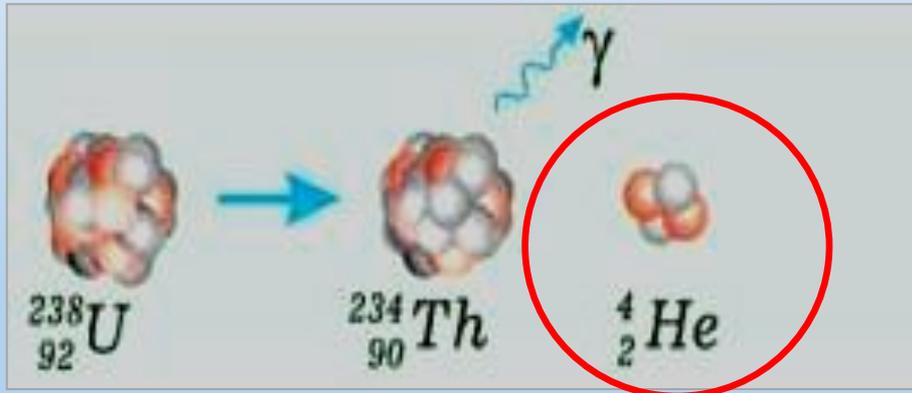
- рентгеновское излучение
- гамма-излучение (γ - излучение)
- тормозное излучение

Корпускулярные излучения – элементарные ядерные частицы с массой отличной от нуля. Большинство из них – заряженные корпускулы (частицы):

- **альфа-частицы** (ядра атома гелия);
- **бета-частицы** (электроны и позитроны);
- **протоны** (ядра водорода - протия);
- **дейтроны** (ядра тяжелого водорода – дейтерия);
- **тяжелые ионы** (ядра, получившие высокую энергию в спец. ускорителях;
- **нейтроны**, частицы не имеющие заряда.

АЛЬФА - ИЗЛУЧЕНИЕ

Альфа-распад – представляет собой процесс испускания ядром частицы, состоящей из двух протонов и двух нейтронов - ядро атома гелия ${}^4_2\text{He}$



При α -распаде заряд Z распадающегося ядра уменьшается на 2 а, массовое число A – на 4 единицы.

Альфа-распад наблюдается только у тяжелых ядер ($A > 200$, $Z > 82$). Известно более 200 α -активных ядер.

Переход образованных в результате α -распада возбужденных ядер в **основное состояние** сопровождается гамма-излучением.

БЕТА - ИЗЛУЧЕНИЕ

Бета-излучение - поток β -частиц (электронов β^- или позитронов β^+), испускаемых ядрами радиоактивных элементов при **бета-распаде**.

β -распад – самопроизвольное преобразование ядер, сопровождающееся излучением (поглощением) электрона и антинейтрино или позитрона и нейтрино.

Электрон (β^- -част.) - масса $m_e = 9,109 \times 10^{-31}$ кг и заряд $e^- = 1,6 \times 10^{-19}$ Кл.

Позитрон (β^+ -част.) – элемент. частица с положительным электрическим зарядом, античастица по отношению к электрону.

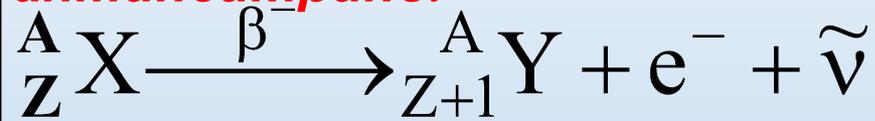
Различают три вида бета-распада:

- 1) *электронный (β^-) распад,*
- 2) *позитронный (β^+) распад,*
- 3) *электронный захват или K-захват.*

При β -распаде массовое число A не изменяется, а зарядовое число Z отличается от исходного на $\Delta Z = \pm 1$.

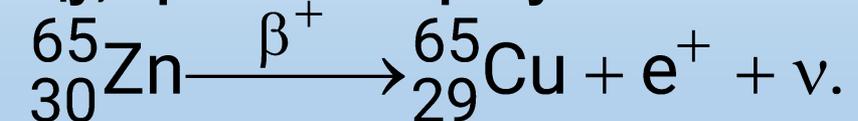
В результате **электронного бета-распада** исходное ядро превращается в новое ядро с прежней массой, а заряд увеличивается на единицу, при этом появляется частица –

антинейтрино:

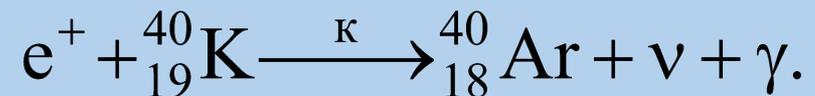
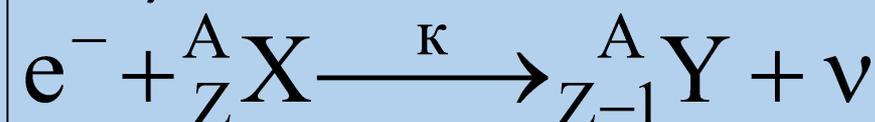


Позитронный бета-распад приводит к образованию ядра с прежней массой

и зарядом, уменьшенным на единицу, при этом образуется



При **электронном захвате** ядро притягивает к себе один из электронов, расположенных на внутренних орбитах атома (**чаще К-слоя**):



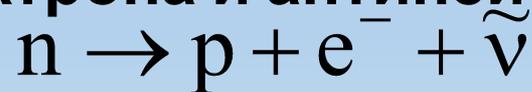
Таким образом, при всех видах β -распада массовое число A не изменяется, а зарядовое число Z отличается на $\Delta Z = \pm 1$.

Нейтронное излучение – излучение, состоит из нейтронов, возникающих при ядерных реакциях (при взрыве ядерного боеприпаса или в ядерном реакторе).

Нейтронное излучение (свободные нейтроны) образуются в процессе деления ядра (расщепления) - распад на два осколка, сумма масс которых примерно равна массе исходного ядра.



Нейтрон в свободном состоянии нестабилен (время жизни нейтронов составляет около 15 мин), он самопроизвольно превращается в протон с испусканием электрона и антинейтрино:



Фотонное излучение включает с себя:

- рентгеновское излучение
- гамма γ - излучение.

Гамма-излучение – коротковолновое электромагнитное излучение с длиной волны $\lambda < 0,1$ нм, испускаемое возбужденными атомными ядрами, при альфа-, бета-распадах или других ядерных преобразованиях.

Возбужденные ядра в течение 10^{-12} с переходят в основное состояние, испуская избыток энергии ΔE в виде γ -кванта.

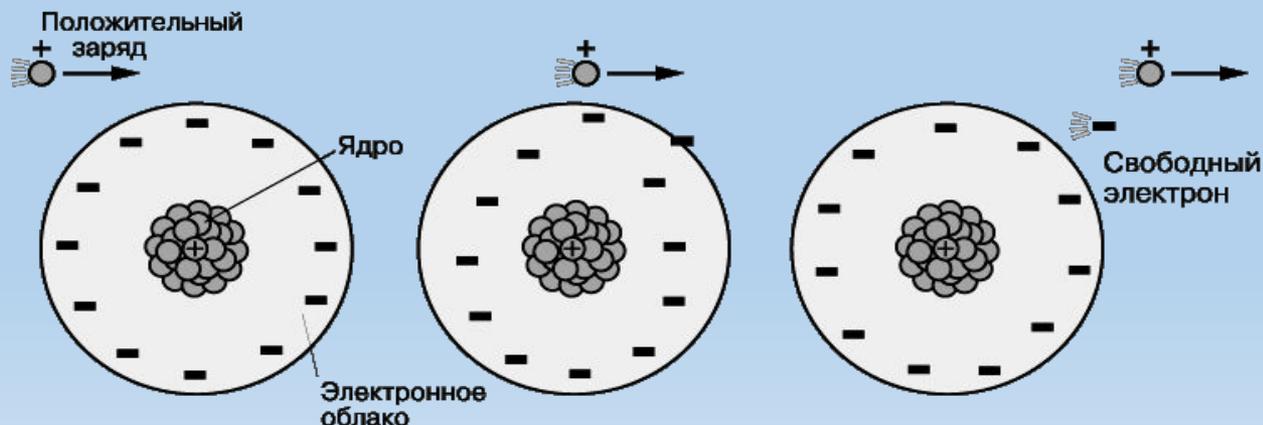
$${}_Z X^* \rightarrow {}_Z X + h \cdot \nu$$

где h - постоянная планка ($h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ Дж · с);
 ν - частота электромагнитных излучений.

ПРОЦЕСС ИОНИЗАЦИИ ВЕЩЕСТВА И ПРОНИКАЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ИЗЛУЧЕНИЙ

Гамма-кванты, альфа- и бета-частицы при распространении в разных средах взаимодействуют с атомами и молекулами вещества, при этом:

- гамма-кванты, альфа- и бета-частицы **передают** атомам и молекулам часть своей энергии и меняют направление движения;
- атомы и молекулы, получившие избыток энергии, в процессе столкновения **переходят** в возбужденное состояние.
- происходит **ионизация** атомов или молекул (отрыв электронов), а также молекулы могут и диссоциировать на ионы.



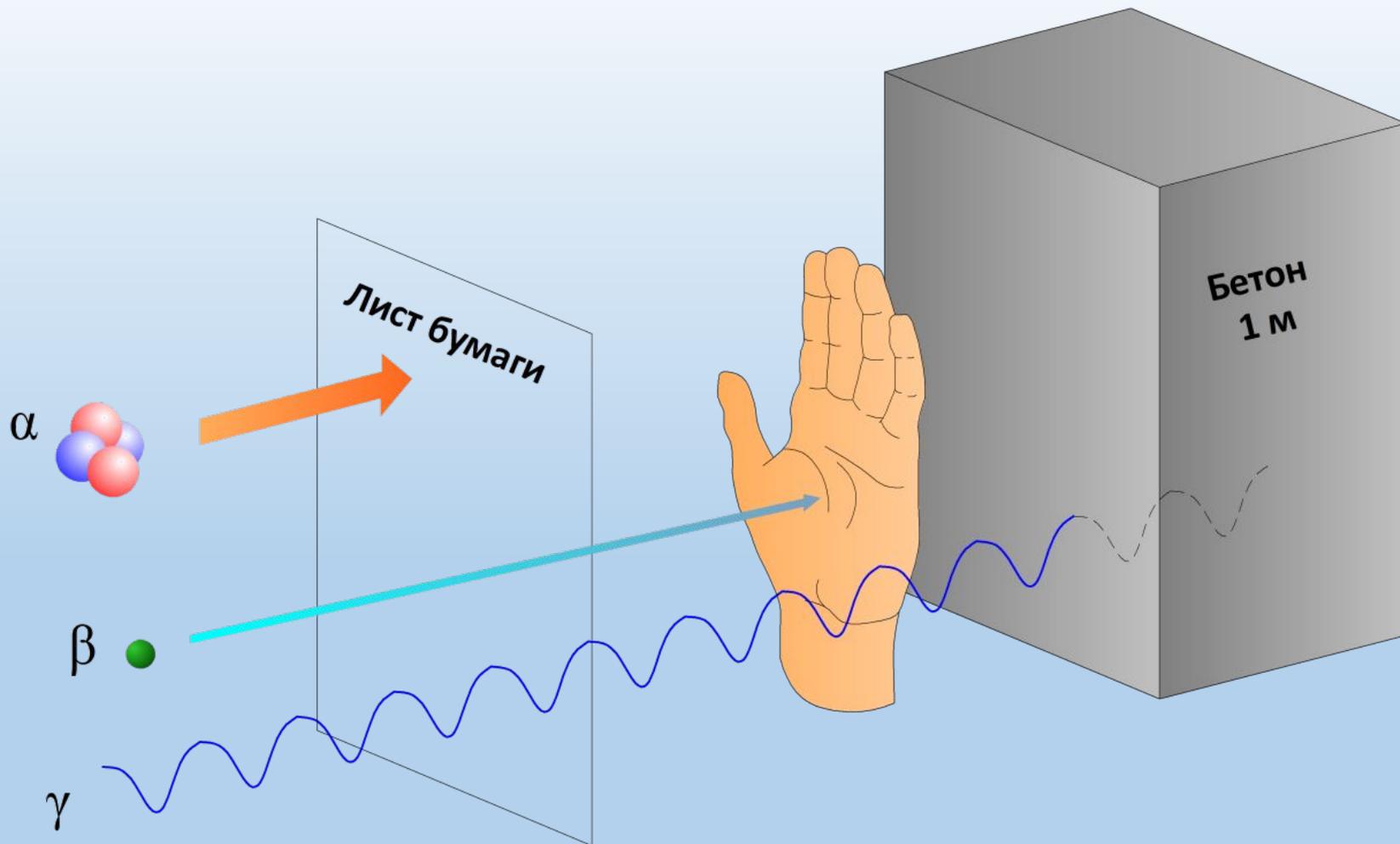
Проникающая и ионизирующая способность излучения

Число пар ионов, которые образованы в среде гамма-квантом или частицей на единице длины своего пути, называется **линейной плотностью ионизации (ЛПИ)**.

Проникающая способность излучений определяется величиной **пробега**.

Пробегом называется путь, пройденный частицей в веществе до ее полной остановки, обусловленной тем или иным видом взаимодействия.

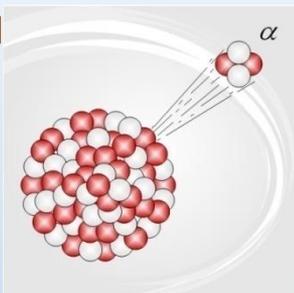
При каждом акте взаимодействия частица теряет часть своей энергии и затормаживается, ее скорость уменьшается до того момента, пока не станет равной скорости теплового движения.



Проникающая способность различных видов излучений

Альфа

и



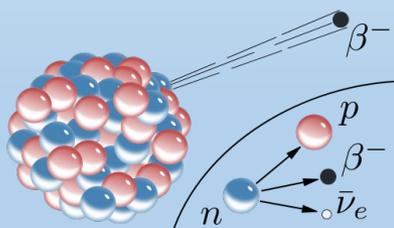
Средняя скорость $V = 17000 - 25000$ км/с

Пробег: в воздухе – до 11 см

в биологической ткани – от 10 до 100 мкм

ЛПИ – 25000-30 000 пар ионов/см, макс 65000 (пик Брэгга)

Бета излучение



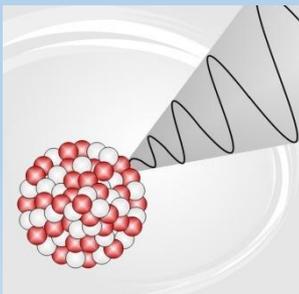
Средняя скорость $V = 250\,000 - 270\,000$ км/с

Пробег: в воздухе – от нескольких сантиметров до 44 м

в биологической ткани – 52,4 мм

ЛПИ – 200-300 пар ионов/см

Гамма излучение



Скорость $V = 300\,000$ км/с (скорость света)

Пробег: в воздухе – 100-150 м

в биологической ткани – 20-30 см

ЛПИ – 2-3 пары ионов/см

Сравнительная характеристика ионизирующих излучений

Вид излучения		Ионизирующая способность (ЛПИ)	Характер ионизации	Проникающая способность		Скорость
				воздух	биологическая ткань	
Корпускулярное излучение	α (${}^4_2\text{He}$)	25 – 60 тыс. пар ионов/см	непосредственно	2,5-8,6 см, макс. 11,5см	70 -110 мкм	14 000 – 22 500 км/с
	β (e^- , e^+)	100 – 300 пар ионов/см	непосредственно	2 – 5 м, макс. - 44 м	максим. 55,4 мм	250 000 – 270 000 км/с
	n (нейтрон)	—	косвенно	до 300 м до столкновения	до 1 см	Тепловая скорость
фотоны	γ (квант)	2 – 3 пары ионов/см	косвенно	сотни м	десятки см	скорость света