

Раздел:

**ИОНИЗИРУЮЩИЕ
ИЗЛУЧЕНИЯ**

Лекция №1

ПОНЯТИЕ, ВИДЫ И ПРИРОДА ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

ИХ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВЕЩЕСТВОМ

1. ПОНЯТИЕ И ВИДЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ.
2. ЗАКОН ОСЛАБЛЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ.
3. ПЕРВИЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ С ВЕЩЕСТВОМ.
4. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.

1. ПОНЯТИЕ И ВИДЫ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ

**ИОНИЗИРУЮЩИМ
И**

**НАЗЫВАЮТСЯ ВСЕ
ИЗЛУЧЕНИЯ,**

**КОТОРЫЕ
ПРИ ДЕЙСТВИИ
НА ВЕЩЕСТВО
НЕПОСРЕДСТВЕНН
О ВЫЗЫВАЮТ
ЕГО ИОНИЗАЦИЮ.**

**К ИОНИЗИРУЮЩИМ
ИЗЛУЧЕНИЯМ
ОТНОСЯТСЯ:**

- **КОРОТКОВОЛНОВОЙ
УФ (10-200 нм)**
- **РЕНТГЕНОВСКОЕ
ИЗЛУЧЕНИЕ**
- **ВСЕ ВИДЫ РАДИО-
АКТИВНЫХ
(ЯДЕРНЫХ)
ИЗЛУЧЕНИЙ -
АЛЬФА-, БЕТА-, ГАММА-,
НЕЙТРОННОЕ.**

1.1. ПРИРОДА И ВИДЫ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

**РЕНТГЕНОВСКОЕ
ИЗЛУЧЕНИЕ –
ВОЛНОВОЙ
(ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ)
ПРИРОДЫ,**

**НА ШКАЛЕ - МЕЖДУ УФ И
ГАММА-излучением,
ДИАПАЗОН $80 - 10^{-5}$ нм
(коротковолновое).**

**Вильгельм Конрад
Рентген
1845 – 1923**



КЛАССИФИКАЦИЯ

1) ПО ДЛИНЕ ВОЛНЫ И ПРОНИКАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ:

- **МЯГКОЕ** – длина волны больше, проникающая способность меньше,
- и
- **ЖЕСТКОЕ** – длина волны меньше, проникающая

2) ПО МЕХАНИЗМУ ИЗЛУЧЕНИЯ

И СПЕКТРАМ –

- **ТОРМОЗНОЕ**
- и
- **ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЕ.**

1. 2. ПРИРОДА И ВИДЫ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

**РАДИОАКТИВНЫМИ
(ЯДЕРНЫМИ)**

**НАЗЫВАЮТСЯ
ИЗЛУЧЕНИЯ,**

**КОТОРЫЕ
ОБРАЗУЮТСЯ ПРИ
РАДИОАКТИВНОМ
РАСПАДЕ ЯДЕР.**

**РАДИОАКТИВНЫЙ
РАСПАД –**

**ЭТО
САМОПРОИЗВОЛЬНЫЙ
РАСПАД
НЕУСТОЙЧИВЫХ
ЯДЕР
С ОБРАЗОВАНИЕМ
НОВЫХ ЯДЕР И
ИСПУСКанием РЯДА
ИЗЛУЧЕНИЙ**

ВИДЫ РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА

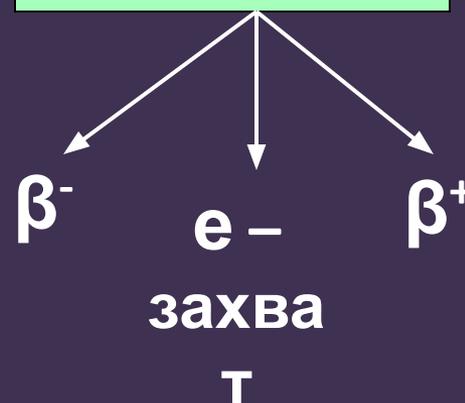
ДВА ОСНОВНЫХ ТИПА РАСПАДА:

АЛЬФА (α)

БЕТА-РАСПАД – 3-Х ВИДОВ:

- ЭЛЕКТРОННЫЙ (β^-)
- ПОЗИТРОННЫЙ (β^+) И
- ЭЛЕКТРОННЫЙ ЗАХВАТ
- (e^- - захват)

БЕТА (β)



ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МИКРОЧАСТИЦ

ЭЛЕМЕНТАРНЫЕ
ЧАСТИЦЫ
И АТОМНЫЕ ЯДРА

ХАРАКТЕРИЗУЮТ
ЗАРЯДОМ И МАССОЙ,

ВЫРАЖЕННЫМИ В
ЭЛЕМЕНТАРНЫХ
ЕДИНИЦАХ.

- ЗАРЯД ЯДРА РАВЕН ЧИСЛУ ПРОТОНОВ В ЯДРЕ.

ОПРЕДЕЛЯЕТ
ПОРЯДКОВЫЙ НОМЕР
ЭЛЕМЕНТА В ТАБЛИЦЕ
МЕНДЕЛЕЕВА:

$$q_{\text{я}} = N_{\text{p}} = Z.$$

- МАССА ЯДРА РАВНА СУММЕ ЧИСЛА ПРОТОНОВ И ЧИСЛА НЕЙТРОНОВ В ЯДРЕ (Т.Е. ОБЩЕМУ ЧИСЛУ НУКЛОНОВ):

$$m_{\text{я}} = N_{\text{p}} + N_{\text{n}} = A.$$

ЭТА СУММА

В СОСТАВ АТОМА ВХОДЯТ:

ПРОТОНЫ, НЕЙТРОНЫ и ЭЛЕКТРОНЫ:

p

n

e

Т.к. ПРОТОНЫ И НЕЙТРОНЫ ОБРАЗУЮТ ЯДРО ("НУКЛЕУС" – NUCLEUS),
ИХ ОБЩЕЕ НАЗВАНИЕ – НУКЛОНЫ.

$$q_p = 1$$

(э.е.з.)

$$q_n = 0$$

$$q_e = e = -1$$

$$m_p = 1$$

(э.е.м.)

$$m_n = 1$$

$$m_e = 0$$

**ПОЗИТРОН (АНТИЭЛЕКТРОН) НЕ ВХОДИТ В СОСТАВ ЯДРА,
НО ОБРАЗУЕТСЯ ПРИ ОДНОМ ИЗ ВИДОВ РАСПАДА (β^+).**

ХАРАКТЕРИСТИКИ:

$$q = +1,$$

$$m = 0.$$

ИЗЛУЧЕНИЯ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ ПРИ РАДИОАКТИВНОМ РАСПАДЕ

АЛЬФА-ИЗЛУЧЕНИЕ –

- КОРПУСКУЛЯРНОЙ ПРИРОДЫ.
- СОСТОИТ ИЗ БЫСТРО ДВИЖУЩИХСЯ АЛЬФА-ЧАСТИЦ, ИЛИ ЯДЕР АТОМОВ ГЕЛИЯ.
- ХАРАКТЕРИСТИКИ АЛЬФА-ЧАСТИЦЫ:
 $Z = 2, A = 4.$
- ОБРАЗУЕТСЯ ПРИ АЛЬФА-РАСПАДЕ.

БЕТА-МИНУС-ИЗЛУЧЕНИЕ –

- КОРПУСКУЛЯРНОЙ ПРИРОДЫ.
- СОСТОИТ ИЗ БЫСТРО ДВИЖУЩИХСЯ БЕТА-МИНУС ЧАСТИЦ, ИЛИ ЭЛЕКТРОНОВ.
- ОБРАЗУЕТСЯ ПРИ БЕТА-МИНУС РАСПАДЕ.

БЕТА-ПЛЮС-ИЗЛУЧЕНИЕ –

- КОРПУСКУЛЯРНОЙ ПРИРОДЫ.
- СОСТОИТ ИЗ БЫСТРО ДВИЖУЩИХСЯ БЕТА-ПЛЮС ЧАСТИЦ, ИЛИ ПОЗИТРОНОВ.
- ОБРАЗУЕТСЯ ПРИ БЕТА-ПЛЮС РАСПАДЕ.

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

СОПРОВОЖДАЕТ ЭЛЕКТРОННЫЙ ЗАХВАТ.

ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЕ –

- ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ (ВОЛНОВОЙ) ПРИРОДЫ.
- МОЖЕТ СОПРОВОЖДАТЬ

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ
ЧАСТИЦА
НЕЙТРИНО

- ХАРАКТЕРИСТИКИ:
 $q = 0, \quad m = 0.$
- ОБРАЗУЕТСЯ ПРИ ПОЗИТРОННОМ БЕТА-РАСПАДЕ.

ЭЛЕМЕНТАРНАЯ
ЧАСТИЦА
АНТИНЕЙТРИНО

- ХАРАКТЕРИСТИКИ:
ОТ НЕЙТРИНО
ОТЛИЧАЕТСЯ ТОЛЬКО
НАПРАВЛЕНИЕМ
СПИНА.
- ОБРАЗУЕТСЯ ПРИ ЭЛЕКТРОННОМ БЕТА-РАСПАДЕ.

2. ЗАКОН ОСЛАБЛЕНИЯ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ при взаимодействии с веществом

$$\Phi = \Phi_0 e^{-\mu x}$$

ПОТОК
ИОНИЗИРУЮЩЕГО
ИЗЛУЧЕНИЯ
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ
ЧЕРЕЗ ВЕЩЕСТВО
УМЕНЬШАЕТСЯ
ПО
ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНО
МУ ЗАКОНУ.

Здесь Φ_0 – падающий поток излучения,
 Φ – поток излучения, прошедшего через слой вещества толщиной « x »,
 μ - линейный коэффициент ослабления.

Аналогично меняется интенсивность излучения:

$$I = I_0 e^{-\mu x}$$

Характеристики взаимодействия данного вида излучения с данным веществом

- линейный коэффициент ослабления μ
[м⁻¹]

- массовый коэффициент ослабления

$$\mu_m = \mu / \rho$$

[м² / кг]

- слой половинного ослабления $d_{1/2}$ [м]

Физический смысл этих характеристик

μ
ОБРАТЕН ТОЛЩИНЕ СЛОЯ
ВЕЩЕСТВА,
ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ
КОТОРОГО
ПОТОК ИЗЛУЧЕНИЯ
УМЕНЬШАЕТСЯ В "e"
РАЗ.

Зависит от плотности ρ
вещества:

больше $\rho \Rightarrow$ больше
атомов на пути
излучения \Rightarrow больше

Характеристики взаимодействия данного вида излучения с данным веществом

Массовый коэффициент
ослабления μ_m
не зависит от плотности
вещества.

$d_{1/2}$ -

ТОЛЩИНА СЛОЯ
ВЕЩЕСТВА,

ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ
КОТОРОГО
ПОТОК ИЗЛУЧЕНИЯ
УМЕНЬШАЕТСЯ
ВДВОЕ.

СВЯЗЬ μ и $d_{1/2}$

Пусть $x = d_{1/2} \Rightarrow$

$$\Phi = \Phi_0 / 2;$$

$$\Phi_0 / 2 = \Phi_0 / e^{\mu d}$$

$$2 = e^{\mu d}$$

$$\ln 2 = \mu d_{1/2}$$

$$d_{1/2} = \ln 2 / \mu$$

ЧЕМ БОЛЬШЕ μ ,
ТЕМ МЕНЬШЕ $d_{1/2}$.

3. ПЕРВИЧНЫЕ ПРОЦЕССЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ионизирующих излучений С ВЕЩЕСТВОМ

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

ТРИ ПЕРВИЧНЫХ ЭФФЕКТА:

- КОГЕРЕНТНОЕ
РАССЕЯНИЕ
- НЕКОГЕРЕНТНОЕ
РАССЕЯНИЕ
- ФОТОЭФФЕКТ

Тот или иной эффект –
в зависимости от
соотношения
энергии рентгеновского
фотона ε
и энергии ионизации
(работы выхода
электрона) $A_{и}$.

*Энергия ионизации –
энергия, необходимая
для удаления электрона
за пределы атома*

Когерентное (классическое) рассеяние

Это ИЗМЕНЕНИЕ
НАПРАВЛЕНИЯ ПУЧКА
ИЗЛУЧЕНИЯ

(РАССЕЯНИЕ ПО
ВСЕВОЗМОЖНЫМ
НАПРАВЛЕНИЯМ).

ЭНЕРГИЯ ФОТОНОВ НЕ
ИЗМЕНЯЕТСЯ



РАССЕЯНИЕ
БЕЗ ИЗМЕНЕНИЯ
ДЛИНЫ ВОЛНЫ.

ХАРАКТЕРНО ДЛЯ
МЯГКОГО
РЕНТГЕНОВСКОГО
ИЗЛУЧЕНИЯ:
ЭНЕРГИЯ ФОТОНОВ
МЕНЬШЕ ЭНЕРГИИ
ИОНИЗАЦИИ -

$$\varepsilon < A_{\text{и}}$$

*Энергия атомов
вещества также не
изменяется.*



*Нет непосредственного
биологического
эффекта.*

Фотоэффект (ФЭ)

ПОГЛОЩЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ФОТОНА АТОМОМ ВЕЩЕСТВА.

За счет его энергии:
Выбивание валентного
(внешнего) электрона
из атома – **ВНЕШНИЙ**
ФЭ;

Переход электрона на
внешний (более
высокий) уровень, т.е.
возбуждение атома –
внутренний ФЭ,

УСЛОВИЕ ВНЕШНЕГО ФЭ:

$$\varepsilon \geq A_{\text{и}}$$

Описывается
УРАВНЕНИЕМ
ЭЙНШТЕЙНА:

$$h\nu = A_{\text{и}} + mv^2/2$$

Здесь m – масса
электрона,
 v – его скорость,
 $mv^2/2$ –
кинетическая

Некогерентное рассеяние

**РЕНТГЕНОВСКИЙ
ФОТОН МЕНЯЕТ
НАПРАВЛЕНИЕ**

**При столкновении с
электроном атома
И ВЫБИВАЕТ ИЗ АТОМА
ЭТОТ ЭЛЕКТРОН,**

**ЧАСТИЧНО
РАСТРАЧИВАЯ СВОЮ
ЭНЕРГИЮ.**



**ЧАСТОТА ИЗЛУЧЕНИЯ
УМЕНЬШАЕТСЯ,
ДЛИНА ВОЛНЫ
ВОЗРАСТАЕТ.**



РАССЕЯНИЕ С

**Увеличение длины
волны**

**при некогерентном
рассеянии носит
название**

ЭФФЕКТ КОМПТОНА.

**УСЛОВИЕ
НЕКОГЕРЕНТНОГО
РАССЕЯНИЯ:**

$$\varepsilon > A_{и}$$

**Характерно для
ЖЕСТКОГО
излучения.**

**Описывается
уравнением:**

Линейный коэффициент ослабления в законе ослабления излучения

В общем случае

может складываться из трех
коэффициентов:

ослабления за счет когерентного рассеяния $\mu_{\text{к}}$,

фотоэффекта $\mu_{\text{ф}}$

и некогерентного рассеяния $\mu_{\text{нк}}$:

$$\mu = \mu_{\text{к}} + \mu_{\text{ф}} + \mu_{\text{нк}}.$$

Первичные эффекты **гамма-излучения**

ТРИ ПЕРВИЧНЫХ ЭФФЕКТА:

- ФОТОЭФФЕКТ
- НЕКОГЕРЕНТНОЕ РАССЕЯНИЕ
- ОБРАЗОВАНИЕ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННЫХ ПАР

III – ПРИМЕР
ПРЕВРАЩЕНИЯ
"ЧАСТИЦ"
ПОЛЯ
В ЧАСТИЦЫ ВЕЩЕСТВА:

В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ
ПОЛЕ АТОМНОГО
ЯДРА
ГАММА-ФОТОН →
"ПАРА"
ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОН,
которые сразу же
РАЗЛЕТАЮТСЯ В
РАЗНЫЕ СТОРОНЫ.

- Превращение происходит С ВЫПОЛНЕНИЕМ ЗАКОНОВ СОХРАНЕНИЯ ЭНЕРГИИ И ИМПУЛЬСА.

- РЕАКЦИЯ ВОЗМОЖНА ПРИ ЭНЕРГИИ ГАММА-ФОТОНА, НЕ МЕНЬШЕЙ

- РОЛЬ ЯДРА - ПРИНЯТИЕ НА СЕБЯ ЧАСТИ ИМПУЛЬСА ФОТОНА.

В общем случае
ЛИНЕЙНЫЙ
КОЭФФИЦИЕНТ
ОСЛАБЛЕНИЯ
ТАКЖЕ СКЛАДЫВАЕТСЯ
ИЗ ТРЕХ
КОЭФФИЦИЕНТОВ:

$$\mu = \mu_a + \mu_s + \mu_c.$$

Первичные эффекты АЛЬФА- И БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ

- ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ АЛЬФА И БЕТА-МИНУС САМИ ПРОИЗВОДЯТ НЕПОСРЕДСТВЕННУЮ ИОНИЗАЦИЮ ВЕЩЕСТВА
(КАК ЭЛЕКТРОНЫ, ОБРАЗОВАВШИЕСЯ ПРИ ФОТОЭФФЕКТЕ ИЛИ НЕКОГЕРЕНТНОМ РАССЕЯНИИ).
- ПРИ ВСТРЕЧЕ В ВЕЩЕСТВЕ БЕТА-ПЛЮС ЧАСТИЦЫ С ЭЛЕКТРОНОМ -
АННИГИЛЯЦИЯ: ПРЕВРАЩЕНИЕ В ДВА ГАММА-ФОТОНА, РАЗЛЕТАЮЩИЕСЯ С ОДИНАКОВОЙ ПО МОДУЛЮ СКОРОСТЬЮ
В РАЗНЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ.

АННИГИЛЯЦИЯ - ПРОЦЕСС, ОБРАТНЫЙ РОЖДЕНИЮ ЭЛЕКТРОН-ПОЗИТРОННОЙ ПАРЫ

4. СРАВНИТЕЛЬНЫЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

ТРИ ХАРАКТЕРИСТИКИ:

- **ЛИНЕЙНАЯ ПЛОТНОСТЬ ИОНИЗАЦИИ**
(УДЕЛЬНАЯ ИОНИЗАЦИЯ)
- **ЛИНЕЙНАЯ ТОРМОЗНАЯ СПОСОБНОСТЬ**
(УДЕЛЬНЫЕ ИОНИЗАЦИОННЫЕ ПОТЕРИ)
- **СРЕДНИЙ ЛИНЕЙНЫЙ ПРОБЕГ**
(СРЕДНЯЯ ДЛИНА СВОБОДНОГО

УДЕЛЬНАЯ ИОНИЗАЦИЯ

$$i = dn / dx$$

Это

**ЧИСЛО ПАР ИОНОВ,
ОБРАЗОВАННЫХ
ЧАСТИЦЕЙ
НА ЕДИНИЦЕ ПУТИ
В ВЕЩЕСТВЕ.**

УДЕЛЬНЫЕ ИОНИЗАЦИОННЫЕ ПОТЕРИ

$$S = dE / dx$$

[Дж/м]

Это
ЭНЕРГИЯ,
ТЕРЯЕМАЯ ЧАСТИЦЕЙ
НА ЕДИНИЦЕ ПУТИ
В ВЕЩЕСТВЕ.

СРЕДНЯЯ ДЛИНА СВОБОДНОГО ПРОБЕГА

R [м]

Это
РАССТОЯНИЕ,
ПРОЙДЕННОЕ
ЧАСТИЦЕЙ
СО СКОРОСТЬЮ,
БОЛЬШЕЙ СКОРОСТИ
МОЛЕКУЛЯРНО-
ТЕПЛОВОГО
ДВИЖЕНИЯ.

СРАВНИМ ЭТИ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДЛЯ РАЗНЫХ ВИДОВ РАДИОАКТИВНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ

ЧЕМ БОЛЬШЕ i , ТЕМ БОЛЬШЕ S
И ТЕМ МЕНЬШЕ R .

$$i_{\alpha} > i_{\beta} > i_{\gamma}$$

$$S_{\alpha} > S_{\beta} > S_{\gamma}$$

$$R_{\alpha} < R_{\beta} < R_{\gamma}$$

Объяснение

- АЛЬФА-ЧАСТИЦЫ - ЗАРЯЖЕННЫЕ, СРАВНИТЕЛЬНО МЕДЛЕННО ДВИЖУЩИЕСЯ.

НА ПУТИ - ПЛОТНОЕ СКОПЛЕНИЕ ИОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ.

ГЛУБИНА ПРОНИКНОВЕНИЯ В ВЕЩЕСТВО ОКОЛО 40 МКМ.

- БЕТА-МИНУС ЧАСТИЦЫ ДВИЖУТСЯ БЫСТРЕЕ.

НА ПУТИ - РАЗРЕЖЕННОЕ СКОПЛЕНИЕ ИОНОВ И ЭЛЕКТРОНОВ.

НАИБОЛЬШАЯ ИОНИЗАЦИЯ – К КОНЦУ ПУТИ.

ГЛУБИНА ПРОНИКНОВЕНИЯ В СРЕДНЕМ - НЕСКОЛЬКО ММ

- **ФОТОНОВСКИЕ ИЗЛУЧЕНИЯ →**

ОБРАЗУЮТСЯ ЭЛЕКТРОНЫ С БОЛЬШОЙ ЭНЕРГИЕЙ, ДЕЙСТВУЮТ ПОДОБНО БЕТА-МИНУС ЧАСТИЦАМ.

НО ЗАРЯДА У ФОТОНА НЕТ



БОЛЬШОЙ ПУТЬ ЕЩЕ ДО ПЕРВОГО

ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.

ВЫБОР ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВНУТРЕННИЕ ОРГАНЫ:

- **ВНЕШНИЙ ИСТОЧНИК ОБЛУЧЕНИЯ - ЭФФЕКТИВНЕЕ ФОТОНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ.**
- **ВВЕДЕНИЕ ИСТОЧНИКА ВНУТРЬ – ЭФФЕКТИВНЕЕ АЛЬФА-ИЛИ БЕТА-ИЗЛУЧЕНИЯ.**