

*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

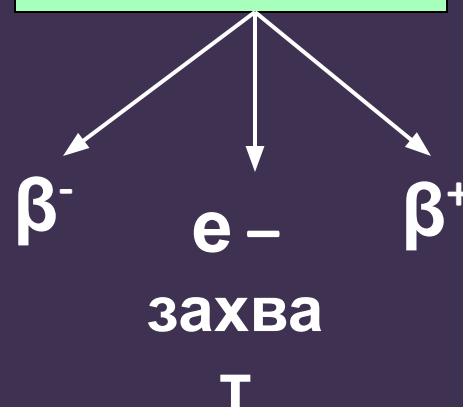
## ДВА ОСНОВНЫХ ТИПА РАСПАДА:

**АЛЬФА ( $\alpha$ )**

БЕТА-РАСПАД – 3-Х ВИДОВ:

- ЭЛЕКТРОННЫЙ ( $\beta^-$ )
- ПОЗИТРОННЫЙ ( $\beta^+$ ) И
- ЭЛЕКТРОННЫЙ ЗАХВАТ
- (  $e^-$  - захват )

**БЕТА ( $\beta$ )**



# 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 ( $\beta^+$ ).**

**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  $\Phi_0$  – падающий поток излучения,  
 $\Phi$  – поток излучения, прошедшего через слой вещества толщиной « $x$ »,  
 $\mu$  - линейный коэффициент ослабления.

Аналогично меняется интенсивность излучения:

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

# Характеристики взаимодействия данного вида излучения с данным веществом

- линейный коэффициент ослабления  $\mu$   
[м<sup>-1</sup>]

- массовый коэффициент ослабления

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

[ м<sup>2</sup> / кг ]

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

## Физический смысл этих характеристик

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

Зависит от плотности  $\rho$  вещества:

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

# Характеристики взаимодействия данного вида излучения с данным веществом

Массовый коэффициент  
ослабления  $\mu_m$   
не зависит от плотности  
вещества.

$d_{1/2}$  -

ТОЛЩИНА СЛОЯ  
ВЕЩЕСТВА,

ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ  
КОТОРОГО  
ПОТОК ИЗЛУЧЕНИЯ  
УМЕНЬШАЕТСЯ  
ВДВОЕ.

СВЯЗЬ  $\mu$  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  $\mu$ ,  
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  $\varepsilon$   
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.**