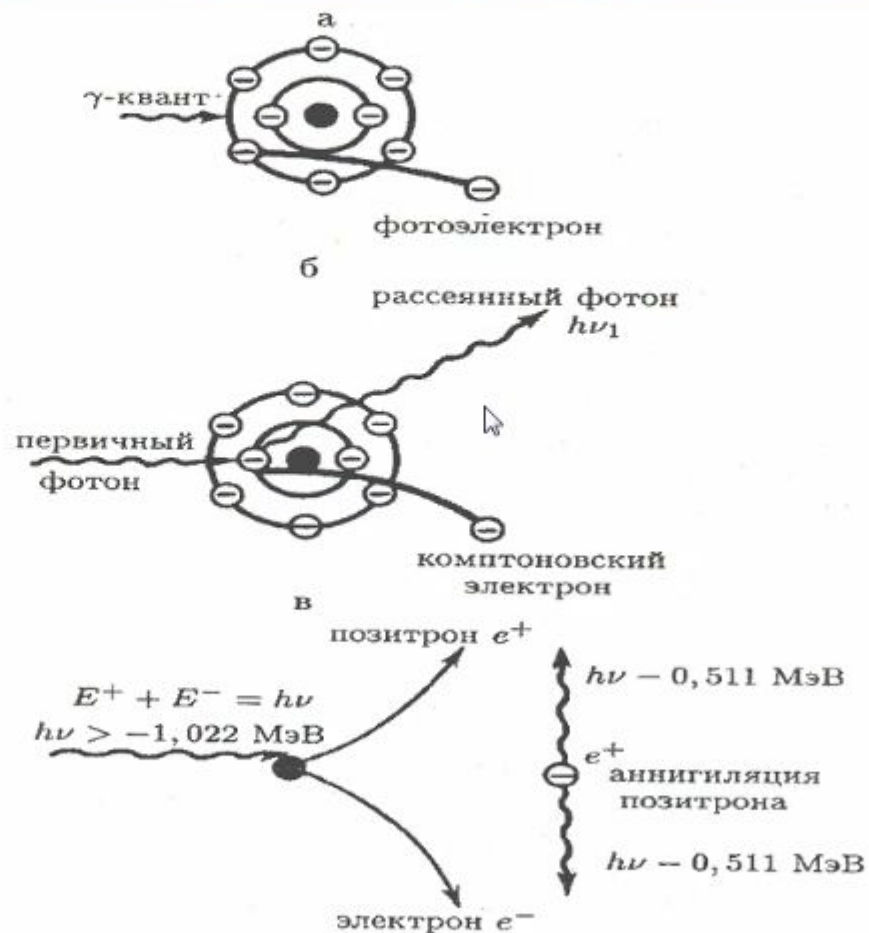




# Основные процессы поглощения энергии фотонов высокоэнергетических эми



## **Взаимодействие эми с веществом**

**Поглощение энергии эми в веществе осуществляется за счет:**

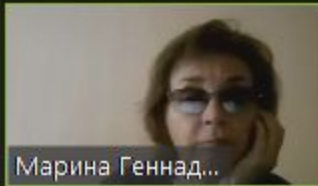
- **фотоэлектрического поглощения (фотоэффекта);**  
энергия фотона до 0,05 МэВ
- **комptonовского рассеяния (комpton эффекта);**  
энергия фотона от 0,1 МэВ
- **образование электрон-позитронных пар (образование пар);**  
энергия фотона от 1,022 МэВ

**В результате взаимодействия эми с веществом:**

- ☞ Фотон либо поглощается целиком (ФЭ, ОП, фотоядерные реакции), либо теряет часть своей энергии (рассеяние)**
- ☞ Возникают вторичные корпускулярные и э/м излучения.**
- ☞ Рентгеновские и  $\gamma$ -излучения - косвенно ионизирующие излучения**

**При прохождении эми  
вещество происходит у  
плотности потока излу  
ослабление пучка.**

Кирилл Серов

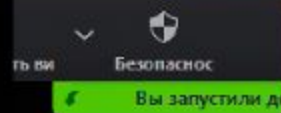


Марина Геннад...

Александра Ла...

Алина Сиротина

Полина Сан...



## Ослабление потока

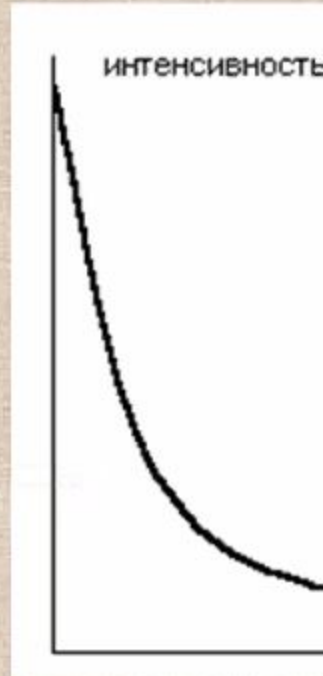
$$I_x = I_0 \cdot e^{-\mu x}$$

(уравнение Бугера),

$I_x$  - интенсивность потока, прошедшего через вещество толщиной  $x$

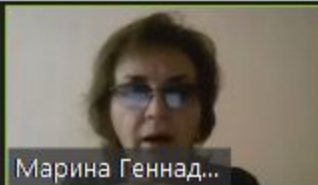
$I_0$  - интенсивность падающего пучка

$\mu$  - линейный коэффициент ослабления, характеризует поглощающую способность вещества.



➤ Наиболее эффективно экранируют эти материалы содержащие тяжелые металлы (свинец)

Кирилл Серов



Марина Геннад...

Александра Ла...

Алина Сиротина

Полина Сан...

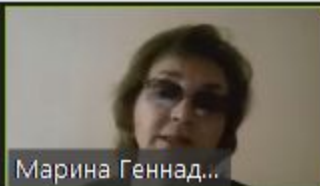


## Защита от внешнего ионизирующего изл

**Защита от внешнего облучения  
на трех принципах:**

- **защита экранированием**;
- **защита расстоянием** (интенс  
излучения обратно зависима  
расстояния до источника);
- **защита временем** (продолжи  
действия ии должна быть ми

Кирилл Серов



Марина Геннад...

Александра Ла...

Алина Сиротина

Полина Сан...



## Нейтроны

- ❖ **Незаряженные частицы, возникающие в ядерных реакциях при:**
- ✓ **делении ядер тяжелых элементов (др.),**
- ✓ **бомбардировке ядра соответствующей заряженной частицей или фотонной энергией,**
- ✓ **синтезе ядер легких элементов (термоядерного синтеза, лития).**



- ❖ **Нейтроны могут беспрепятственно проникать внутрь атомов**
- ❖ **Нейтроны, как и эми, относятся к косвенно ионизирующим видам излучения.**

## Классификация нейтронов

По уровню энергии нейтроны могут быть разделены на следующие группы:

<b>тепловые</b>	<b>(<math>E &lt; 0,1</math> эВ)</b>
<b>медленные</b>	<b>(<math>E = 0,1</math> эВ – 500 эВ)</b>
<b>промежуточные</b>	<b>(<math>E = 0,5</math> – 100 кэВ)</b>
<b>быстрые</b>	<b>(<math>E = 0,1</math> – 10 МэВ)</b>
<b>очень больших энергий</b>	<b>(<math>E &gt; 10</math> МэВ)</b>

## Значения $W_r$ при расчете эквивалентной дозы

Вид излучения	$W_r$
Нейтроны с энергией менее 10 кэВ	5
Нейтроны с энергией 10-100 кэВ	10
Нейтроны с энергией 0,1- 2 МэВ	20
Нейтроны с энергией 2 - 20 МэВ	10
Нейтроны с энергией более 20 МэВ	5

## **Взаимодействие нейтронов с веществом**

При прохождении нейтронов через  
вещество они

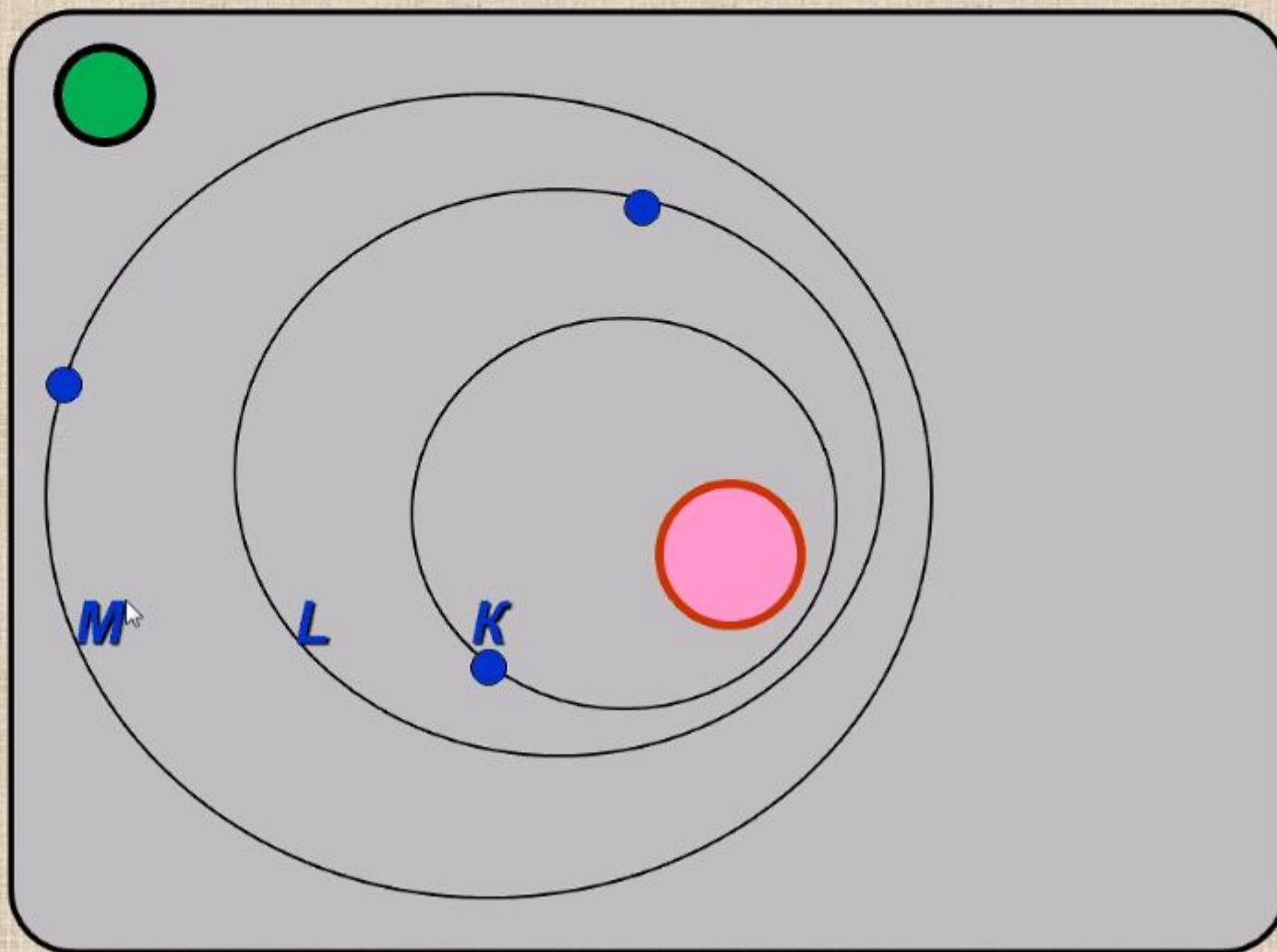
отталкиваются от ядер (упругое и  
неупругое рассеяние)

**поглощаются** ядрами вещества

- **При упругом рассеянии  $E_{\text{кин}}$  нейтрона распределяется между нейтроном и ядром отдачи или протоном отдачи.**
- **Это основной путь потери энергии нейтронами деления и синтеза ядер.**
- **В среде с легкими ядрами быстрые нейтроны испытывают только упругое рассеяние.**
- **Вещества, используемые для замедления быстрых нейтронов, называются замедлителями.**

Оставшееся время конференции: 03:03

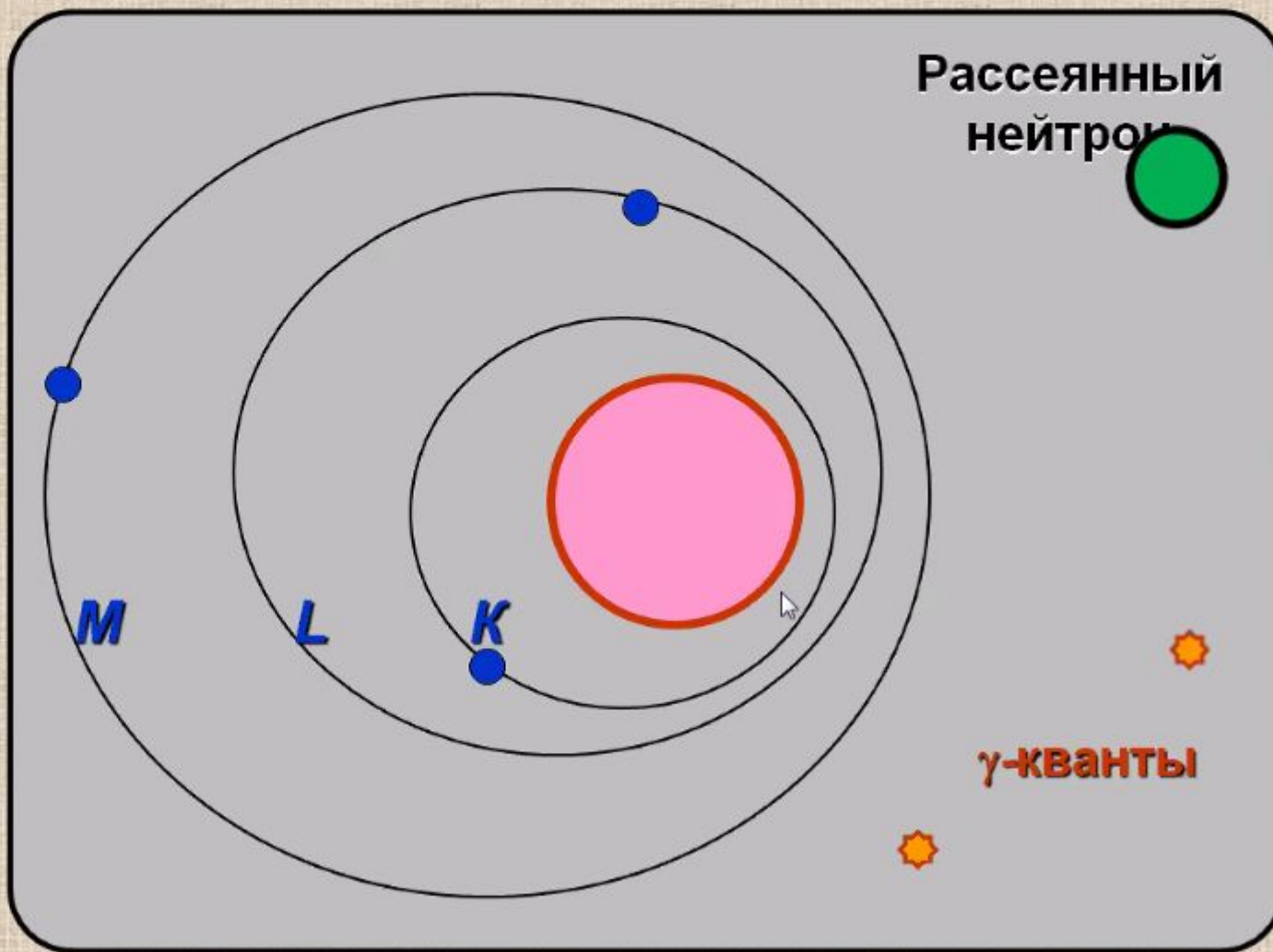
## ***УПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ***



- При неупругом рассеянии
  - часть энергии передается ядру, на его возбуждение;
  - испускается  $\gamma$ -квант (сначала возбужденным, а затем вернувшимся в основное состояние, ядром атома отдачи).

Меньше 1 минуты

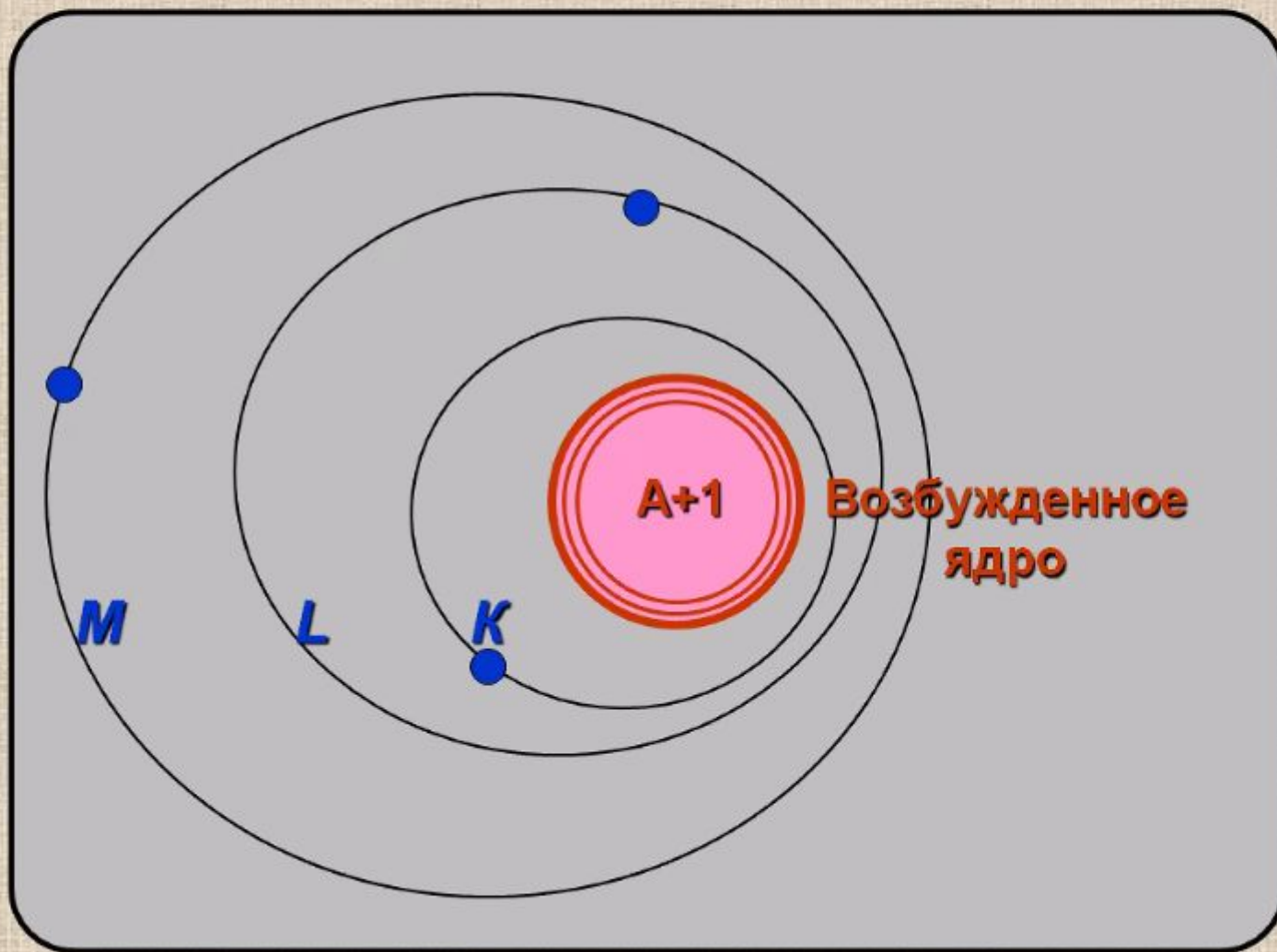
# НЕУПРУГОЕ РАССЕЯНИЕ





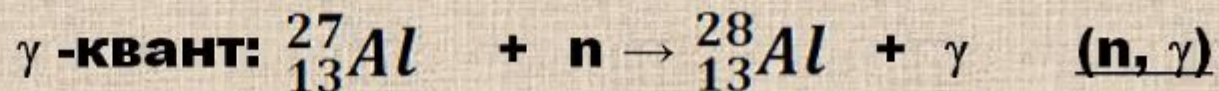
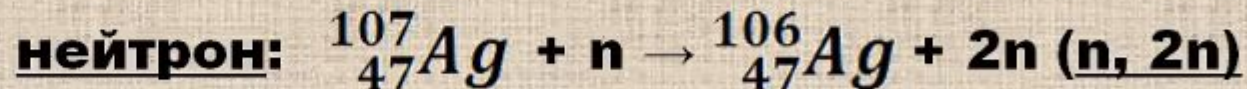
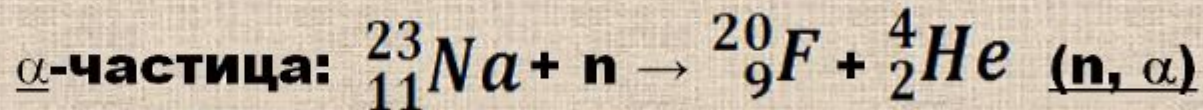
- **Быстрые нейтроны (с энергией несколько МэВ) при прохождении через среду с тяжелыми ядрами испытывают одно-два неупругих столкновения, теряя значительную долю своей энергии, а затем уже взаимодействуют упруго.**

# ПОГЛОЩЕНИЕ

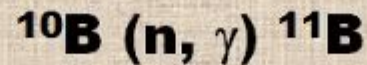
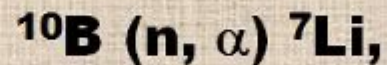
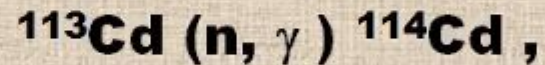


## Типы ядерных реакций

В результате поглощения нейтрона ядром (или радиационного захвата) испускаются частицы,  $\gamma$ -квант.



- **Способность ядер поглощать нейтроны используется при выборе защиты от нейтронного излучения.**
- **Хорошими веществами-поглотителями медленных нейтронов являются изотопы кадмия и бора:**



## **Защита от нейтронов**

- Замедление быстрых нейтронов**  
(используют вещества, содержащие легкие атомы: вода, парафин, пластмасса, графит)
- Поглощение медленных нейтронов**  
(реакции радиационного захвата с бором, кадмием)
- Ослабление гамма-излучения**  
(используют материалы, содержащие тяжелые металлы)

## Ускоренные заряженные частицы

**Излучения, вызываемые узч имеют место:**

- **при ядерных перестройках,**
- **при взаимодействии с атомами вещества эми высоких энергий и нейтронов,**
- **в результате работы специально предназначенных для этого устройств: циклотронов, ускорителей и т.д.**

**Подавляющее число частиц взаимодействуют с электронными оболочками; отдельные узч могут проникать в ядра атомов и вызывать там ядерные реакции.**

## **Виды взаимодействия узч**

Узч взаимодействуют с веществом за счет

- **упругого и неупругого рассеяния,**
- **аннигиляции,**
- **ионизации и возбуждения**



- Упругое рассеяние - изменение траектории заряженной частицы в результате притяжения ядер и соударения с электронами оболочки без потери энергии.
- Неупругое рассеяние (или торможение) наблюдается при прохождении  $e^-$  с очень высокой энергией (выше 1МэВ) вблизи ядра атома.

- Аннигиляция происходит в веществах с позитронной активностью.
- Ионизация и возбуждение атомов и молекул – основной путь потери энергии узч в веществе.

## Ионизация и возбуждение

При взаимодействии с **узч** вероятность перехода атомов вещества в **возбужденное состояние** или их **ионизация** возрастает

- ✓ при увеличении длительности/интенсивности возмущения;
- ▶ *Медленные частицы вызывают больше переходов, чем быстрые.*

- ✓ многократно заряженные больше, чем однократно заряженные;
- ✓ масса частицы не оказывает влияния на эти эффекты.

▶ *При равных скоростях электроны и протоны переносят веществу одинаковое количество энергии.*

## Линейная потеря энергии

→ Узч, взаимодействуя с веществом, оставляют в нем ионизационный след.

Этот след - трек заряженной частицы.

→ Треки различных видов узч при одной и той же поглощенной дозе сильно отличаются.

→ Это отличие обусловлено различной линейной потерей энергии (ЛПЭ) частицами.



## ЛИНЕЙНАЯ ПОТЕРЯ ЭНЕРГИИ

**ЛПЭ** – среднее количество энергии, передаваемой заряженной частицей веществу на единицу длины пройденного в нем пути

$$\text{ЛПЭ} = dE / dx ,$$

$dE$  – энергия частицы, кэВ;

$dx$  – длина пробега частицы в веществе, мкм

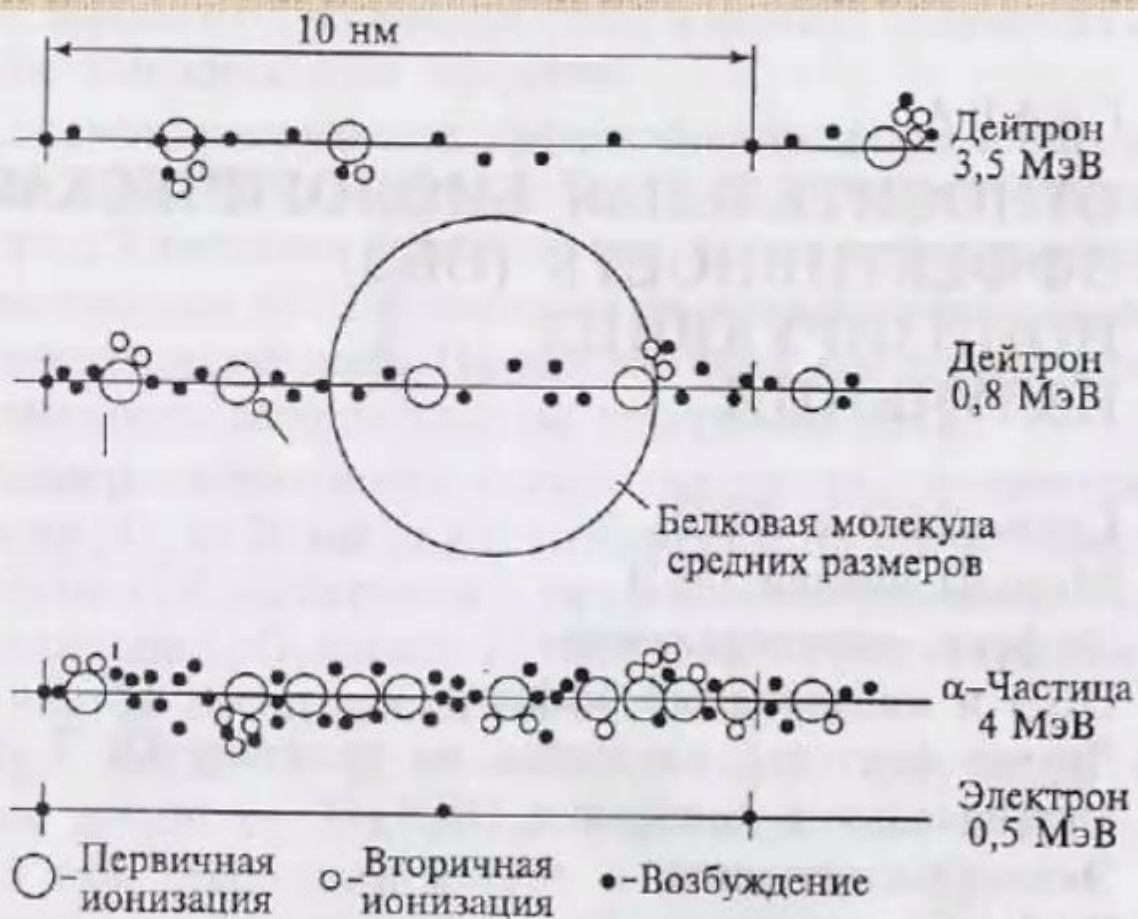
ЛПЭ зависит от вида излучения и плотности вещества.

По величине ЛПЭ излучения делят на:

**редкоионизирующие**  
**плотноионизирующие**

- К редкоионизирующим относят излучения, имеющие ЛПЭ менее 10 кэВ/мкм ( $\beta$ -,  $\gamma$ -, R-излучения).
- К плотноионизирующим - ЛПЭ  $>10$  кэВ/мкм (протоны, др.тяжелые частицы, нейтроны).

## Плотность ионизации различных видов ионизирующего излучения





## Линейная плотность ионизации

- **ЛПИ** - среднее число пар ионов, образованных на единицу пути частицы

$$\text{ЛПИ} = \text{ЛПЭ} / W ,$$

$W$  – энергия для образования одной пары ионов, 34 эВ

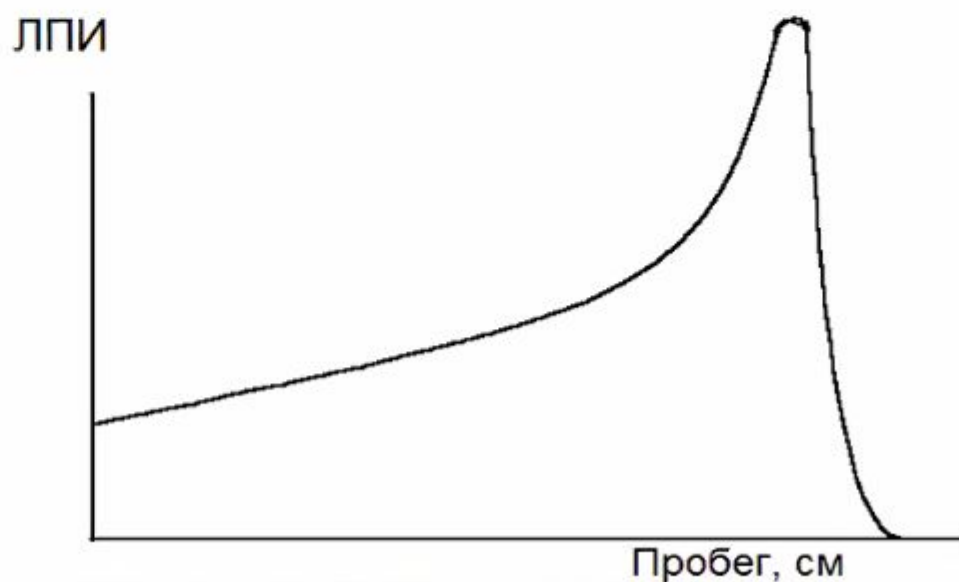
- **ЛПИ** количественно характеризует ионизирующую способность излучения

ЛШ:

$\alpha$ -	40 000
протоны	10 000
$\beta$ -	400
R-, $\gamma$	5

Характер изменений ЛПИ узч в среде описывается кривой **Брэгга**

Наибольшая удельная ионизация отмечается в последней трети длины пробега частицы.



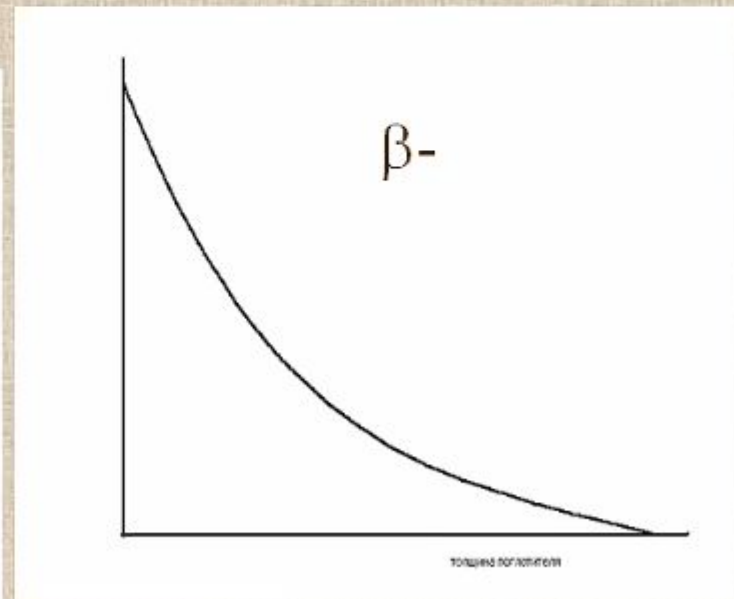
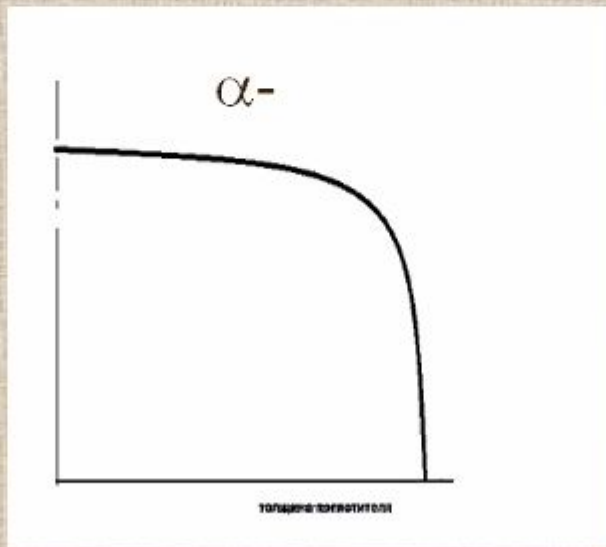


## Проникающая способностью излучений

- ❏ Редкоионизирующие и нейтронные излучения отличаются высокой проникающей способностью
- ❏ Плотнoионизирующие и. проникают в ткани на небольшую глубину
- ❏ Излучения с высокой проникающей способностью представляют опасность при внешнем облучении

## Защита от излучений узч

В отличие от  $\gamma$  - лучей, для  $\alpha$ - и  $\beta$ - частиц всегда можно подобрать такой слой вещества, в котором поток частиц полностью поглощается.



## Оценка эффективности действия ионизирующих излучений

Учитывают:

- активность нуклида в радиоактивном источнике
- экспозиционную дозу (дозу **излучения**), т.е. поглощение ионизирующего излучения в воздухе
- поглощенную дозу (дозу **облучения**), т.е. поглощение энергии излучения объектом. В биологическом объекте – эквивалентная доза