

# **РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ**

**Лащёнова Татьяна Николаевна  
Д-р биол.наук, канд.хим. наук,  
Профессор экологического  
факультета РУДН**

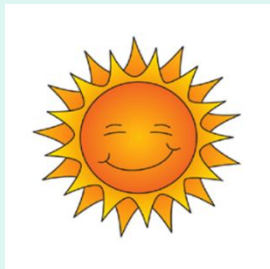
**[tlaschenova@yandex.ru](mailto:tlaschenova@yandex.ru)**

**8 910 4049110**

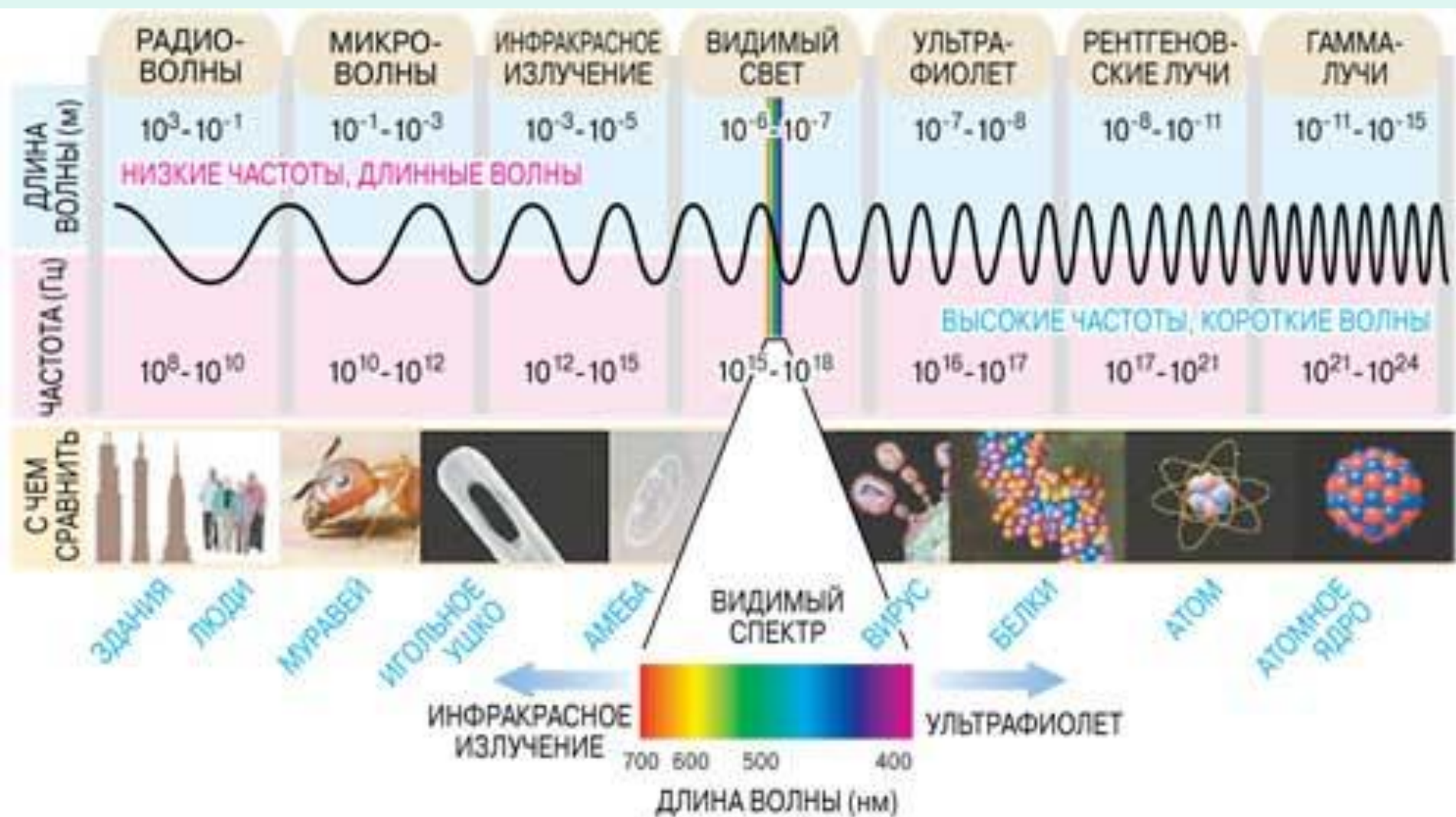
# Тема

## 1. Физические основы радиоактивности

# Основные характеристики ионизирующего излучения



- **Излучение** — процесс испускания и распространения энергии в виде волн и частиц.
- **Ионизирующее излучение** - потоки фотонов, а также заряженных или нейтральных частиц, взаимодействие которых с веществом среды приводит к его ионизации.
- **Неионизирующее излучение** - излучения с длиной волны более 1000 нм и энергией меньше 10 кэВ, заведомо недостаточной, чтобы ионизировать вещество.



# ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

## Радиоактивности

- **Радиоактивность** - способность атомных ядер к самопроизвольному превращению в другие ядра с испусканием одной или нескольких заряженных частиц и фотонов.
- **Активность** - это количество актов распада в единицу времени.
- **Период полураспада ( $T_{1/2}$ )**- время, в течение которого половина радиоактивных атомов распадается.
- **Удельная активность** - активность радионуклида (или смеси радионуклидов) в единице веса или объёма вещества.
- **Постоянная радиоактивного распада** - доля атомов, распадающихся в 1 секунду,  $\lambda$ .

# Виды радиоактивного распада

- $\alpha$ -излучение - ионизирующее излучение, состоящее из  $\alpha$ -частиц (ядер гелия), испускаемых при ядерных превращениях.
- $\beta$ -излучение - электронное (позитронное) ионизирующее излучение с непрерывным энергетическим спектром, испускаемое при ядерных превращениях.
- $\gamma$  - излучение - фотонное (электромагнитное) ионизирующее излучение, испускаемое при ядерных превращениях или аннигиляции частиц.

# Энергетическое строение атома

Из периодической системы для любого элемента по номеру периода можно определить число энергетических уровней атома, и какой энергетический уровень является внешним.

Главное квантовое число  $n$  – определяет энергетический уровень внешнего электрона, удаленность уровня от ядра, размер электронного облака.

Принимает целые значения ( $n = 1, 2, 3 \dots$ ) и соответствует номеру периода.

|                         |       |   |   |   |   |   |   |   |
|-------------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|
| Главное квантовое число | $n =$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|-------------------------|-------|---|---|---|---|---|---|---|

|                                    |   |   |   |   |   |   |   |
|------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|
| Обозначение энергетического уровня | K | L | M | N | O | P | Q |
|------------------------------------|---|---|---|---|---|---|---|

Орбитальное квантовое число – определяет форму электронного облака и энергию электрона на подуровне.

Свойства элементарных частиц определяются местом положения в атоме: в ядре атома и на внешней оболочке

# Свойства атомов

Строение атома определяется расположением атома в периодической таблице Д. И. Менделеева.

Свойства и основные характеристики зависят

- s-элементы
- p-элементы
- d-элементы
- f-элементы

## Пример.

Элемент стронций Sr-90 расположен в пятом периоде.

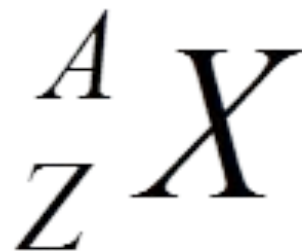
В его атоме электроны распределены по пяти энергетическим уровням ( $n = 1$ ,  $n = 2$ ,  $n = 3$ ,  $n = 4$ ,  $n = 5$ ); внешним будет пятый уровень ( $n = 5$ ). На внешней орбите 2 электрона



# Элементарные частицы

| название      | символ                          | заряд | масса |
|---------------|---------------------------------|-------|-------|
| протон        | p                               | +1    | 1     |
| нейтрон       | n <sup>0</sup>                  | 0     | 1     |
| электрон      | e, β                            | -1    | 0     |
| позитрон      | e <sup>+</sup> , β <sup>+</sup> | +1    | 0     |
| нейтрино      | n                               | 0     | 0     |
| антинейтрино  | n <sup>~</sup>                  | 0     | 0     |
| фотон         | γ                               | 0     | 0     |
| альфа-частица | α                               | +2    | 4     |

# Строение атома



**Нуклон** - протон и нейтрон, входящие в состав атомного ядра

**Массовое число**,  $A$  – общее число нуклонов

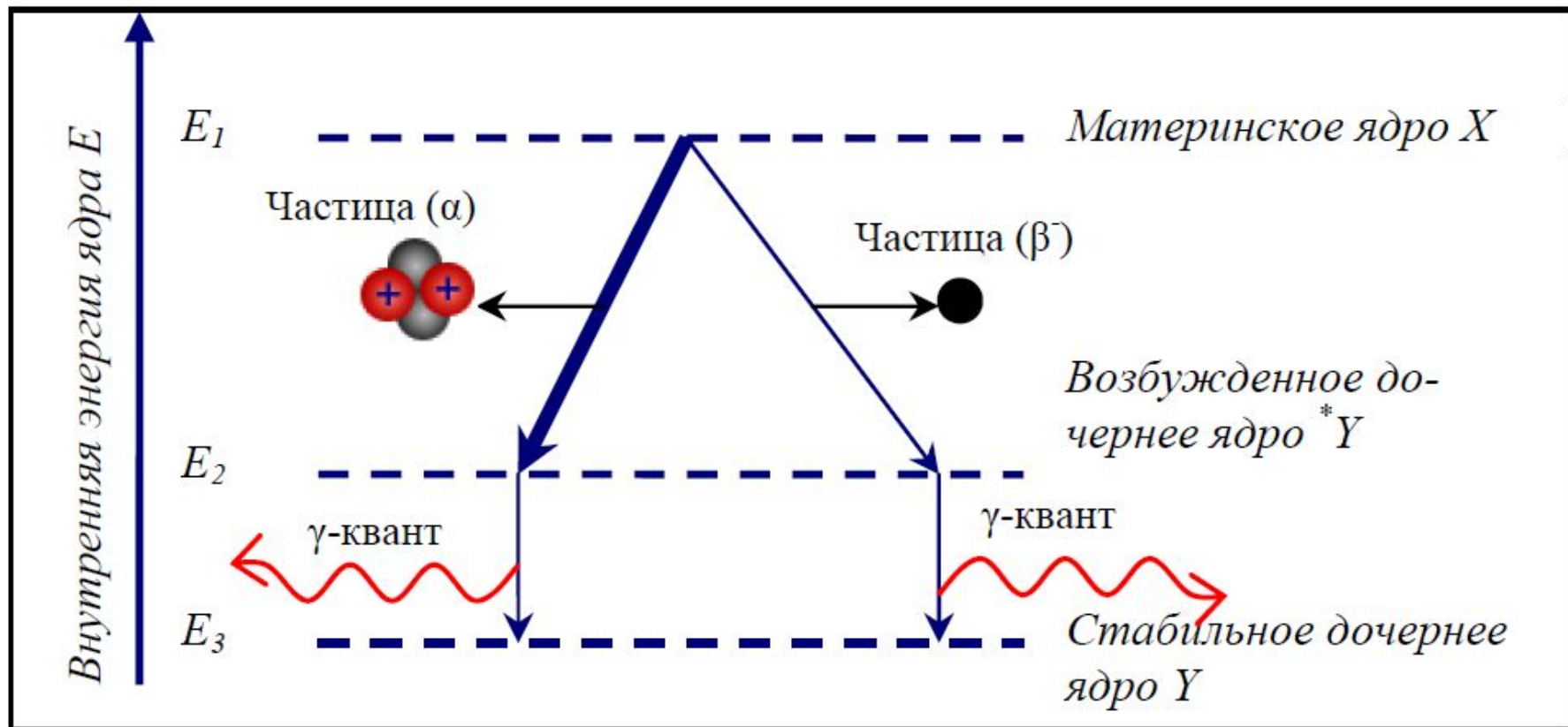
$$A = Z + N$$

$Z$  – число протонов, атомный номер,  $N$  - число нейтронов

**Изотопы** - нуклиды с одинаковыми  $Z$ , но различными  $A$  и  $N$

**Изобары** - нуклиды с одинаковыми  $A$ , но различными  $Z$  и  $N$

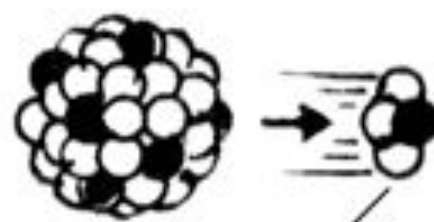
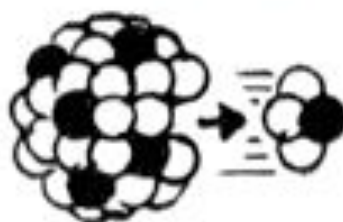
**Изотоны** - нуклиды с одинаковыми  $N$ , но различными  $Z$  и  $A$



## Альфа-распад



Ядро атома



Альфа-частица

## Бета-распад



Ядро атома

Нейтрон

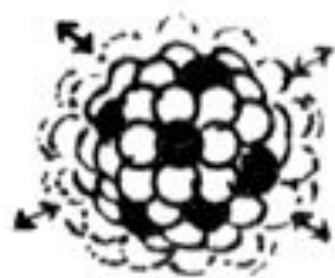


Протон

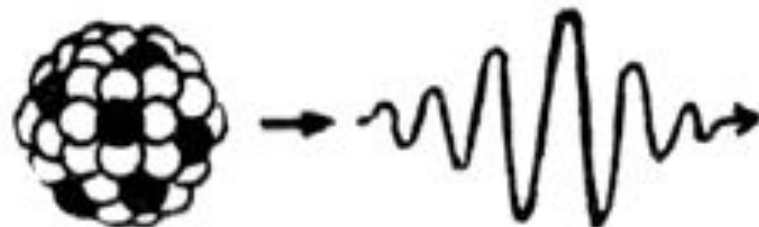


$e^-$

## Гамма-излучение



Возбуждённое ядро



Гамма-квант

# **$\alpha$ -излучение**

## **это поток $\alpha$ -частиц (ядра гелия)**

Пробег  $\alpha$  -частиц практически прямолинеен.

При прохождении  $\alpha$  -частиц через вещество происходит взаимодействие с электронами атомов.

При этом она либо выбивает электроны из оболочки атомов, либо переводит на более удаленную орбиту.

Если при движении  $\alpha$  - частица выбивает электрон, образуются положительно заряженный ион, происходит ионизация среды.

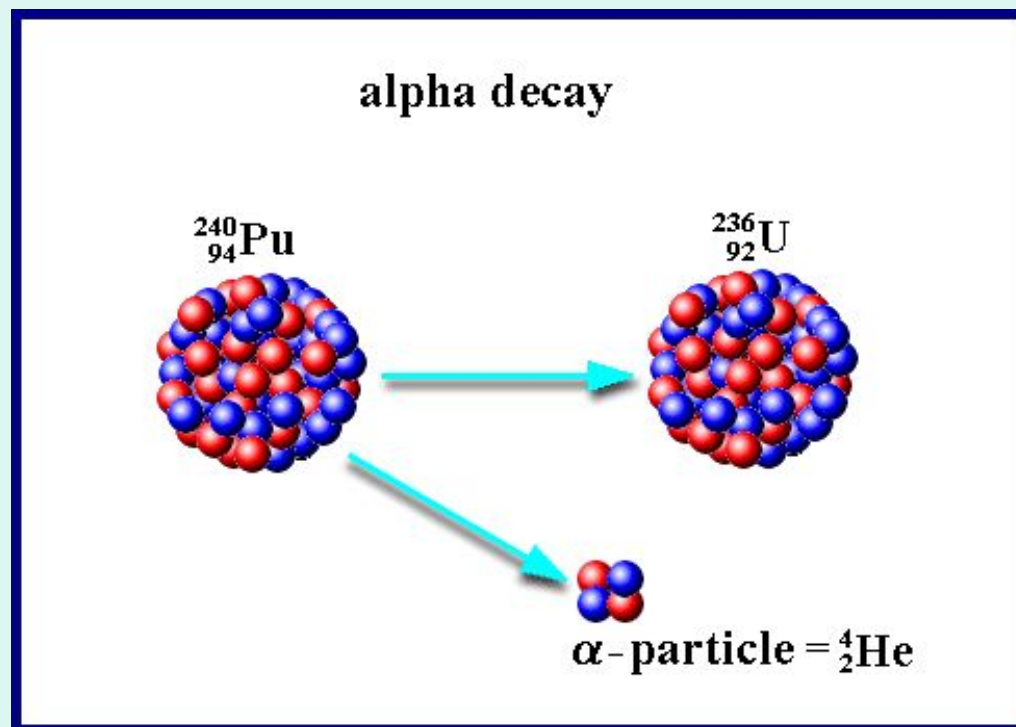
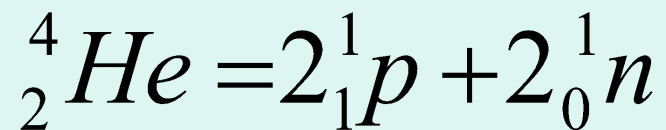
На ионизацию расходуется часть энергии  $\alpha$  - частиц, она теряет скорость и постепенно останавливается. При этом она присоединяет к себе 2 электрона и становится электронейтральным атомом - атомом гелия.

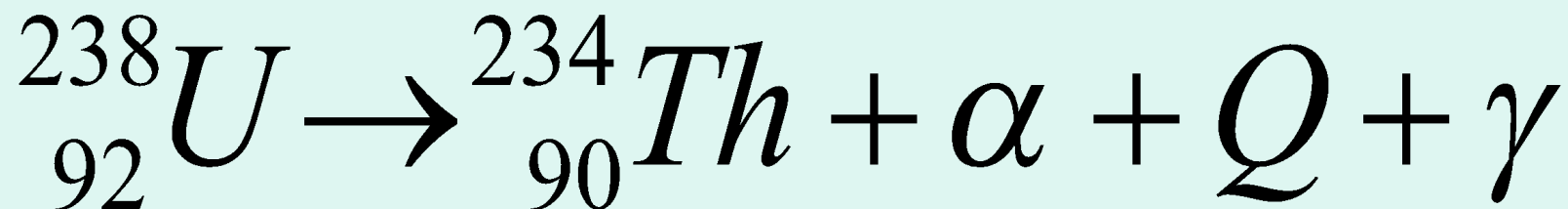
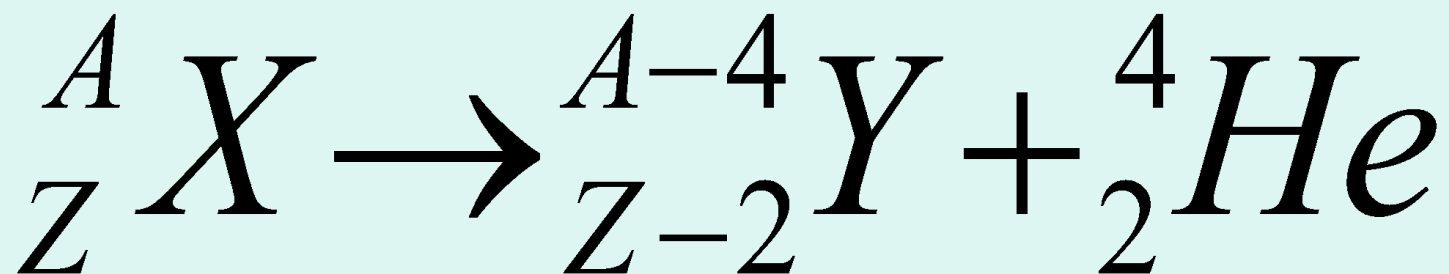
# ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВЕЩЕСТВОМ

## Альфа-частицы

- Неупругие и упругие столкновения.
- Альфа-частицы распространяются от источника прямолинейно, теряют энергию главным образом при взаимодействии с электронами атомов.
- При этом происходят:
  - ионизация атомов или молекул;
  - возбуждение атомов или молекул;
  - выбивание атомов.
- Тяжёлая частица может вызвать ядерную реакцию.

# Альфа-излучение – поток ядер гелия





| Источник            | Энергия, кэВ |
|---------------------|--------------|
| ${}^{226}\text{Ra}$ | 4781,82,4    |
| ${}^{210}\text{Po}$ | 5304,50,5    |
| ${}^{212}\text{Bi}$ | 6049,60,7    |
| ${}^{214}\text{Po}$ | 7688,40,6    |
| ${}^{212}\text{Po}$ | 8785,00,8    |



# **Взаимодействие $\beta$ -излучения с веществом**

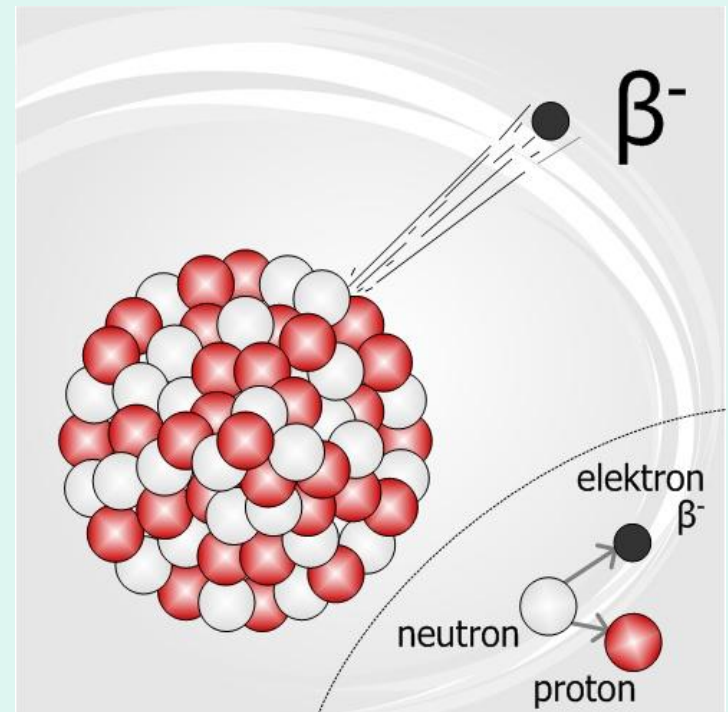
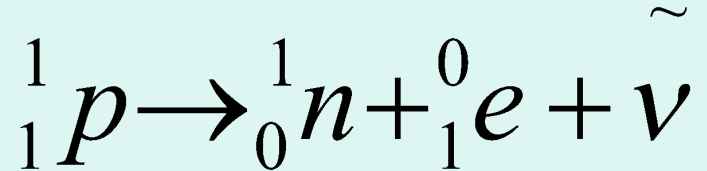
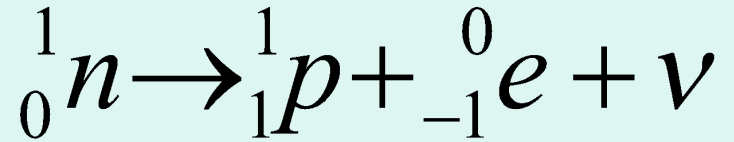
При движении в веществе электронов, они взаимодействуют с электронами оболочек атома, происходит ионизация среды.

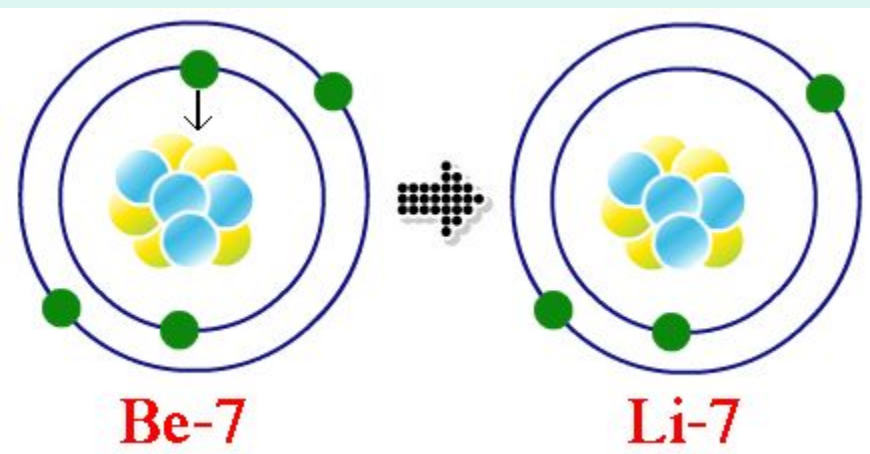
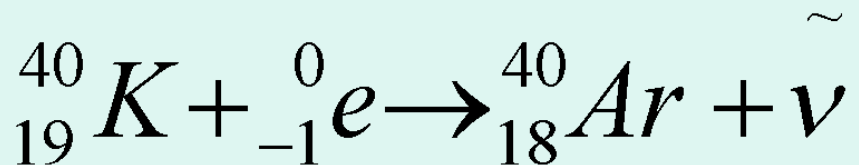
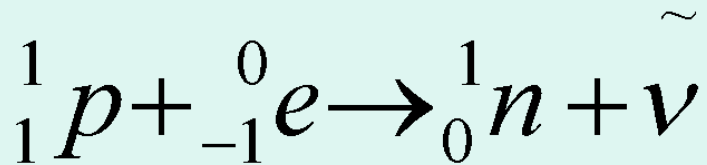
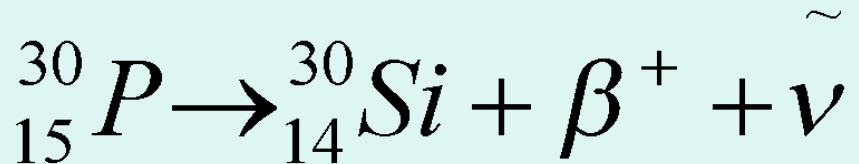
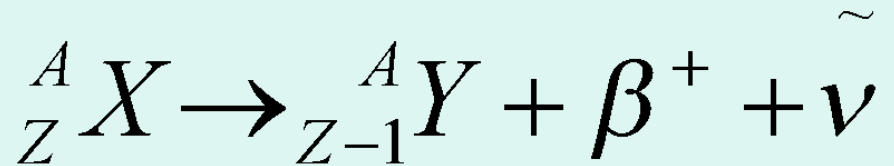
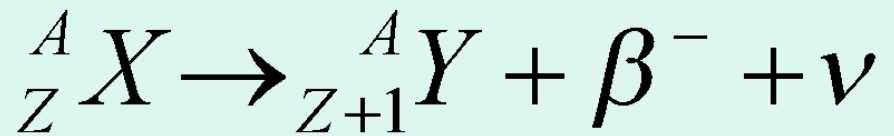
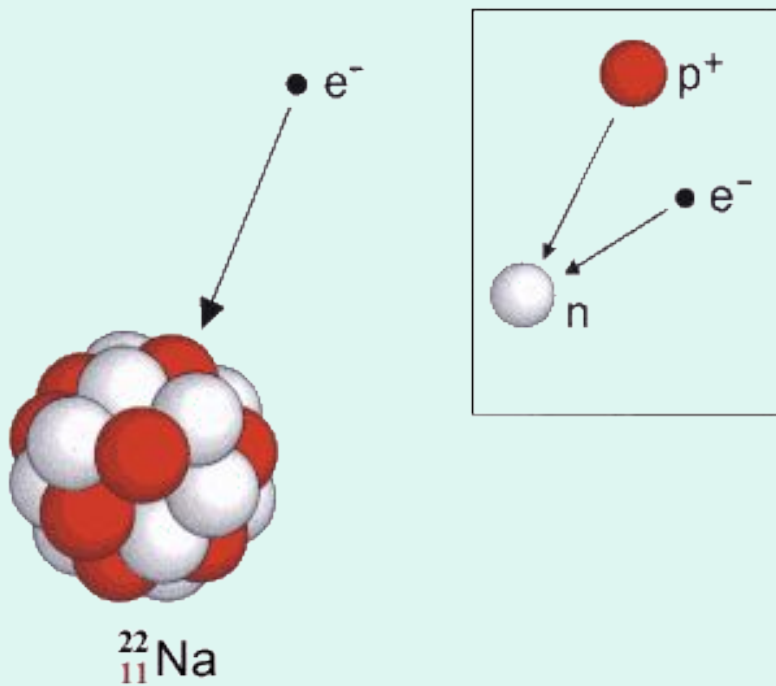
$\beta$ -частица в 7000 раз меньше  $\alpha$ -частицы, она движется прямолинейно, имеет место эффект рассеяния  $\beta$ -частиц на электронах атома.

Если  $\beta$ -частица проходит вблизи ядра атома, то она тормозится в поле ядра, теряет скорость, энергию в виде тормозного излучения.

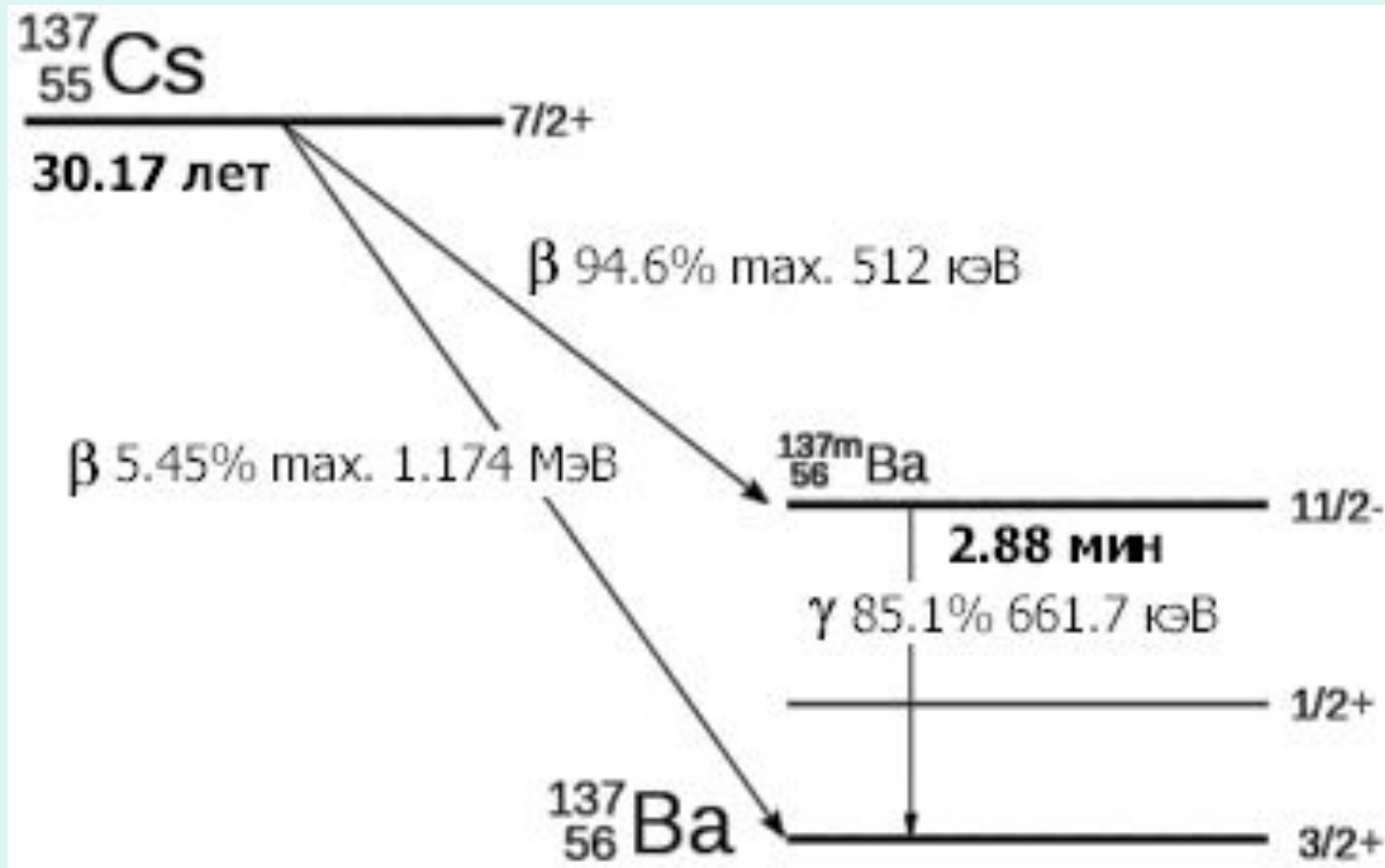
Для бета-частиц существенное значение имеет неупругое взаимодействие с атомными ядрами, приводящее к испусканию жёсткого электромагнитного излучения.

- **Бета-излучение**  
представляет собой поток электронов или позитронов ядерного происхождения.
- **Физические параметры электронов ядерного происхождения** (масса, заряд) такие же, как и у электронов атомной оболочки. Обозначаются бета-частицы символами  $B^-$  или  $e^-$ ,  $B^+$  или  $e^+$ .
- Энергия, освобождаемая при каждом акте распада, распределяется между бета-частицей и нейтрино.

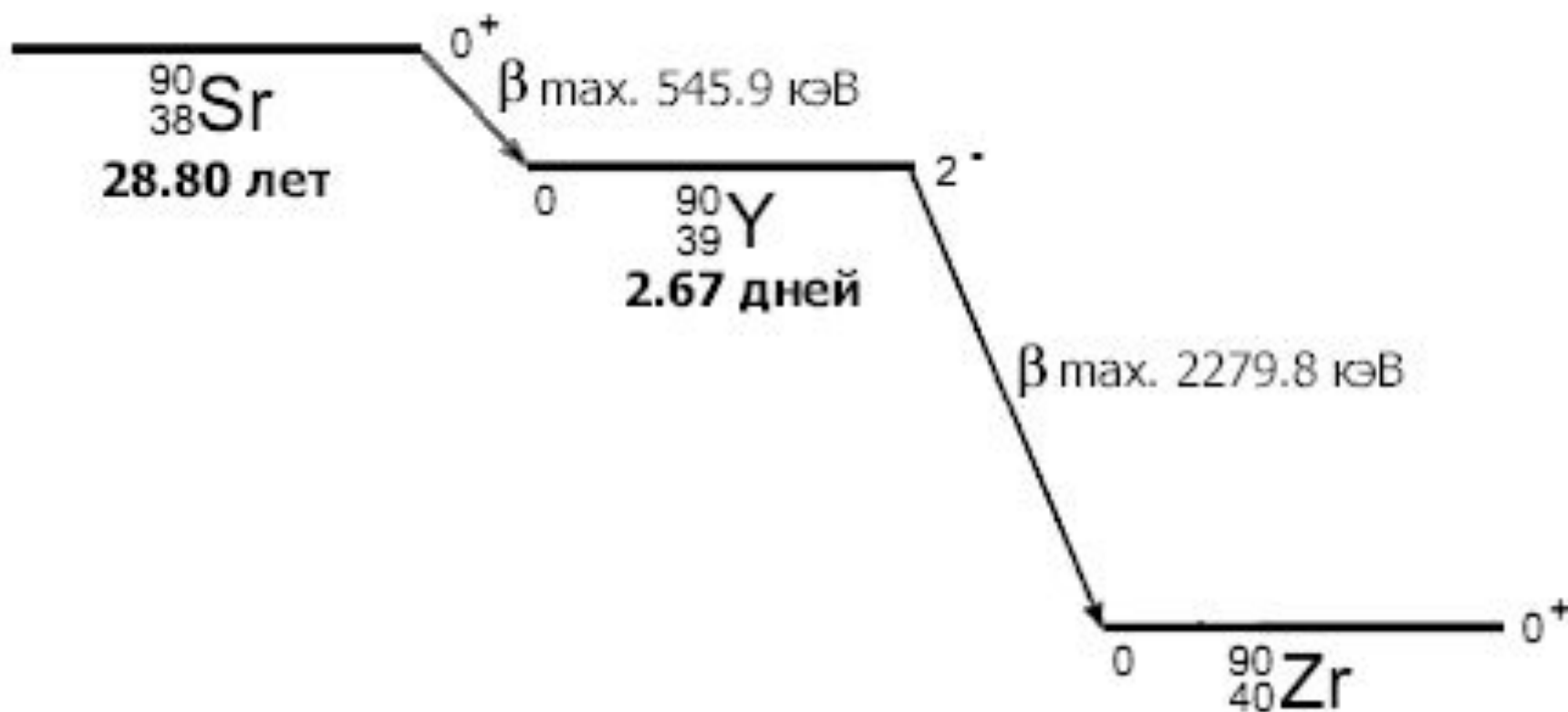




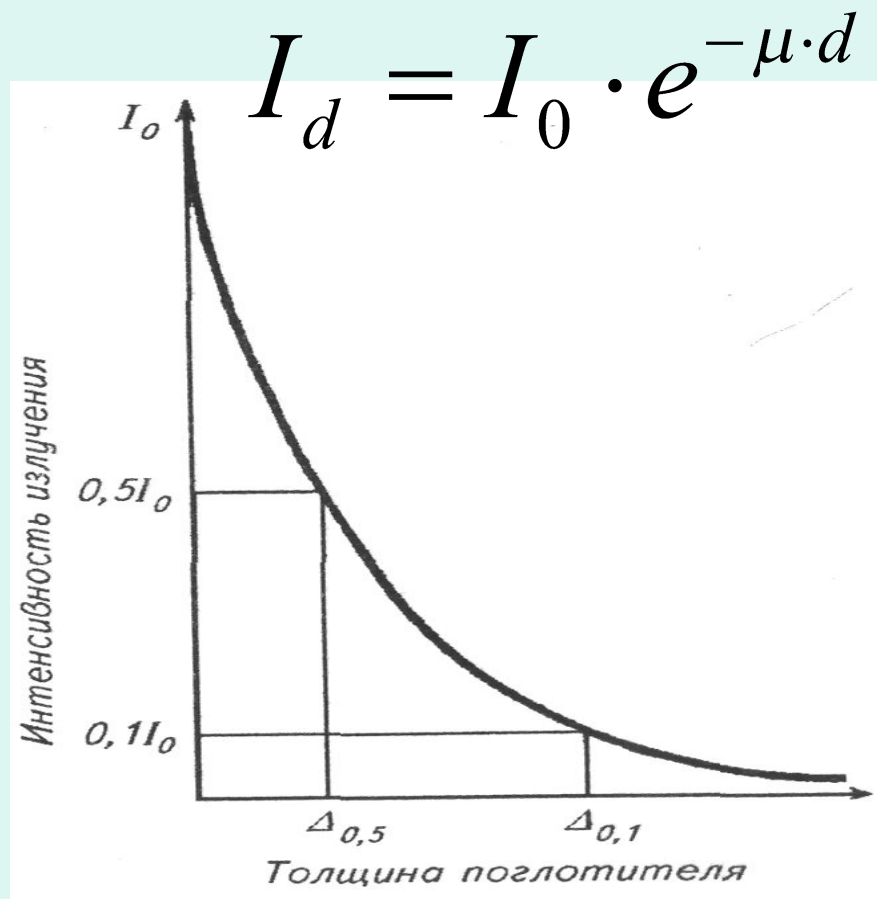
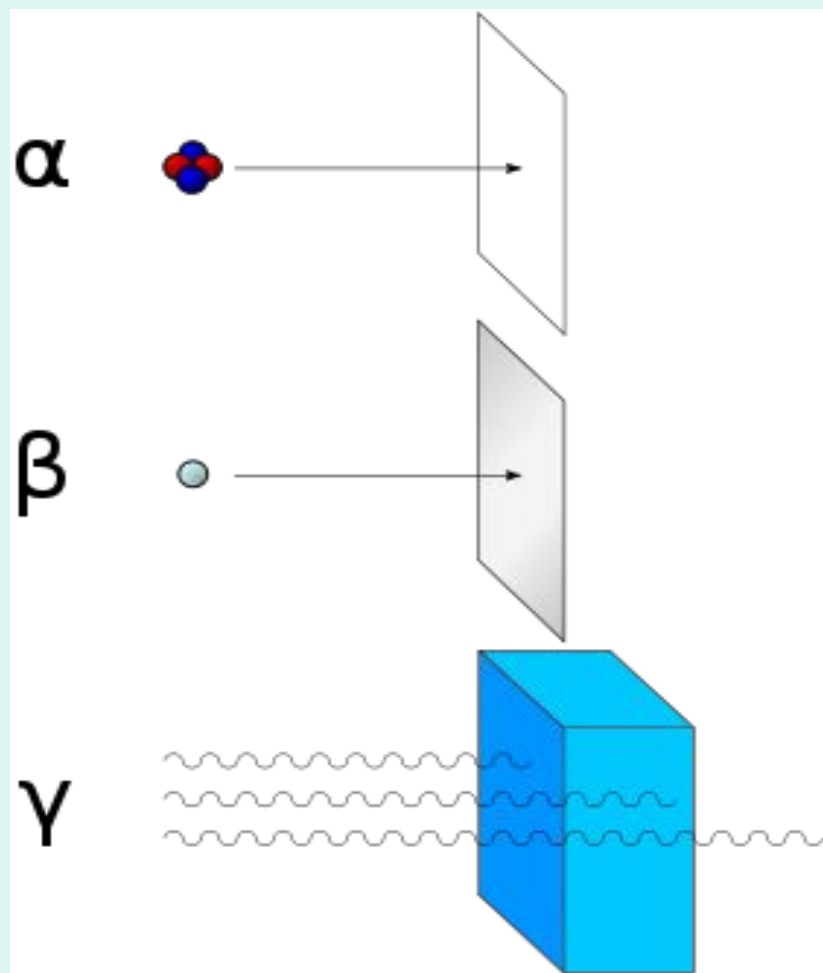
# Распад радионуклида Cs-137



# Распад радионуклида Sr-90



# Взаимодействие ИИ с веществом



**ОСЛАБЛЕНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ГАММА-ИЗЛУЧЕНИЯ В ВЕЩЕСТВЕ**

# Взаимодействие ИИ с веществом

$$I_d = I_0 \cdot e^{-\mu \cdot d}$$

$$\frac{I_0}{I_d} = K,$$

кратность ослабления

$I_0$  - интенсивность  $\gamma$ -излучения, измеренная при отсутствии защитного экрана, квант/с;

$I_d$  - интенсивность  $\gamma$ -излучения при наличии защитного экрана, толщиной **d** см;

$\mu$  – линейный коэффициент ослабления  $\gamma$ -излучения в веществе,  $\text{см}^{-1}$ .

# **Взаимодействие $\gamma$ -излучения с веществом**

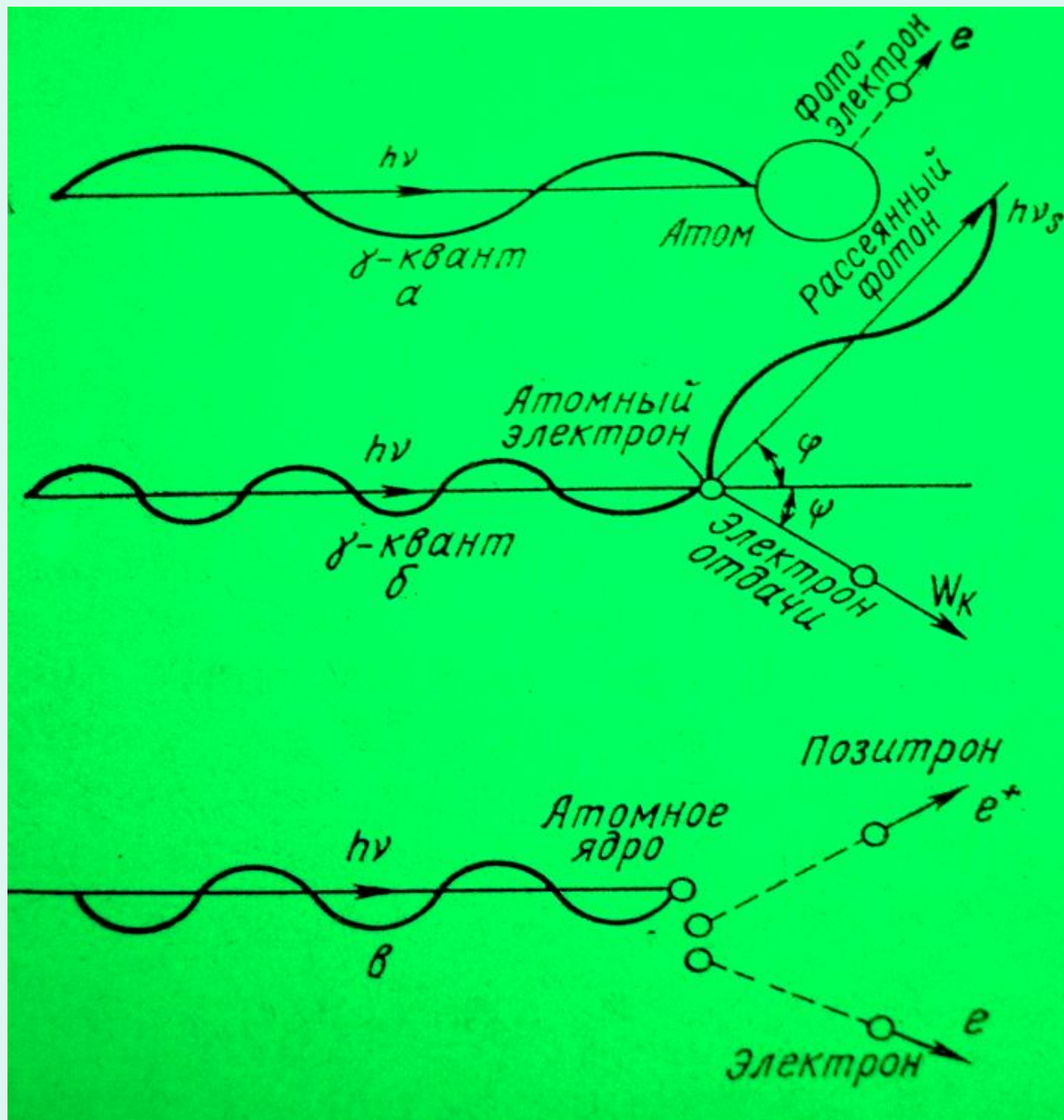
**Гамма-кванты по пути перемещения передают часть энергии заряженным частицам, которые при своём движении ионизируют вещество.**

**Теряют энергию за счёт процессов фотоэффекта, комптоновского рассеяния и образования электрон-позитронных пар.**



- *Фотоэлектрическое поглощение:* падающий гамма-квант поглощается атомом, при этом испускается один из электронов оболочки.
- *Комптоновское рассеяние:* при упругом столкновении с электроном фотон передаёт ему часть энергии и импульса.
- *Образование пар:* процесс превращения гамма-кванта в две частицы – электрон и позитрон

$$\gamma = e^{-} + e^{+}$$



# **Взаимодействие $\gamma$ -излучения с веществом.**

## **Фотоэффект**

При фотоэффекте гамма-квант (он же - фотон), попадая в вещество, поглощается и передает всю свою энергию одному из атомных электронов и выбивает его из атома.

При этом кинетическая энергия вылетевшего электрона равна энергии гамма-кванта за вычетом энергии связи электрона в ядре.

После выбивания электрона свободный уровень заполняется электроном с другой оболочки ядра и акт фотопоглощения (поглощения “попавшего” в вещество фотона) завершается испусканием вторичного низкоэнергетического гамма-излучения - флуоресценцией.

Как правило, электроны выбиваются с ближайшей к ядру К-оболочки.

Если энергия гамма-кванта меньше энергии связи К-электрона, то выбиваются электроны с других оболочек.

Фотоэффект наиболее вероятен при взаимодействии гамма-квантов небольшой энергии (до 200 кэВ) с веществами с большим  $Z$  (атомным номером).

# **Взаимодействие $\gamma$ -излучения с веществом.**

## **Эффект комптоновского рассеяния (Комтон-эффект)**

**При комpton-эффекте, в отличие от фотоэффекта гамма-квант не поглощается полностью в результате одного акта взаимодействия, а теряет свою энергию постепенно, путем упругого рассеяния на атомных электронах.**

**Упругое рассеяние - это когда сумма кинетических энергий частиц до взаимодействия и после него остается постоянной. Итак, при упругом рассеянии на атомном электроны гамма-квант передает ему часть своей энергии и изменяет направление своего движения (по аналогии с движением бильiardных шаров). И так далее, взаимодействуя с другими электронами, пока не потеряет энергию полностью.**

**Комптон-эффект преобладает над другими процессами взаимодействия гамма-квантов:**

**от 0,5 до 5 МэВ в свинце, от 0,1 до 10 МэВ в железе, от 0,05 до 15 МэВ в алюминии и от 0,02 до 23 МэВ в воздухе.**

# **Взаимодействие $\gamma$ -излучения с веществом.**

## **Эффект образования пар**

**В поле ядра или атомного электрона гамма-квант может превратиться в электронно-позитронную пару, которой передается вся его энергия.**

**Суммарная кинетическая энергия электрона и позитрона равна энергии гамма-кванта за вычетом энергии покоя образованной пары -  $2 m_0 c^2 = 1,022 \text{ МэВ}$**

**$m$ -масса электрона,  $c$  - скорость света в вакууме**

**Поэтому эффект образования пар имеет энергетический порог - 1,022 МэВ. Образованный свободный позитрон нестабилен в присутствии электронов среды и быстро рекомбинирует с одним из них. При этом выделяется энергия 1,022 МэВ в виде двух аннигиляционных гамма-квантов (энергия каждого из них - 0,511 МэВ).**

**Аннигиляционное излучение имеет наибольшее значение для гамма-квантов с энергией более 6 МэВ и сред с атомным номером более 25.**

# Нейтронное излучение

Нейтрон не имеет электрического заряда, в свободном состоянии неустойчивая частица и претерпевает превращение. Масса покоя -  $1,6748 \cdot 10^{-27}$  кг.

n, 0 - заряд нейтрона, 1 - масса

Излучение, обусловленное крупными незаряженными частицами, которые сами по себе не вызывают ионизации, но, “выбивая” электроны из их стабильных состояний, создают наведенную радиоактивность в материалах или тканях, сквозь которые они проходят.



# Нейтронное излучение

Нейтронное излучение представляет собой поток ядерных частиц, не имеющих электрического заряда. Масса нейтрона приблизительно в 4 раза меньше массы альфа-частиц.

В зависимости от энергии различают:

Медленные  
нейтроны  
(с энергией  
менее 1 КэВ)

Промежуточные  
нейтроны  
(с энергией  
от 1 до 500 КэВ)

Быстрые  
нейтроны  
(с энергией от  
500 КэВ до 20 МэВ)

Среди медленных нейтронов различают тепловые нейтроны с энергией менее 0,2 эВ. Тепловые нейтроны находятся по существу в состоянии термодинамического равновесия с тепловым движением атомов среды.

# Нейтронное излучение

- Проникающая способность нейтронов зависит от их энергии, но она существенно выше, чем у альфа- или бета-частиц.
- Длина пробега нейтронов промежуточных энергий составляет около 15 м в воздушной среде и 3 см в биологической ткани, аналогичные показатели для быстрых нейтронов – соответственно 120 м и 10 см.
- Нейтронное излучение обладает высокой проникающей способностью и представляет для человека наибольшую опасность из всех видов корпускулярного излучения.



# Взаимодействие нейтронов с веществом

Не имея электрического заряда, нейтрон не взаимодействует с электрическим полем заряженных частиц и ядер атомов и может пройти значительное расстояние в поглощающем веществе до столкновения с ядром, т.е. при прохождении через поглощающее вещество нейтроны взаимодействуют только с ядрами атомов.

В поле ядра атома нейтроны в зависимости от их энергии могут испытывать различные типы взаимодействия:



Упругое  
и неупругое  
рассеяние

Радиационный  
захват с  
испусканием  
фотона

Захват с  
испусканием  
заряженной  
частицы

Деление  
ядер

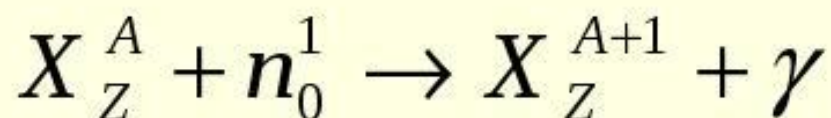


# Взаимодействие нейтронов с веществом

- Упругое рассеяние. В этом виде взаимодействия нейтрон рассеивается ядром, изменяет направление движения, теряя часть своей энергии.
- Упругое рассеяние играет большую роль в ослаблении потока быстрых нейтронов. Наиболее эффективное ослабление на единицу массы наблюдается в водородосодержащих средах. Так как массы протона и нейтрона практически одинаковы, то при столкновении с ядром водорода, нейтрон в среднем теряет половину своей энергии. Поэтому в качестве замедлителей нейтронов используют водородосодержащие или легкие вещества – обычную или тяжелую воду, парафин, бериллий, углерод.
- В процессе упругого рассеяния энергия нейтрона постепенно уменьшается и приближается к энергии теплового движения атомов и молекул среды, равной  $\sim 0,025$  эВ, т. е. такие нейтроны становятся тепловыми.

# Взаимодействие нейтронов с веществом

➤ Тепловой нейтрон будет блуждать в веществе до тех пор, пока не будет захвачен одним из ядер атомов поглощающей среды, в результате чего произойдет реакция:

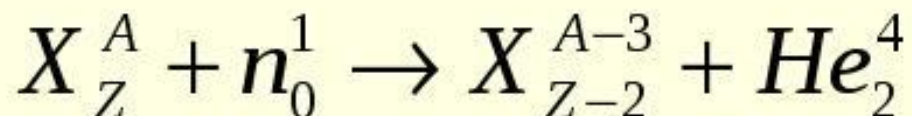


т. е. образуется изотоп исходного элемента, а избыточная энергия, полученная ядром вследствие такой перестройки, испускается в виде  $\gamma$ -кванта. Этот тип взаимодействия называется радиационным захватом с испусканием фотона.



# Взаимодействие нейтронов с веществом

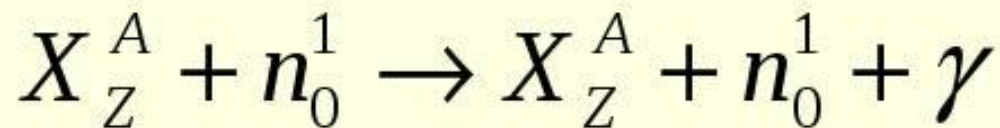
- Не только тепловые, но и быстрые нейтроны могут быть захвачены ядрами атомов. В результате произойдет ядерная реакция с вылетом  $\alpha$ -частицы, протона и т. д. и образуется ядро другого элемента:



Этот тип взаимодействия называется радиационным захватом с испусканием заряженной частицы.

# Взаимодействие нейтронов с веществом

➤ Неупругое рассеяние. При захвате нейтрона ядром может произойти ядерная реакция, в процессе которой образуется ядро исходного нуклида, но при этом энергия испущенного нейтрона меньше энергии захваченного:



В этом случае произойдет процесс неупругого рассеяния, поскольку суммарная энергия системы нейтрон + ядро до взаимодействия не равна энергии системы после взаимодействия.



# Взаимодействие нейтронов с веществом

- Деление ядер. При захвате нейтрона некоторые тяжелые ядра способны делиться. В основном это ядра урана, тория, плутония. В процессе деления не только высвобождается более одного нейтрона, но и выделяется энергия около 200 МэВ на один акт деления. Большинство продуктов деления радиоактивны с различными периодами полураспада. Благодаря процессу деления ядер под воздействием нейтронов существует возможность использования ядерной энергии.
- При всех процессах взаимодействия нейтронов с веществом образуются либо заряженные частицы – ядра отдачи,  $\alpha$ -частицы, протоны и т. д., непосредственно производящие ионизацию, либо  $\gamma$ -излучение, которое, производит ионизацию в результате вторичных процессов.

**Спасибо за внимание!**



# ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

| Периоды                             | Ряды | Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В |   |                           |   |                               |   |                                |   |                               |   |                              |   |                               |   |                            |   | Электронная формула          |    |                            |                       |    |
|-------------------------------------|------|-------------------------------|---|---------------------------|---|-------------------------------|---|--------------------------------|---|-------------------------------|---|------------------------------|---|-------------------------------|---|----------------------------|---|------------------------------|----|----------------------------|-----------------------|----|
|                                     |      | I                             |   | II                        |   | III                           |   | IV                             |   | V                             |   | VI                           |   | VII                           |   | VIII                       |   |                              |    |                            |                       |    |
|                                     |      | а                             | б | а                         | б | а                             | б | а                              | б | а                             | б | а                            | б | а                             | б | а                          | б |                              |    |                            |                       |    |
| 1                                   | 1    | Н<br>водород<br>1,008         |   |                           |   |                               |   |                                |   |                               |   |                              |   |                               |   |                            |   | He<br>гелий<br>4,003         | 2  |                            |                       |    |
| 2                                   | 2    | Li<br>литий<br>6,941          |   | Be<br>бериллий<br>9,0122  |   | B<br>бор<br>10,811            |   | C<br>углерод<br>12,011         |   | N<br>азот<br>14,007           |   | O<br>кислород<br>15,999      |   | F<br>фтор<br>18,998           |   |                            |   | Ne<br>неон<br>20,179         | 10 |                            |                       |    |
| 3                                   | 3    | Na<br>натрий<br>22,99         |   | Mg<br>магний<br>24,312    |   | Al<br>алюминий<br>26,982      |   | Si<br>кремний<br>28,086        |   | P<br>фосфор<br>30,974         |   | S<br>сера<br>32,064          |   | Cl<br>хлор<br>35,453          |   |                            |   | Ar<br>аргон<br>39,948        | 18 |                            |                       |    |
| 4                                   | 4    | K<br>калий<br>39,102          |   | Ca<br>кальций<br>40,08    |   | 21 Sc<br>скандий<br>44,956    |   | 22 Ti<br>титан<br>47,867       |   | 23 V<br>ванадий<br>50,941     |   | 24 Cr<br>хром<br>51,996      |   | 25 Mn<br>марганец<br>54,938   |   | 26 Fe<br>железо<br>55,845  |   | 27 Co<br>кобальт<br>58,933   |    | 28 Ni<br>никель<br>58,7    |                       |    |
|                                     | 5    | 29 Cu<br>медь<br>63,546       |   | 30 Zn<br>цинк<br>65,37    |   | Ga<br>галлий<br>69,72         |   | Ge<br>германий<br>72,59        |   | As<br>мышьяк<br>74,922        |   | Se<br>селен<br>78,96         |   | Br<br>бром<br>79,904          |   |                            |   |                              |    | Kr<br>криптон<br>83,8      | 36                    |    |
| 5                                   | 6    | Rb<br>рубидий<br>85,468       |   | Sr<br>стронций<br>87,62   |   | 39 Y<br>иттрий<br>88,906      |   | 40 Zr<br>цирконий<br>91,22     |   | 41 Nb<br>ниобий<br>92,906     |   | 42 Mo<br>молибден<br>95,94   |   | 43 Tc<br>технеций<br>[99]     |   | 44 Ru<br>рутений<br>101,07 |   | 45 Rh<br>родий<br>102,906    |    | 46 Pd<br>палладий<br>106,4 |                       |    |
|                                     | 7    | 47 Ag<br>серебро<br>107,868   |   | 48 Cd<br>кадмий<br>112,41 |   | In<br>индий<br>114,82         |   | Sn<br>олово<br>118,69          |   | 51 Sb<br>сурьма<br>121,75     |   | 52 Te<br>теллур<br>127,6     |   | 53 I<br>йод<br>126,905        |   |                            |   |                              |    |                            | Xe<br>ксенон<br>131,3 | 54 |
| 6                                   | 8    | Cs<br>цезий<br>132,905        |   | Ba<br>барий<br>137,34     |   | 57-71<br>лантаноиды           |   | 72 Hf<br>гафний<br>178,49      |   | 73 Ta<br>тантал<br>180,948    |   | 74 W<br>вольфрам<br>183,85   |   | 75 Re<br>рений<br>186,207     |   | 76 Os<br>осмий<br>190,2    |   | 77 Ir<br>иридий<br>192,22    |    | 78 Pt<br>платина<br>195,09 |                       |    |
|                                     | 9    | 79 Au<br>золото<br>196,967    |   | 80 Hg<br>ртуть<br>200,59  |   | Tl<br>таллий<br>204,37        |   | Pb<br>свинец<br>207,19         |   | Bi<br>висмут<br>208,98        |   | Po<br>полоний<br>[210]       |   | At<br>астат<br>[210]          |   |                            |   |                              |    |                            | Rn<br>радон<br>[222]  | 86 |
| 7                                   | 10   | Fr<br>франций<br>[223]        |   | Ra<br>радий<br>[226]      |   | 89-103<br>актиноиды           |   | 104 Rf<br>резерфордий<br>[261] |   | 105 Db<br>дубний<br>[262]     |   | 106 Sg<br>сигборгий<br>[263] |   | 107 Bh<br>борий<br>[262]      |   | 108 Hn<br>ханей<br>[265]   |   | 109 Mt<br>мейтнерий<br>[266] |    | 110                        |                       |    |
| ВЫШНИЕ<br>ОКСИДЫ                    |      | R <sub>2</sub> O              |   | RO                        |   | R <sub>2</sub> O <sub>3</sub> |   | RO <sub>2</sub>                |   | R <sub>2</sub> O <sub>5</sub> |   | RO <sub>3</sub>              |   | R <sub>2</sub> O <sub>7</sub> |   | RO <sub>4</sub>            |   |                              |    |                            |                       |    |
| ЛЕТУЧИЕ<br>ВОДОРОДНЫЕ<br>СОЕДИНЕНИЯ |      |                               |   |                           |   |                               |   | RH <sub>4</sub>                |   | RH <sub>3</sub>               |   | H <sub>2</sub> R             |   | HR                            |   |                            |   |                              |    |                            |                       |    |



Д.И. Менделеев  
1834-1907



- s-элементы
- p-элементы
- d-элементы
- f-элементы

## ЛАНТАНОИДЫ

|                            |                          |                               |                           |                            |                           |                            |                              |                           |                             |                            |                          |                           |                             |                            |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|
| 57 La<br>лантан<br>138,906 | 58 Ce<br>церий<br>140,12 | 59 Pr<br>празеодим<br>140,908 | 60 Nd<br>неодим<br>144,24 | 61 Pm<br>прометей<br>[145] | 62 Sm<br>самарий<br>150,4 | 63 Eu<br>европий<br>151,96 | 64 Gd<br>гадолиний<br>157,25 | 65 Tb<br>тербий<br>158,93 | 66 Dy<br>диспрозий<br>162,5 | 67 Ho<br>гольмий<br>164,93 | 68 Er<br>эрбий<br>167,26 | 69 Tm<br>тулий<br>168,934 | 70 Yb<br>иттербий<br>173,04 | 71 Lu<br>лютеций<br>174,97 |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------------|

## АКТИНОИДЫ

|                           |                           |                               |                        |                            |                            |                           |                         |                           |                             |                                |                           |                                |                            |                              |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|
| 89 Ac<br>актиний<br>[227] | 90 Th<br>торий<br>232,038 | 91 Pa<br>протактиний<br>[231] | 92 U<br>уран<br>238,03 | 93 Np<br>нептуний<br>[237] | 94 Pu<br>плутоний<br>[244] | 95 Am<br>амерций<br>[243] | 96 Cm<br>курий<br>[247] | 97 Bk<br>берклий<br>[247] | 98 Cf<br>кальфурий<br>[251] | 99 Es<br>эйзенштейний<br>[254] | 100 Fm<br>фермий<br>[257] | 101 Md<br>менделеевий<br>[258] | 102 No<br>нобелий<br>[259] | 103 Lr<br>лоуренсий<br>[260] |
|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|--------------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------------------------|------------------------------|



Современная периодическая система элементов Д.И.Менделеева

[illegible]