

# Дозиметрия ионизирующих излучений

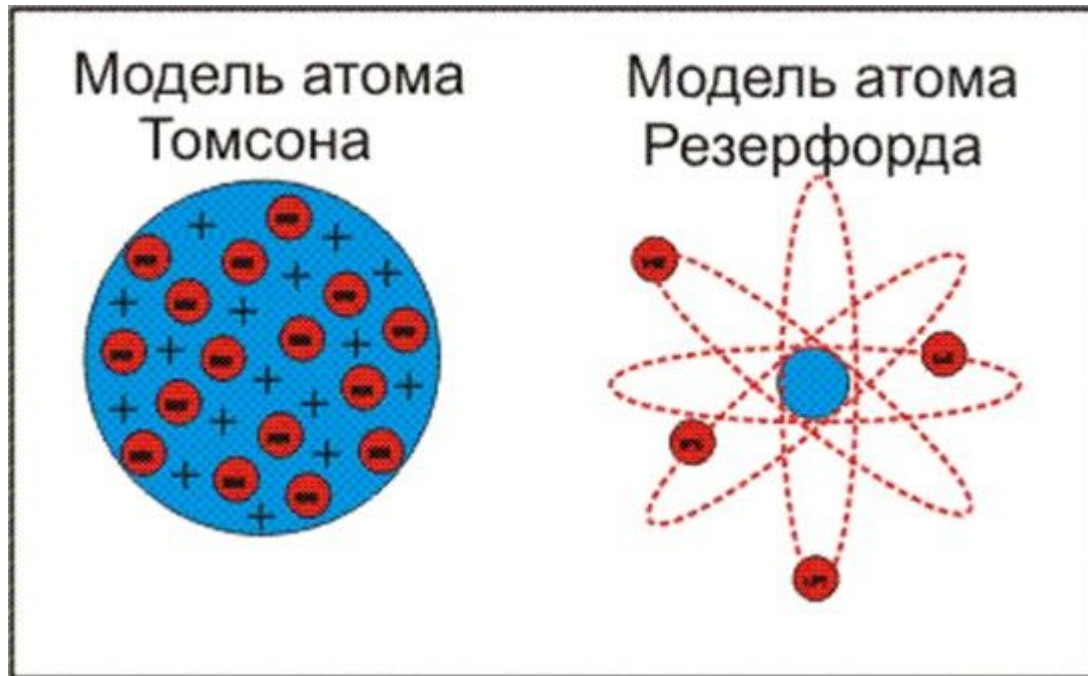
Лекция 1

***Ионизирующее излучение*** – любое излучение, взаимодействие которого со средой приводит к образованию ионов (электрических зарядов разных знаков) из электрически нейтральных атомов и молекул.

***Дозиметрия*** — это измерение **дозы** или ее мощности.

***Доза ионизирующего излучения*** — количество энергии этого излучения, поглощенной единицей массы любой облучаемой среды.

# 1. *Строение атома*



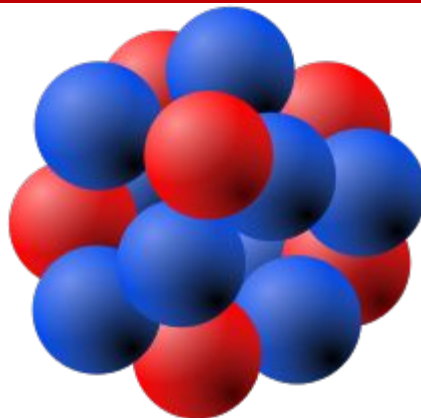
# Элементарные частицы

название	символ	заряд	масса
протон	$p$	$+1$	$1$
нейтрон	$n^0$	$0$	$1$
электрон	$e, \beta$	$-1$	$0$
позитрон	$e^+, \beta^+$	$+1$	$0$
нейтрино	$\nu$	$0$	$0$
антинейтрино	$\bar{\nu}$	$0$	$0$
фотон	$\gamma$	$0$	$0$
альфа-частица	$\alpha$	$+2$	$4$

# Строение атома

- Положительно заряженное ядро, где сосредоточена практически вся масса атома;
- Отрицательно заряженные электроны, образующие электронные оболочки атома;
- Линейные размеры ядра примерно в 10-100 тыс. раз меньше линейных размеров атома (поперечный размер атома равен примерно  $10^{-8}$  см, а ядра  $10^{-12}$  –  $10^{-13}$  см)

- Ядро атома (**нуклон**) из элементарных частиц: протонов (**p**) и нейтронов (**n**)
- Протон имеет положительный заряд, равный по абсолютной величине заряду электрона  $\bar{e} = 1,6 \times 10^{-19}$  Кл
- Нейтрон не имеет электрического заряда. Массы протона и нейтрона одинаковы и приблизительно в 1840 раз больше массы электрона



# Характеристики атомного ядра:



1. Массовое число  $A$  - суммарное число нейтронов и протонов в ядре данного атома;
2. Атомный номер элемента  $Z$  в Периодической системе химических элементов Д.И. Менделеева – число протонов, входящих в состав ядра. Другое название  $Z$  – «зарядовое число»
3. Число нейтронов  $N$  в атоме равно  $A-Z$

$$N=A-Z$$

# Периодическая таблица Д. И. Менделеева

Период	Ряд	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В													
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII						
1	1	(H)							H <sup>1</sup> Водород 1,00797	He <sup>2</sup> Гелий 4,0026	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;">                     Обозначение элемента <b>Li</b> Литий                 </div> <div style="text-align: center;">                     Атомный номер <b>3</b> </div> </div> <div style="text-align: center; margin-top: 10px;">                     Относительная атомная масса <b>6,939</b> </div>				
2	2	Li <sup>3</sup> Литий 6,939	Be <sup>4</sup> Бериллий 9,0122	B <sup>5</sup> Бор 10,811	C <sup>6</sup> Углерод 12,01115	N <sup>7</sup> Азот 14,0067	O <sup>8</sup> Кислород 15,9994	F <sup>9</sup> Фтор 18,9984	Ne <sup>10</sup> Неон 20,179						
3	3	Na <sup>11</sup> Натрий 22,9898	Mg <sup>12</sup> Магний 24,305	Al <sup>13</sup> Алюминий 26,9815	Si <sup>14</sup> Кремний 28,086	P <sup>15</sup> Фосфор 30,9738	S <sup>16</sup> Сера 32,064	Cl <sup>17</sup> Хлор 35,453	Ar <sup>18</sup> Аргон 39,948						
4	4	K <sup>19</sup> Калий 39,102	Ca <sup>20</sup> Кальций 40,08	21 44,956 Sc Скандий	22 47,90 Ti Титан	23 50,942 V Ванадий	24 51,996 Cr Хром	25 54,9380 Mn Марганец	26 55,847 Fe Железо	27 58,9330 Co Кобальт	28 58,71 Ni Никель				
	5	29 63,546 Cu Медь	30 65,37 Zn Цинк	31 69,72 Ga Галлий	32 72,59 Ge Германий	33 74,9216 As Мышьяк	34 78,96 Se Селен	35 79,904 Br Бром	36 83,80 Kr Криптон						
5	6	Rb <sup>37</sup> Рубидий 85,47	Sr <sup>38</sup> Стронций 87,62	39 88,905 Y Иттрий	40 91,22 Zr Цирконий	41 92,906 Nb Ниобий	42 95,94 Mo Молибден	43 [99] Tc Технеций	44 101,07 Ru Рутений	45 102,905 Rh Родий	46 106,4 Pd Палладий				
	7	47 107,868 Ag Серебро	48 112,40 Cd Кадмий	49 114,82 In Индий	50 118,69 Sn Олово	51 121,75 Sb Сурьма	52 127,60 Te Теллур	53 126,9044 I Иод	54 131,30 Xe Ксенон						
6	8	Cs <sup>55</sup> Цезий 132,905	Ba <sup>56</sup> Барий 137,34	57 138,91 La* Лантан	72 178,49 Hf Гафний	73 180,948 Ta Тантал	74 183,85 W Вольфрам	75 186,2 Re Рений	76 190,2 Os Осмий	77 192,2 Ir Иридий	78 195,09 Pt Платина				
	9	79 196,967 Au Золото	80 200,59 Hg Ртуть	81 204,37 Tl Таллий	82 207,19 Pb Свинец	83 208,980 Bi Висмут	84 [210]* Po Полоний	85 [210] At Астат	86 [222] Rn Радон						
7	10	Fr <sup>87</sup> Франций [223]	Ra <sup>88</sup> Радий [226]	89 [227] Ac** Актиний	104 [261] Rf Резерфордий	105 [262] Db Дубний	106 [263] Sg Сиборгий	107 [262] Bh Борий	108 [265] Hs Хассий	109 [266] Mt Майтнерий	110 [271] Ds Дармштадтий				
	11	111 [272] Rg Рентгений	112 [285] Cn Коперниций	Nh Нихоний 113 [286]	Fl Флеровий 114	Mc Московский 115	Lv Ливерморий 116	Ts Теннессин 117	Og Оганесон 118 [294]						

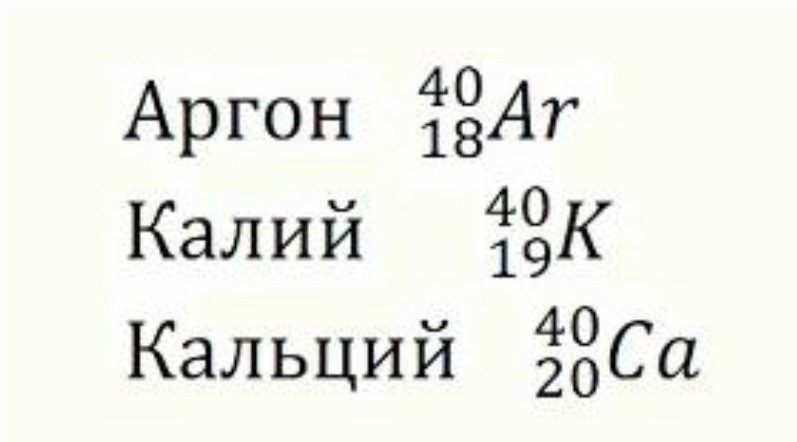
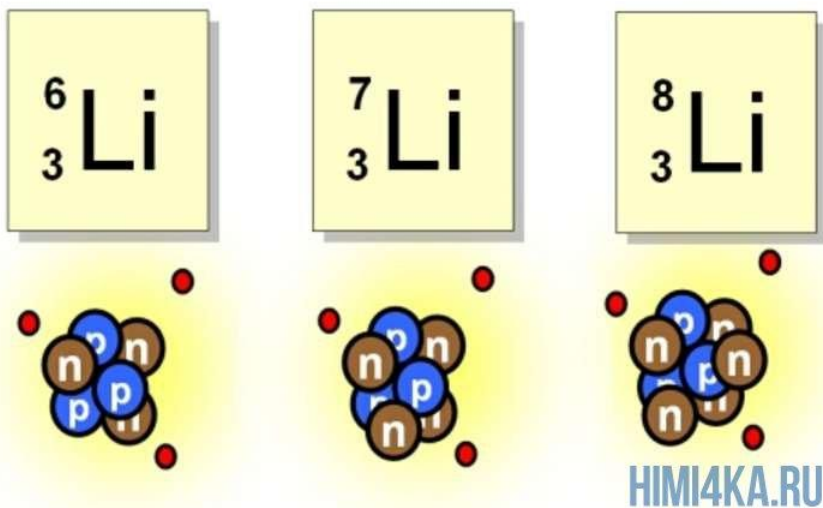
Ланты коды*	58 140,12 Ce Церий	59 140,907 Pr Празеодим	60 144,24 Nd Неодим	61 [147]* Pm Прометий	62 150,35 Sm Самарий	63 151,96 Eu Европий	64 157,25 Gd Гадолиний	65 158,924 Tb Тербий	66 162,50 Dy Диспрозий	67 164,930 Ho Гольмий	68 167,26 Er Эрбий	69 168,934 Tm Тулий	70 173,04 Yb Иттербий	71 174,97 Lu Лютеций
Акти коды**	90 232,038 Th Торий	91 [231] Pa Протактиний	92 238,03 U Уран	93 [237] Np Нептуний	94 [244] Pu Плутоний	95 [243] Am Америций	96 [247] Cm Кюрий	97 [247] Bk Берклий	98 [252]* Cf Калифорний	99 [254] Es Эйнштейний	100 [257] Fm Фермий	101 [257] Md Менделеев	102 [255] No Нобелий	103 [256] Lr Лоуренсий



Ядра с одинаковыми зарядовыми числами **Z**, но различными массовыми **A** называются изотопами.

В природе встречается около 300 изотопов и еще около 1000 изотопов получены искусственным путем.

Ядра с одинаковыми **A**, но разными **Z** называются – изобарами.

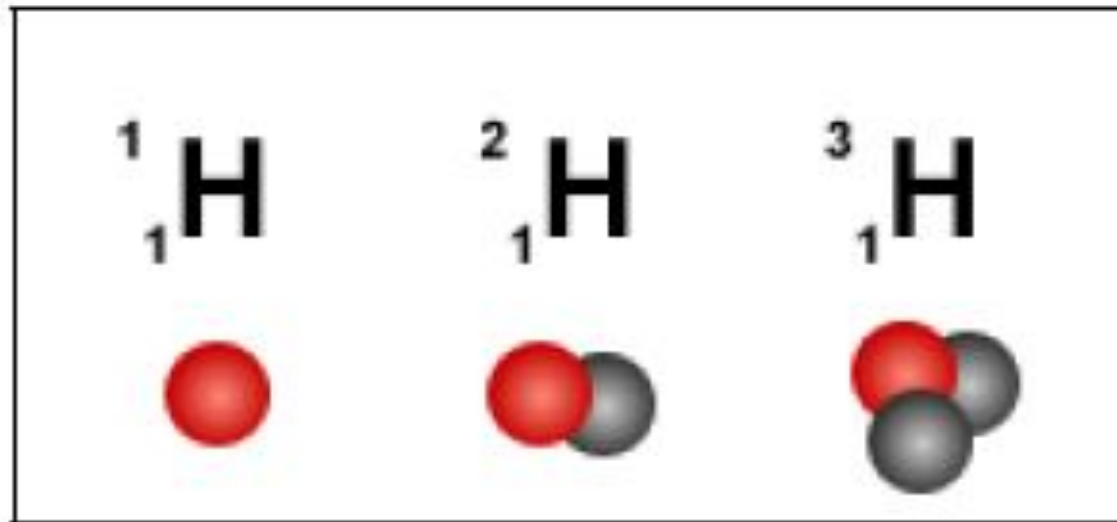


# Изотопы водорода

${}^1_1\text{H}$  ( $Z=1, N=0$ ) – обычный водород, или протий;

${}^2_1\text{H}$  ( $Z=1, N=1$ ) – тяжёлый водород, или дейтерий;

${}^3_1\text{H}$  ( $Z=1, N=2$ ) – радиоактивный водород, тритий.



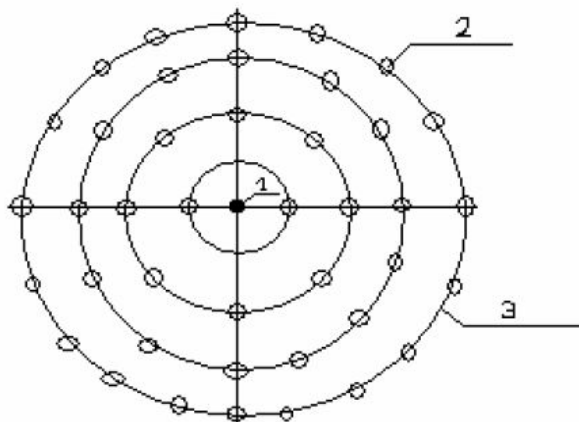
# ***Строение электронных оболочек атома***

**В одном атоме не может быть двух электронов, находящихся в одном и том же энергетическом состоянии, которое определяется четырьмя параметрами:**

- 1) энергией связи электрона в атоме;
- 2) направлением вращения электрона вокруг своей оси;
- 3) формой орбиты;
- 4) положением орбиты в пространстве.

- На ближайшей к ядру **K**-оболочке может располагаться не более 2 электронов,
- На следующей, **L**-оболочке – 8 электронов,
- На **M**-оболочке – 18,
- На **N**-оболочке – 32 электрона и т.п.

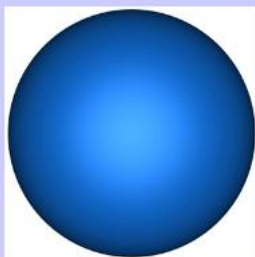
С увеличением **Z** идет последовательное заполнение электронных оболочек.



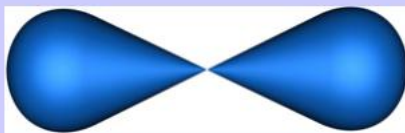
- 1) Ядро
- 2) Электроны
- 3) Электронные оболочки или орбиты

**Орбиталь** - поверхность пространства вокруг атомного ядра, в которой могут двигаться электроны. Есть большая вероятность присутствия электрона в пределах этой поверхности.

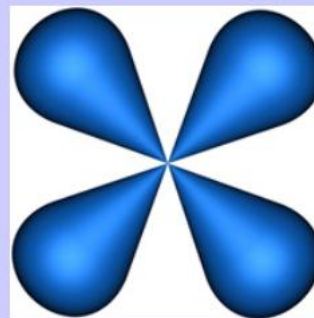
## Формы атомных орбиталей



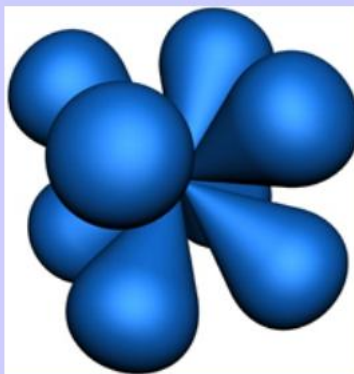
s -  
орбиталь



p -  
орбиталь



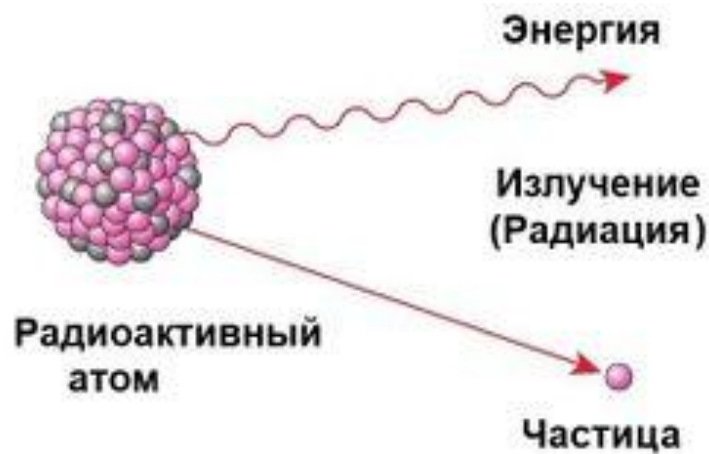
d -  
орбиталь



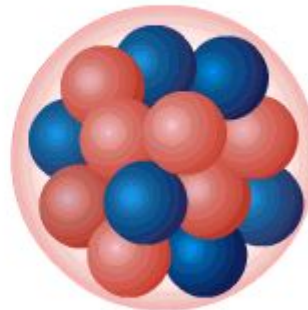
f -  
орбиталь



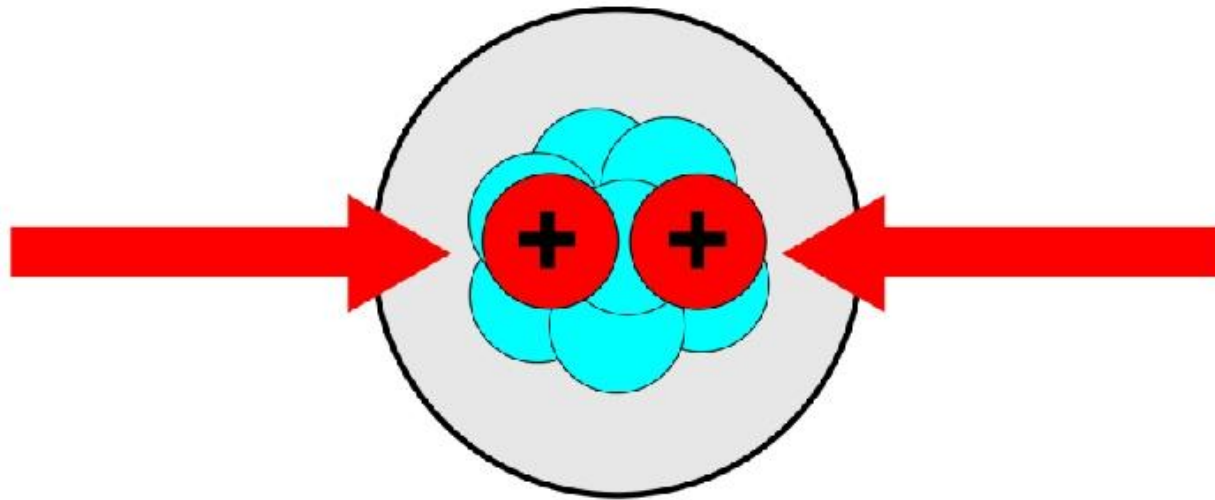
## ***2. Явление радиоактивности***



- Устойчивость атомного ядра обусловлена действующими между нуклонами **ядерными силами притяжения**
- На расстояниях порядка размера ядра ( $10^{-13}$ ) они очень высоки и **во много раз превосходят кулоновские силы отталкивания, действующие между заряженными частицами, входящие в состав ядра**



# Ядерные силы



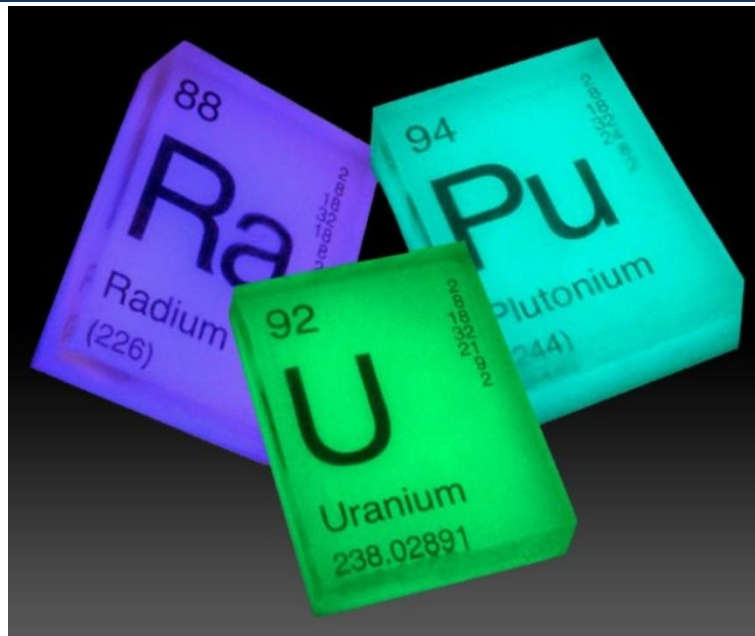
Ядерные силы - силы взаимодействия между нуклонами (протонами и нейтронами).

## СВОЙСТВА

1. Являются только силами притяжения.
2. Во много раз больше кулоновских сил.
3. Не зависят от наличия заряда.
4. Короткодействующие ( $r = 2,2 \cdot 10^{-15}$  м).



- С увеличением с увеличением суммарного заряда ядра ( $Z$ ) уменьшается сила ядерных притяжений и увеличивается эффект кулоновских сил отталкивания.
- У элементов с  $Z > 83$  ( $\text{Bi}$ ) ядерные силы притяжения уже не способны обеспечить полную устойчивость ядер.



# Радиоактивность

- Процесс спонтанного перехода атомных ядер из менее устойчивого состояния в более устойчивое
- Самопроизвольное превращение неустойчивых изотопов одного химического элемента в изотоп другого элемента, сопровождающееся испусканием заряженных частиц или фотонов (т.е.  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -излучением)

## 2 вида радиоактивности :

- **естественная**, наблюдающаяся у нестабильных изотопов атомов, существующих в природе
- **искусственная**, наблюдающуюся у изотопов, образующихся в результате ядерных реакций

Процесс естественного, самопроизвольно происходящего радиоактивного превращения: **радиоактивный распад** или **распадом**. Ядра, испытывающие распад, называются **радионуклидами**

1. Исходное атомное ядро: **материнское**
2. Ядро, образовавшееся в результате распада: **дочернее**

Ядра, обладающие свойством самопроизвольно распадаться, называются **радиоактивными**, а ядра, не имеющие таких свойств, – **стабильными**.

**Нуклиды** – атомы, характеризующиеся определенными значениями ***A*** и ***Z***.

Радиоактивные нуклиды называются **радионуклидами**.

Из **более чем 1700 известных** в настоящее время нуклидов только 200 стабильны. Большинство радионуклидов получено искусственно.



## 2 вида излучений:

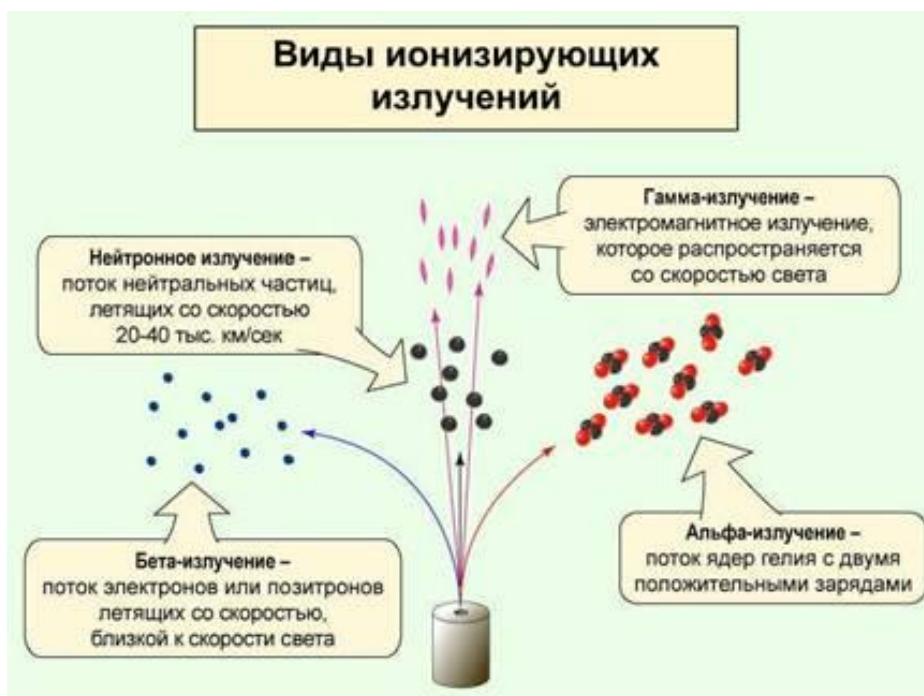
- 1) Волновое (квантовое)
- 2) Корпускулярное

### Виды излучений

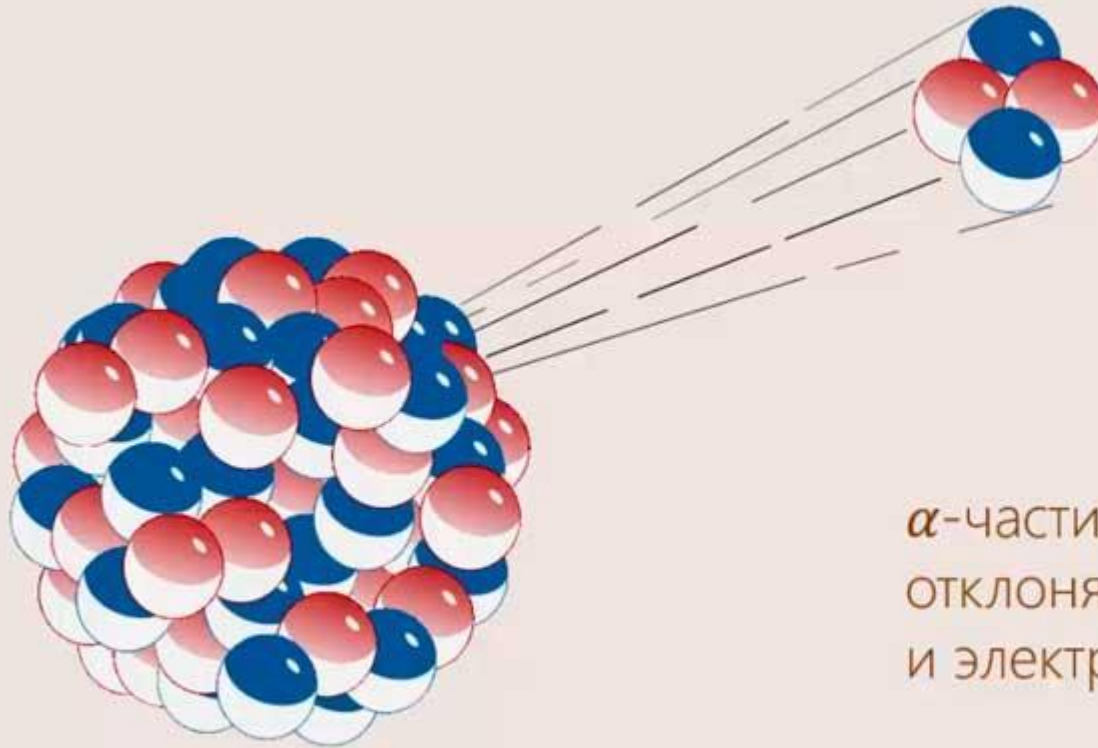


# Корпускулярные излучения:

- излучения различных заряженных частиц (альфа-, бета-частицы, протоны и др.)
- нейтральных – нейтроны, нейтрино.



# $\alpha$ (альфа) -излучение

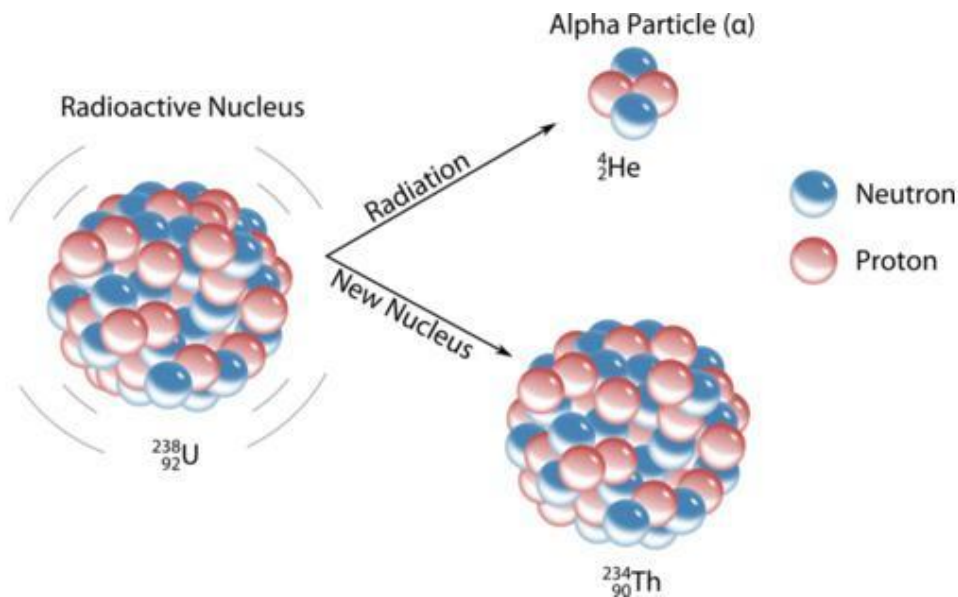
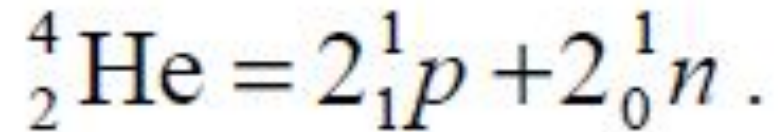


$\alpha$ -частицы слабее всех отклоняются магнитным и электрическим полями.

$\alpha$ -излучение

# Альфа-излучение

- поток ядер гелия (He) или  **$\alpha$ -частиц.**
- Альфа-частица состоит из двух протонов  $p$  и двух нейтронов  $n$ :



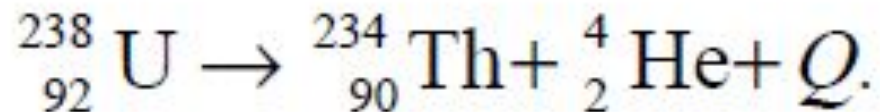
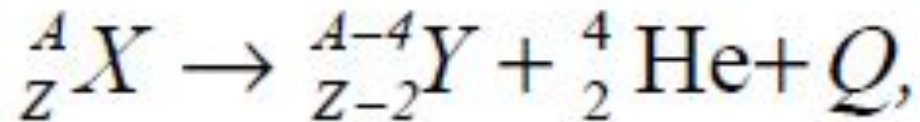


## ***$\alpha$ -частицы***

- электрический заряд  $\alpha$ -частицы равен двум элементарным электрическим зарядам со знаком (+)
- масса равна 4 атомным единицам массы (масса этих частиц превышает массу электрона в 7300 раз)
- энергия  $\alpha$ -частиц колеблется в пределах 2÷11 МэВ (индивидуальная и постоянная для каждого изотопа)
- Скорости с которыми  $\alpha$ -частицы вылетают из распавшегося ядра, очень велики и колеблются для различных ядер в пределах от  $1,4 \times 10^7$  до  $2 \times 10^7$  м/с

Электронвольт – энергия, которую приобретает электрон, проходящий в электрическом поле с разностью потенциалов в 1 В.

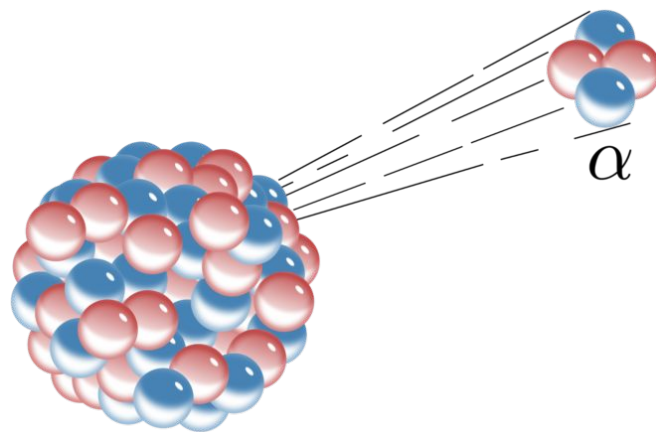
- $\alpha$ -частицы возникают при распаде тяжёлых ядер
- Ядра с порядковым номером **Z** больше 82 ( $^{82}\text{Pb}$ ), за редким исключением, альфа-активны.
- В настоящее время известно более 200 альфа-активных ядер, главным образом, тяжелых, исключение составляют редкоземельные элементы (**A=140-160**)



# Ионизация

- Пролетая через вещество,  **$\alpha$ -частицы** постепенно теряют свою энергию, затрачивая ее на ионизацию.
- Они встречаются с атомами вещества, при этом атомы вещества возбуждаются, т.е. электроны атома переходят с более близкой к ядру орбиты на более далекую, а некоторые даже отщепляются от атома.
- В этом случае атом превращается в **положительно заряженный ион**. Оторванный от атома электрон может присоединиться к внешней оболочке другого атома, который в свою очередь превращается в **отрицательно заряженный ион**.

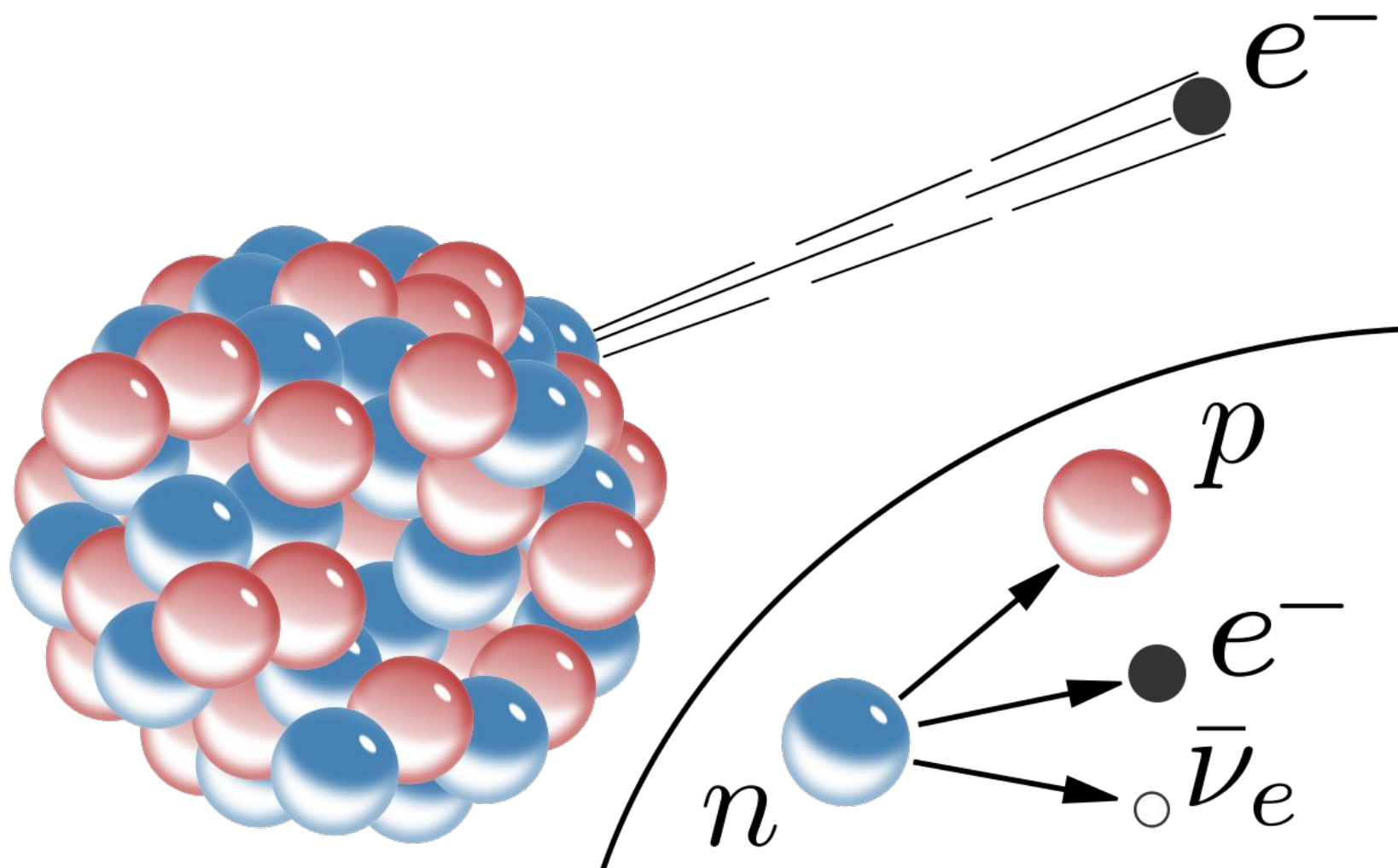
- **Удельная ионизация** – это количество пар ионов, которые возникают в 1 см пути пробега  **$\alpha$ -частицы**.
- **$\alpha$ -частицы** имеют большую ионизирующую способность: на пути пробега в воздухе образуется от 100000 до 300000 пар ионов.
- Под ***пробегом частицы в веществе*** понимается *толщина слоя этого вещества, которую может пройти эта частица до полной остановки.*
- Пробег  **$\alpha$ -частиц** зависит как от энергии частиц, так и от плотности вещества, в котором они движутся.



- Длина пробега  **$\alpha$ -частицы** в воздухе составляет примерно 3-9 см и не более 0,05 мм в биологической ткани.
- Для защиты хватает листа бумаги толщиной около 0,1 мм и обычной одежды
- При работе с радиоактивными веществами, которые являются источниками  **$\alpha$ -частиц** необходимо надевать резиновые перчатки, т.к. попав на кожу  **$\alpha$ -частицы** могут изменить ее структуру и вызвать ожег.



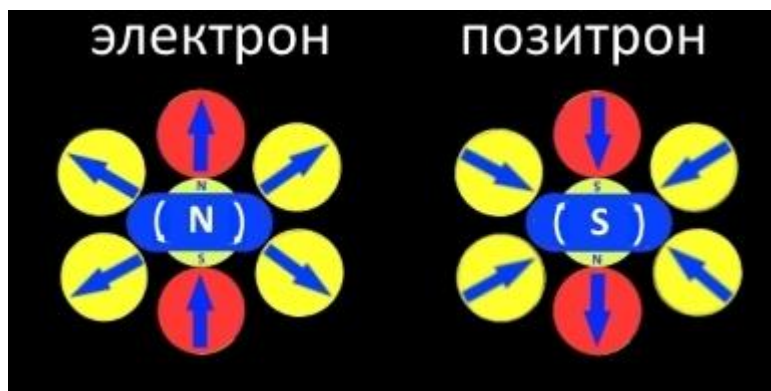
# $\beta$ (бета) - излучение



**Бета-излучение** представляет собой поток электронов или **позитронов** ядерного происхождения

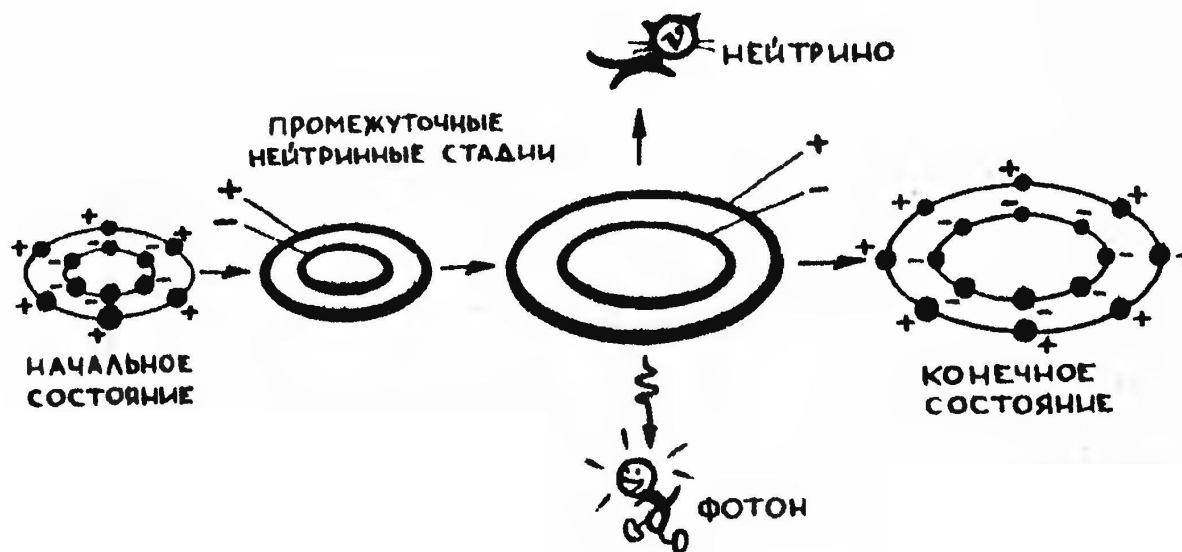
**Позитрон** – элементарная частица, подобная электрону, но с **положительным** знаком заряда (античастица электрона)

Физические параметры электронов ядерного происхождения (масса, заряд) такие же, как и у электронов атомной оболочки



# **Бета-частицы возникают внутри ядер при превращении нейтронов в протоны или протонов в нейтроны.**

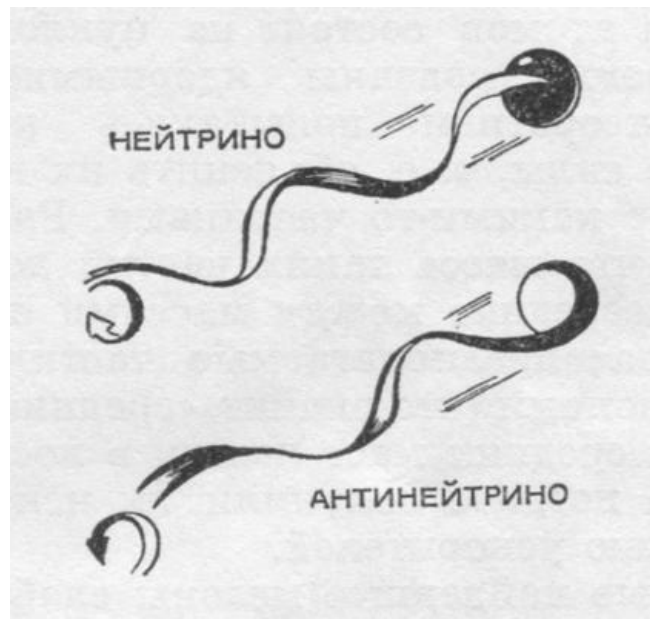
В 1932 г. для объяснения исчезновения энергии Вольфганг Паули (1900–1958) предложил считать, что при  $\beta$ -распаде вместе с **электроном** (**позитроном**) вылетает ещё одна частица. Ее назвали **нейтрино** (и парная к ней частица – **антинейтрино**). Экспериментальное доказательство существования этих частиц было выполнено в 1953-1954 гг.



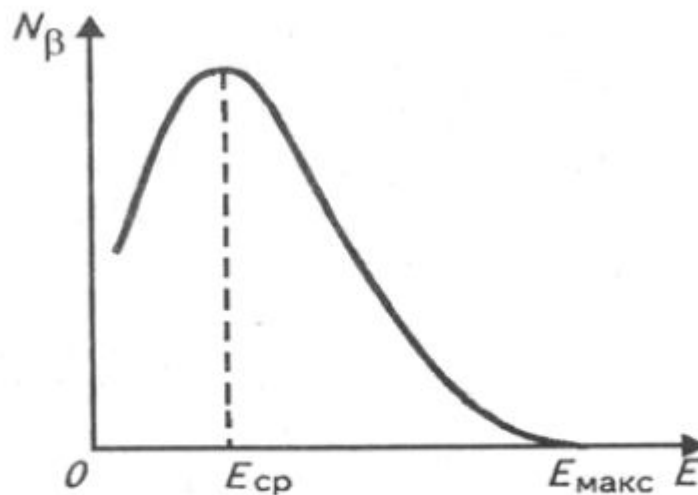


# Характеристики нейтрино и антинейтрино:

- нейтральные частицы ( $Z=0$ );
- масса покоя равна нулю;
- нейтрино от антинейтрино отличается направлением спина по отношению к импульсу.



- Энергия, освобождаемая при каждом акте распада, распределяется между **бета-частицей** и **нейтрино**.
- **Бета-частицы** одного и того же радиоактивного элемента могут обладать различным запасом энергии (от 0 до некоторого максимального значения).

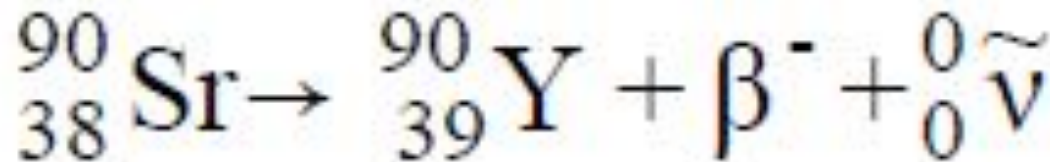


**Рис. 1.1.** Распределение бета-частиц по энергиям:  
 $N$  – число бета-частиц;  $E$  – их энергия (МэВ)

Максимальная энергия бета-частиц различных элементов имеет широкие пределы.

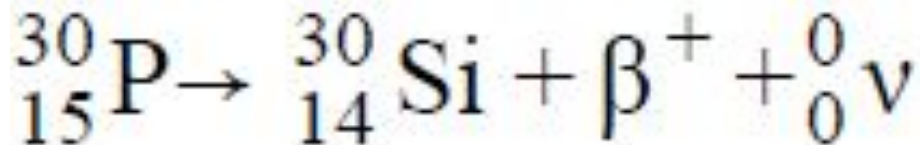
## Электронный $\beta$ -распад:

- превращение нейтрона в протон с одновременным образованием электрона и вылетом антинейтрино.
- заряд ядра и его порядковый номер увеличиваются на единицу.
- характерен для ядер с избыточным числом нейтронов.



## Позитронный $\beta$ -распад

- превращение протона в нейтрон с образованием и выбросом из ядра позитрона и нейтрино.
- Заряд и порядковый номер ядра уменьшаются на единицу.
- наблюдается для неустойчивых ядер с избыточным числом протонов.

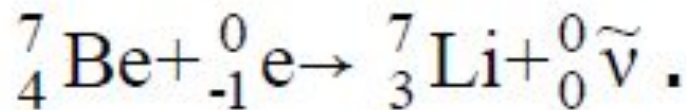
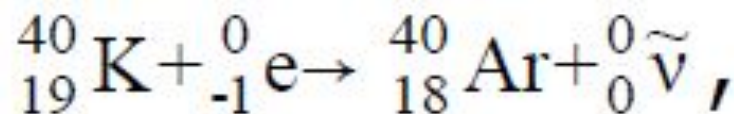


К бета-распаду относится **электронный захват (K-захват)**, т.е. захват атомным ядром одного из электронов своего атома **(как правило, наблюдается только у искусственно-радиоактивных изотопов)**

Один из протонов ядра превращается в нейтрон и испускается нейтрино. Возникшее ядро может оказаться в возбужденном состоянии

Переходя в основное состояние оно пропускает  **$\gamma$ -фотон**.

Место в электронной оболочке освобожденное захваченным электроном, заполняется электронами из вышестоящих слоев, в результате возникает рентгеновское излучение

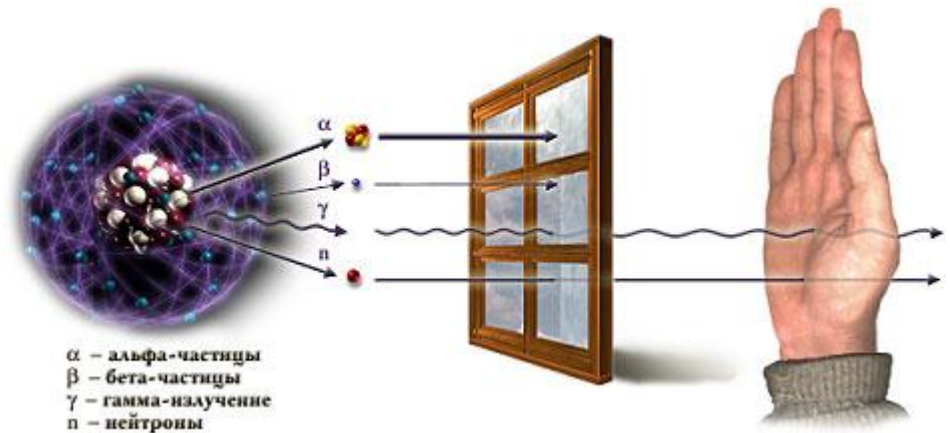
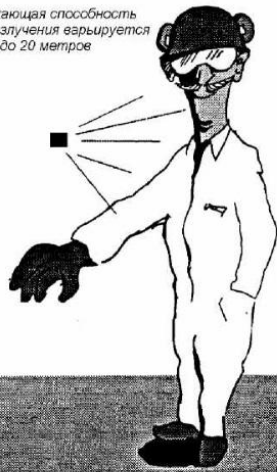


- **Бета-частицы**, испускаемые при **бета-распаде**, имеют различную энергию, поэтому и пробег их в веществе не одинаков
- Путь, проходимый  **$\beta$ -частицей** в веществе представляет **собой ломаную линию**
- Ионизирующая способность  **$\beta$ -частиц** намного меньше, а длина пробега много больше, чем у  **$\alpha$ -частиц**
- Длина пробега  **$\beta$ -частицы** в воздухе в зависимости от энергии может достигь 1 м и более
- Проникновение в биологическую ткань возможно на глубину 0,3-0,5 см
- На своем пути пробега  **$\beta$ -частицы** образуют от 1000 до 50000 пар ионов. Скорость бета-частицы 270000 км/с

# Защита от $\beta$ -излучения

- Зимняя одежда полностью защищает тело от проникающего  **$\beta$ -излучения**
- Существуют довольно большая опасность со стороны проникающих потоков  **$\beta$ -частиц** для глаз человека. В сравнении с кожей хрусталик обладает повышенной радиоактивной чувствительностью
- При работе с источником  **$\beta$ -излучения** рекомендуются защитные очки – толщиной стекла 6 мм, защитные перчатки и дистанционный инструмент

Проникающая способность  
бета-излучения варьируется  
от 0,1 до 20 метров



$\alpha$  – альфа-частицы  
 $\beta$  – бета-частицы  
 $\gamma$  – гамма-излучение  
n – нейтроны

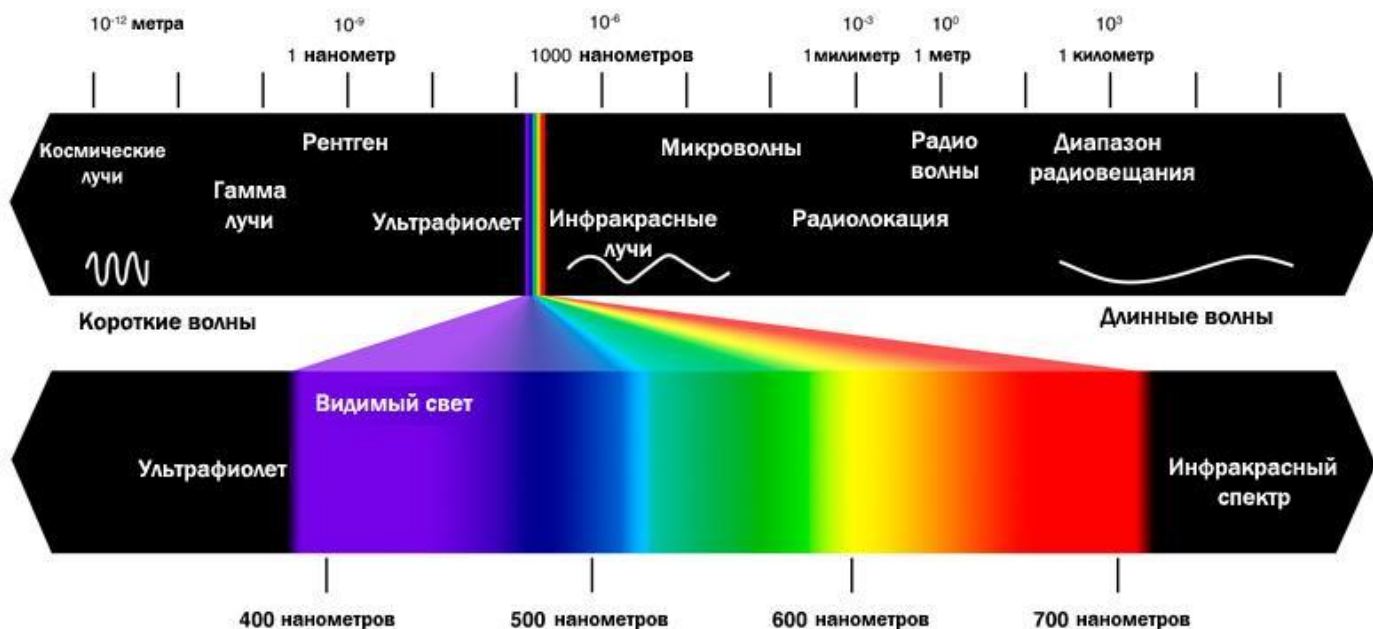
# ***$\gamma$ (гамма) –излучение (волновое излучение)***



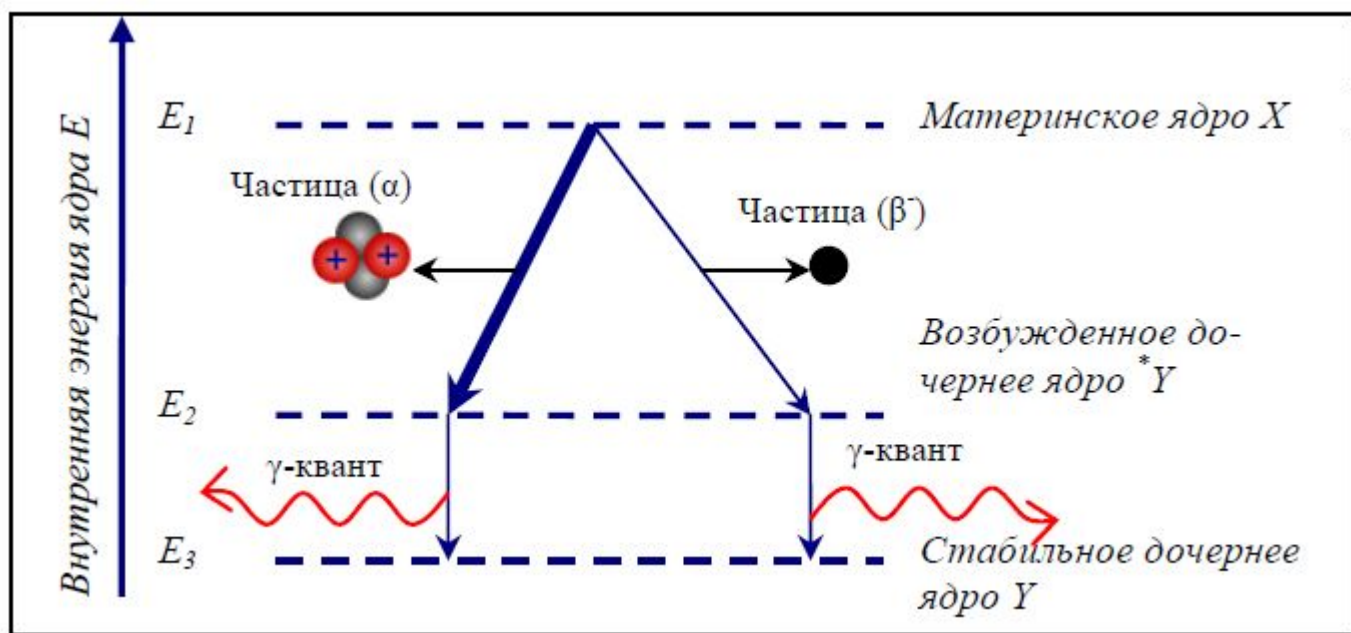


**Гамма-излучение** – это поток квантов электромагнитной энергии (волн) высокой частоты.

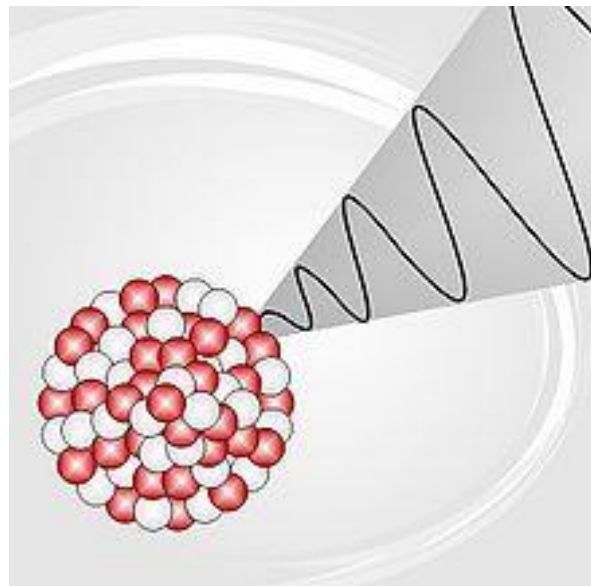
Физическая природа этих волн такая же, как и у радиоволн, видимого света, ультрафиолетовых и инфракрасных лучей, рентгеновского излучения.



**Гамма-кванты** испускаются ядрами атомов при **альфа-** и **бета-распаде** природных и искусственных радионуклидов в тех случаях, когда в дочернем ядре оказывается избыток энергии, не захваченный корпускулярным излучением (**альфа-** или **бета-частицей**). Этот избыток мгновенно высвечивается в виде **гамма-квантов**.



- Гамма-кванты лишены **массы покоя**. Фотоны существуют только **в движении**
- Они не имеют заряда, поэтому в электрическом и магнитном полях **не отклоняются**
- **Скорость распространения гамма-квантов в вакууме равна скорости света** ( $3 \cdot 10^{10}$  см/с)



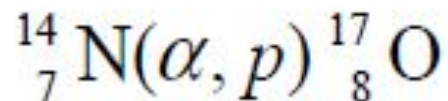
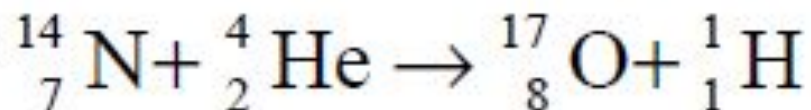
- Гамма-кванты, не имея заряда и массы покоя, вызывают слабое ионизирующее действие, но обладают большой проникающей способностью
- **Путь пробега в воздухе достигает 100÷150 м.** Это излучение проходит сквозь тело человека
- Для защиты от ***γ-излучения*** применяют бетонные стены **толщиной 1,5-2,0 м** или преграды из **металлов со значительным поглощением** (свинец)
- Для двукратного ослабления **γ-излучения** с энергий 0,1 МэВ и 2 МэВ необходим **слой свинца толщиной соответственно 0,12 мм и 1,4 мм**

Мощность гамма-излучения может быть ослаблена  
в 2 раза защитой из:  
свинца - толщиной 1 сантиметр  
бетона - толщиной 5 сантиметров  
воды - толщиной 10 сантиметров



**Ядерная реакция - процесс взаимодействия** ядра с другим ядром, элементарной частицей или фотоном, в результате которого образуется одно или несколько новых ядер.

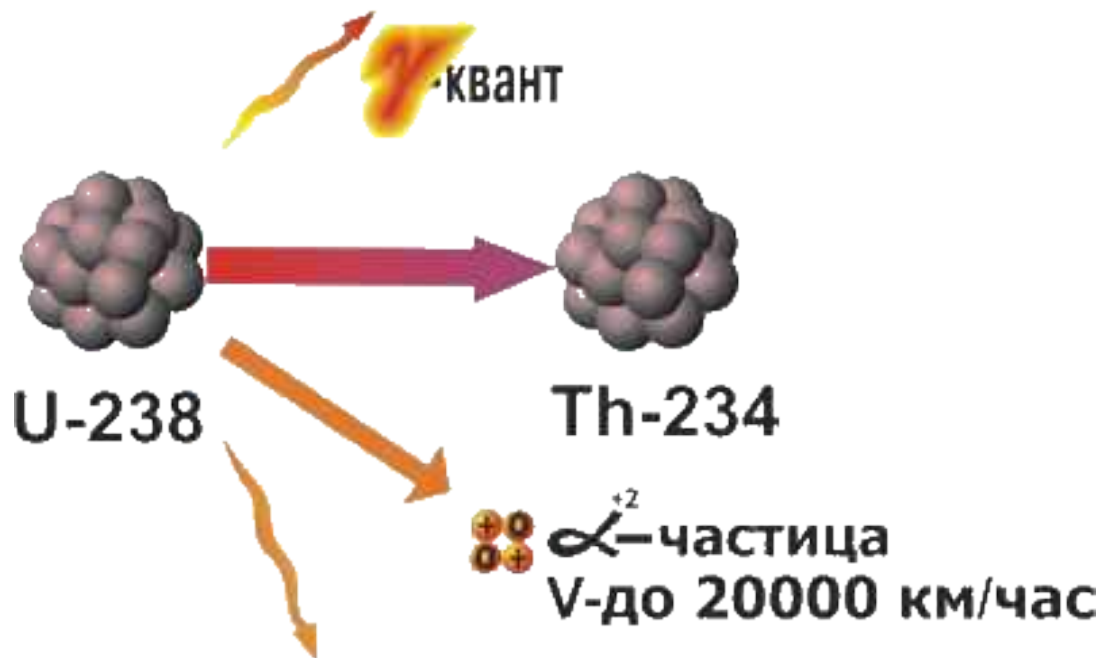
Ядерная реакция сопровождается излучением фотонов или некоторых элементарных частиц. Первой ядерной реакцией, осуществленной человеком, было превращение азота в кислород (Э. Резерфорд, 1919 г.):



# **ОСНОВНОЙ ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА И АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ**

# Радиоактивный распад.

Радиоактивный распад происходит со **строго определенной скоростью**, характерной для **каждого данного элемента**

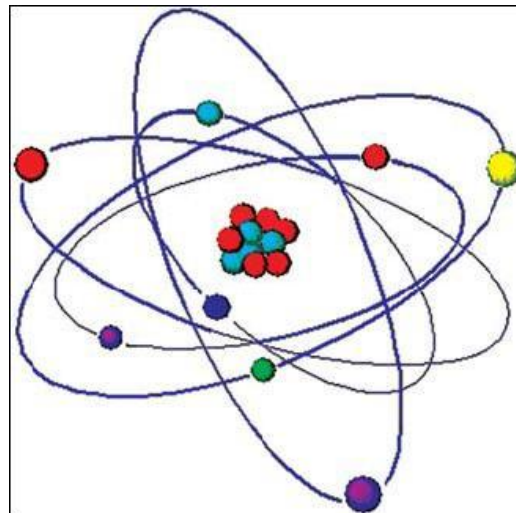




# **Постоянная радиоактивного распада, $\lambda$ [сек<sup>-1</sup>]**

характеризует вероятность распада одного атома за одну секунду.

Для каждого радионуклида она имеет своё значение:  
чем оно больше, тем быстрее распадаются ядра  
вещества.



# **Активность (*a*) (радиоактивность)** образца

Число распадов, регистрируемых в радиоактивном образце за единицу времени

Значение активности прямо пропорционально количеству атомов (***N***) радиоактивного вещества:

$$a = \lambda \cdot N$$

# Единицы измерения радиоактивности

Международная система единиц СИ:

$$1 \text{ Бк} = 1 \frac{\text{расп}}{\text{сек}}$$

**беккерель [Бк]**. Один **беккерель** равен одному распаду в секунду.

Внесистемная единица активности:

**кюри [Ки]**, **соответствующая** скорости распада одного грамма радия ( $3,7 \cdot 10^{10}$  распадов в секунду),

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

Эта единица удобна для оценки активности больших количеств радионуклидов

# Период полураспада, $T$

Время, за которое исходное число радиоактивных ядер в среднем уменьшается вдвое

*периоды полураспада различных элементов:*

${}_{92}^{238}\text{U}$  4,5 млрд.лет

${}_{92}^{236}\text{Ra}$  1620 лет

${}_{86}^{222}\text{Rn}$  3,8 суток

${}_{88}^{226}\text{Ra}$  1630 лет

${}_{88}^{219}\text{Ra}$  0,01 с

Отдельные радиоактивные ядра распадаются независимо друг от друга, поэтому **закон радиоактивного распада** носит **статистический характер** и имеет вид:

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

где:

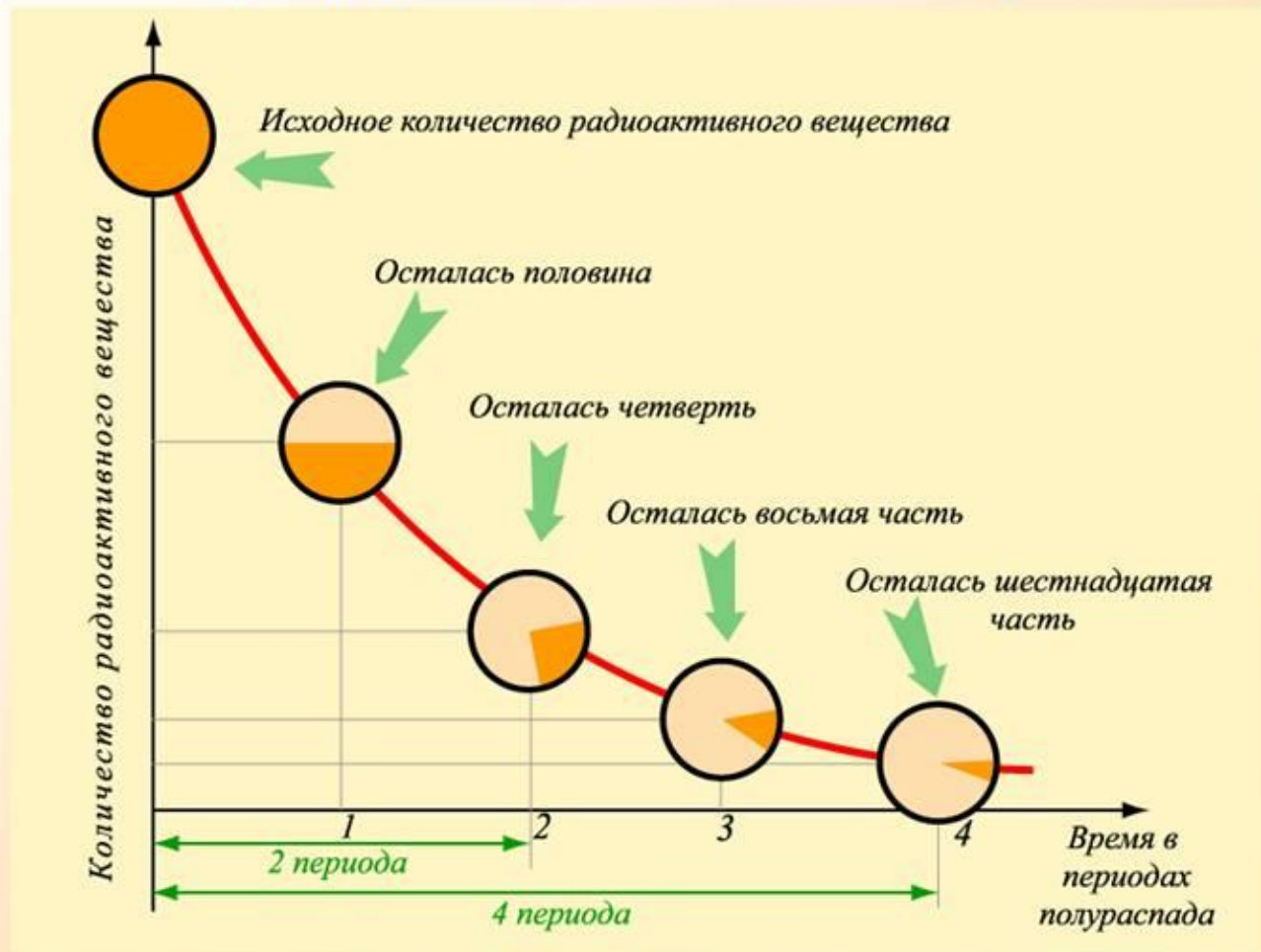
$N_0$  – число радиоактивных ядер в момент времени, принятый за начало отсчета, т.е. при  $t = 0$

$N$  – число нераспавшихся ядер в момент времени  $t$ ;

$\lambda$  – постоянная для данного радиоактивного вещества величина, называемая постоянной радиоактивного распада

знак «-» говорит об убывании числа ядер;

# Закон радиоактивного распада



[Назад](#)

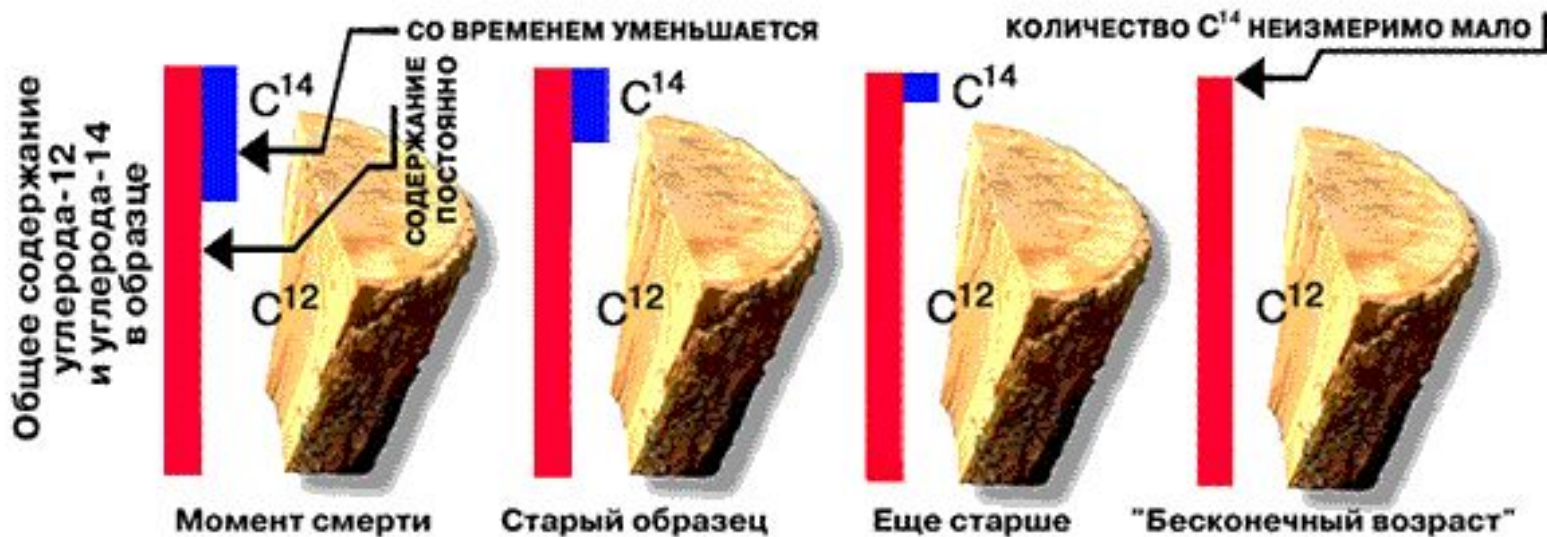
Между постоянной радиоактивного распада и периодом полураспада существует простая связь:

$$T = \ln 2 / \lambda = 0.693 / \lambda$$

***Среднее время жизни радиоактивного ядра*** –  $\zeta$  есть величина, обратная постоянной радиоактивного распада, т.е.

$$\zeta = 1 / \lambda$$

# Радиоизотопные методы датировки ископаемых остатков





## Изотопы, используемые для определения абсолютного возраста

Материнский изотоп	Конечный продукт	Период полураспада, млрд лет
$^{147}\text{Sm}$	$^{143}\text{Nd} + \text{He}$	106,00
$^{238}\text{U}$	$^{206}\text{Pb} + ^8\text{He}$	4,46
$^{235}\text{U}$	$^{207}\text{Pb} + ^7\text{He}$	0,70
$^{232}\text{Th}$	$^{208}\text{Pb} + ^6\text{He}$	14,00
$^{87}\text{Rb}$	$^{87}\text{Sr}$	48,80
$^{40}\text{K}$	$^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca}$	1,30
$^{14}\text{C}$	$^{14}\text{N}$	5730 лет

# Калий – аргоновый метод (*аргоновый метод*)

радиометрический физический метод датирования палеонтологических остатков, предметов и материалов биологического происхождения путём измерения содержания в материале радиоактивного изотопа калия  $^{40}\text{K}$  и изотопа аргона  $^{40}\text{Ar}$ . Изотоп  $^{40}\text{K}$ , который составляет 0,012 % природного калия

Предложен в 1948 году Эрихом Карловичем Герлингом (СССР) и Альфредом Ниром (США)

Период полураспада изотопа калия  $^{40}\text{K}$ :  
 $T = 300$  млн лет

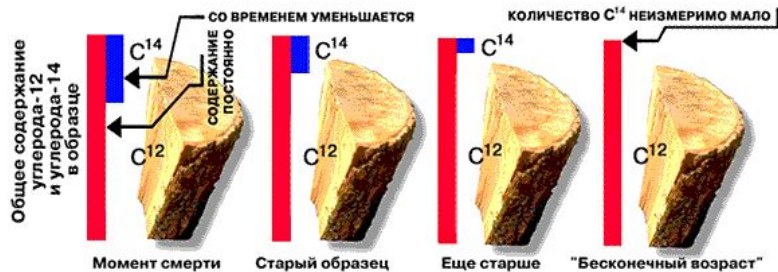
## Радиоуглеродный метод

физический метод датирования палеонтологических остатков, предметов и материалов биологического происхождения путём измерения содержания в материале радиоактивного изотопа углерода  $^{14}\text{C}$  относительно содержания его в атмосфере.

Предложен Уиллардом Либби в 1946 – 1949 годах

Период полураспада изотопа углерода  $^{14}\text{C}$ :

$T = 5360$  лет.



ВОСПОЛЬЗУЕМСЯ ФОРМУЛАМИ:

$$p(t) = 2^{-\frac{t}{T}}$$

$$t = -\ln p(t) \cdot \frac{T}{\ln 2}$$

$p(t)$  – доля радионуклида ( $^{14}\text{C}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{40}\text{Ar}$ )

$t$  – продолжительность распада (возраст палеонтологических остатков, горных пород)

$$t = -\ln p(t) \cdot \frac{T}{\ln 2}$$

Радиоуглеродный метод:

$$\frac{T}{\ln 2} = \frac{5360}{\ln 2} = \frac{5360}{0,693} = 7734,5$$

$$t = -\ln p(t) \cdot 7734,5 \text{ лет}$$

$$t = -\ln p(t) \cdot \frac{T}{\ln 2}$$

Калий – аргоновый метод:

$$\frac{T}{\ln 2} = \frac{300}{\ln 2} = \frac{300}{0,693} = 432,9$$

$$t = -\ln p(t) \cdot 432,9 \text{ млн лет}$$

# ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ:

**Радиоуглеродный метод:**

**Образец кости мамонта содержит 0,20 изотопа  $^{14}\text{C}$  от исходного количества. Определить возраст данного образца.**

*Решение:*

$$t = -\ln p(t) \cdot 7734,5$$

$$t = -\ln 0,20 \cdot 7734,5 = 1,609 \cdot 7734,5 = 12448$$

лет

# ПРИМЕРЫ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ:

## Калий-аргоновый метод:

Палеонтологические отпечатки листьев древовидного папоротника содержат 0,50 изотопа калия  $^{40}\text{K}$  от исходного количества. Определить возраст данного образца.

## *Решение:*

$$t = -\ln p(t) \cdot 432,9 \text{ млн лет}$$

$$t = -\ln 0,50 \cdot 432,9 \text{ млн лет} = 0,6931 \cdot 432,9 \text{ млн лет} = 300 \text{ млн лет}$$