

Дозиметрия ионизирующих излучений

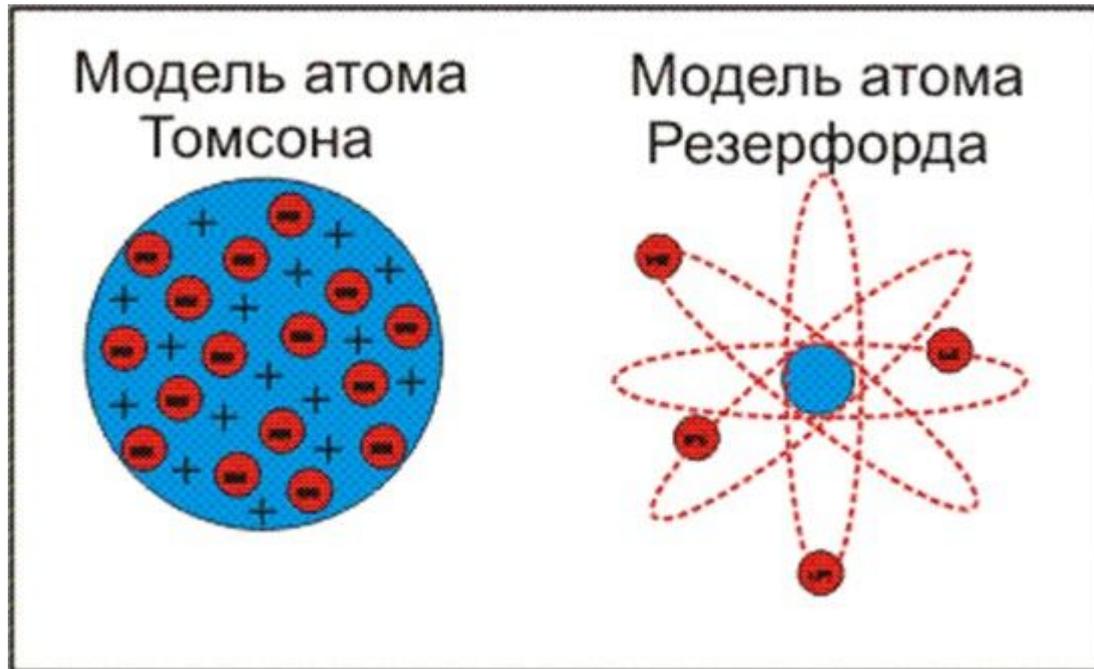
Лекция 1

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*



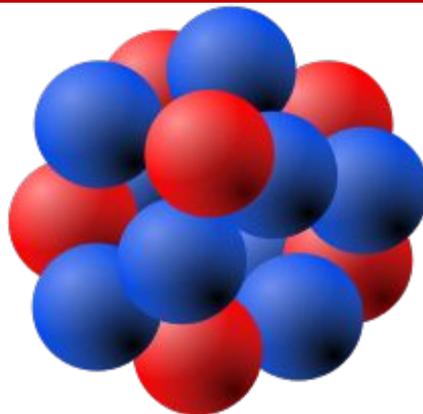
Элементарные частицы

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

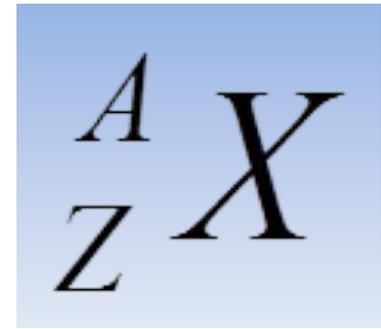
Строение атома

- 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

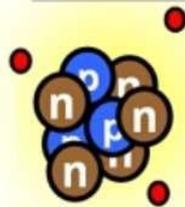
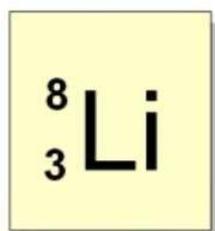
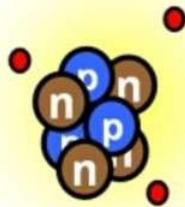
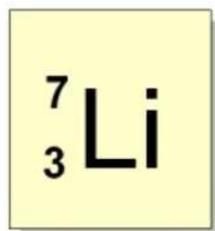
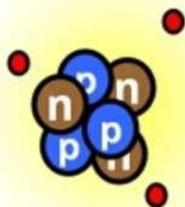
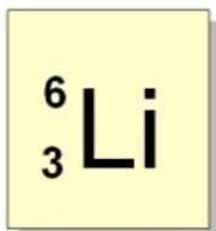
Период	Ряд	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																	
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII										
1	1	(H)							H ¹ Водород 1,00797	He ² Гелий 4,0026	<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="text-align: center;"> Обозначение элемента Li Литий </div> <div style="text-align: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

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



HIMI4KA.RU

Аргон ${}^{40}_{18}\text{Ar}$

Калий ${}^{40}_{19}\text{K}$

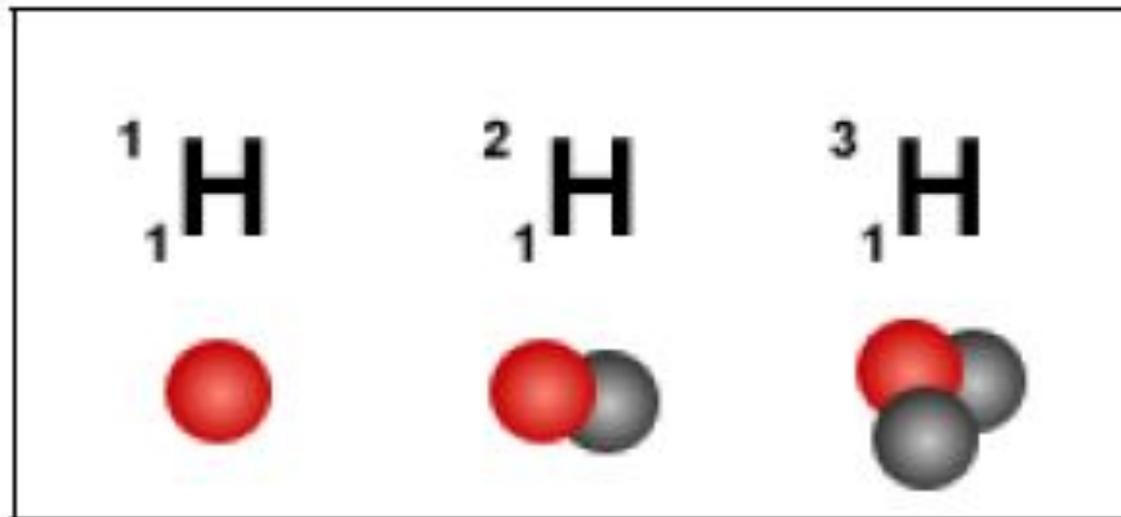
Кальций ${}^{40}_{20}\text{Ca}$

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.



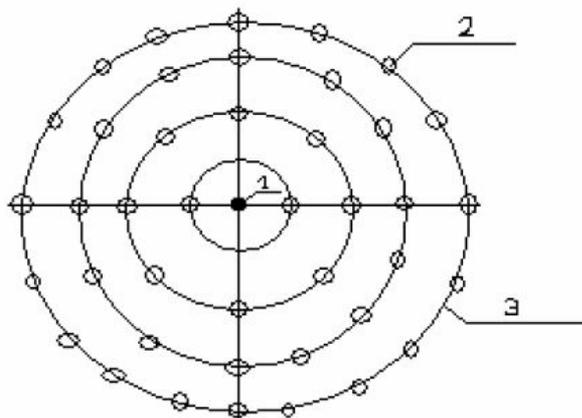
Строение электронных оболочек атома

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.

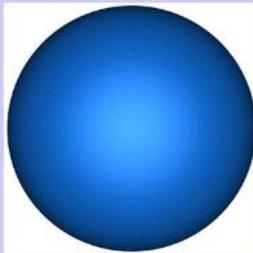
С увеличением **Z** идет последовательное заполнение электронных оболочек.



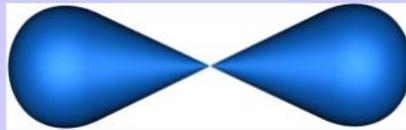
- 1) Ядро
- 2) Электроны
- 3) Электронные оболочки или орбиты

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

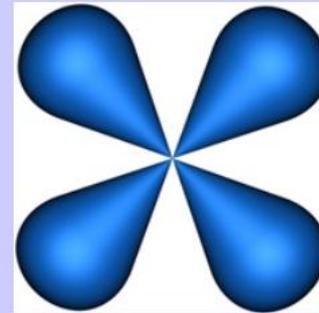
Формы атомных орбиталей



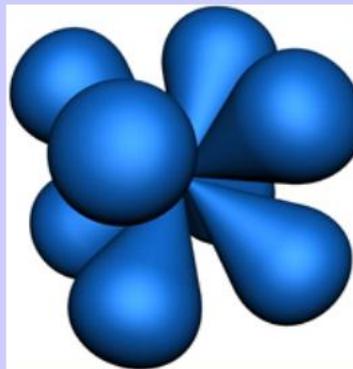
s -
орбиталь



p -
орбиталь



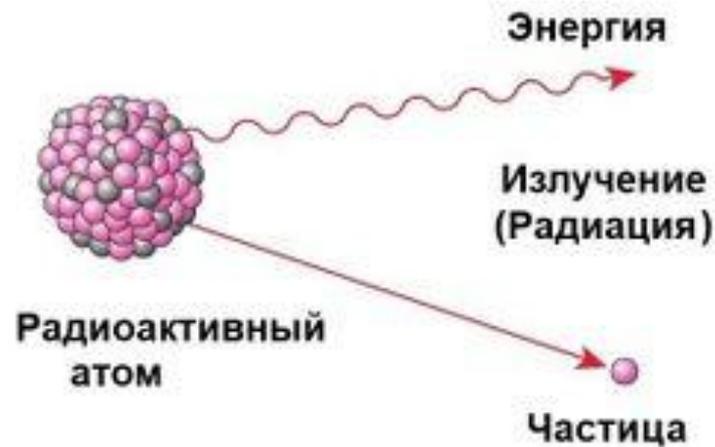
d -
орбиталь



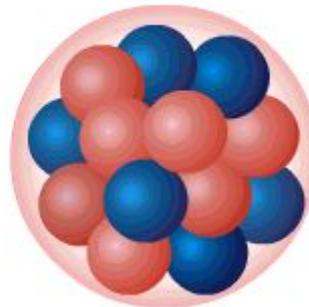
f -
орбиталь



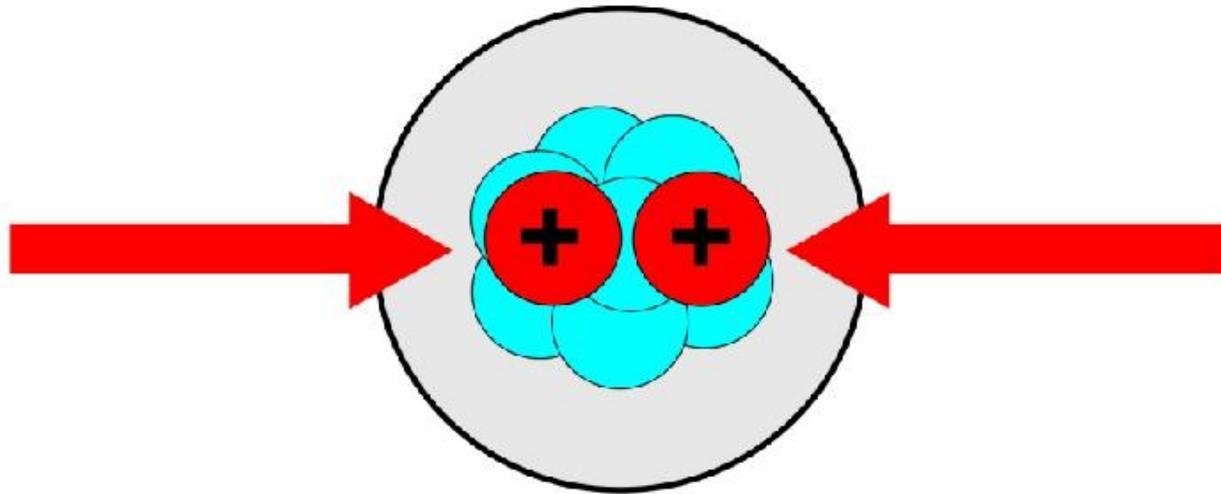
2. Явление радиоактивности



- 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 $Z > 83$ (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. α -, β - и γ -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

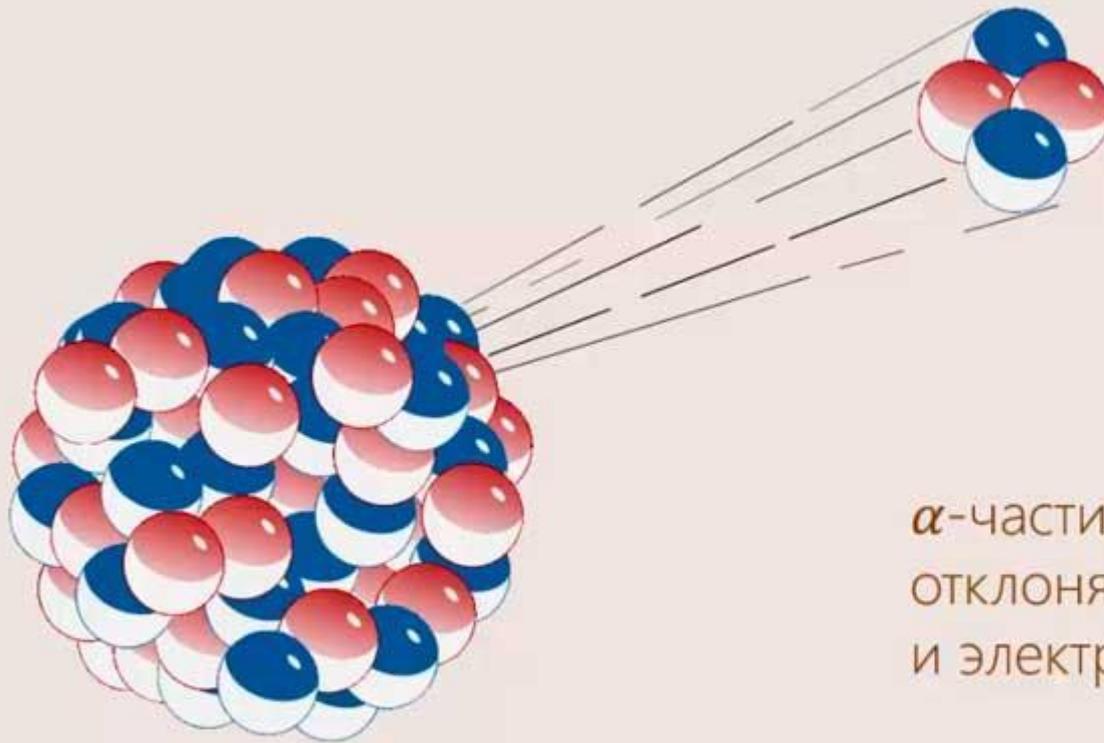


Корпускулярные излучения:

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



α (альфа) -излучение

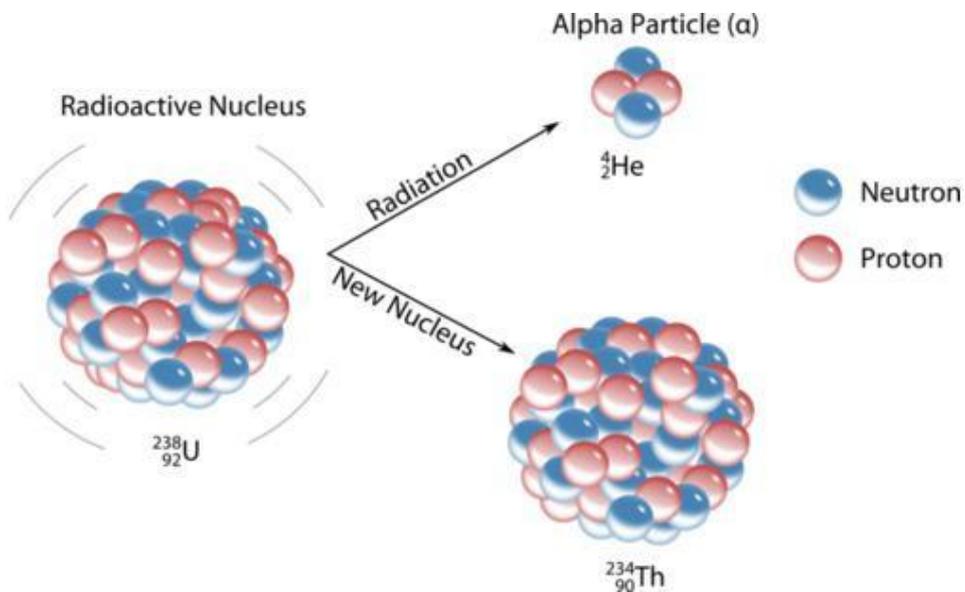
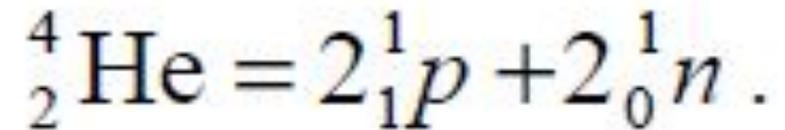


α -частицы слабее всех отклоняются магнитным и электрическим полями.

α -излучение

Альфа-излучение

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

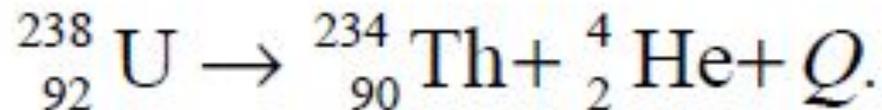
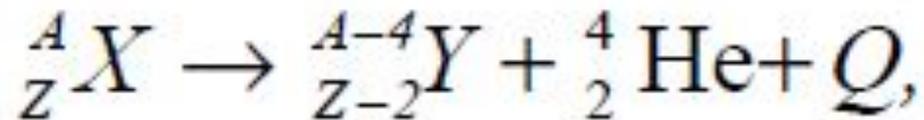


α-частицы

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

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

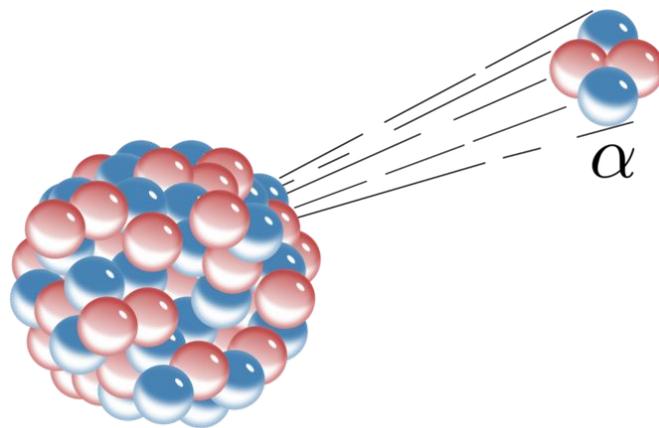
- α -частицы возникают при распаде тяжёлых ядер
- Ядра с порядковым номером **Z** больше 82 (^{82}Pb), за редким исключением, альфа-активны.
- В настоящее время известно более 200 альфа-активных ядер, главным образом, тяжелых, исключение составляют редкоземельные элементы (**A=140-160**)



Ионизация

- Пролетая через вещество, **α -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**.

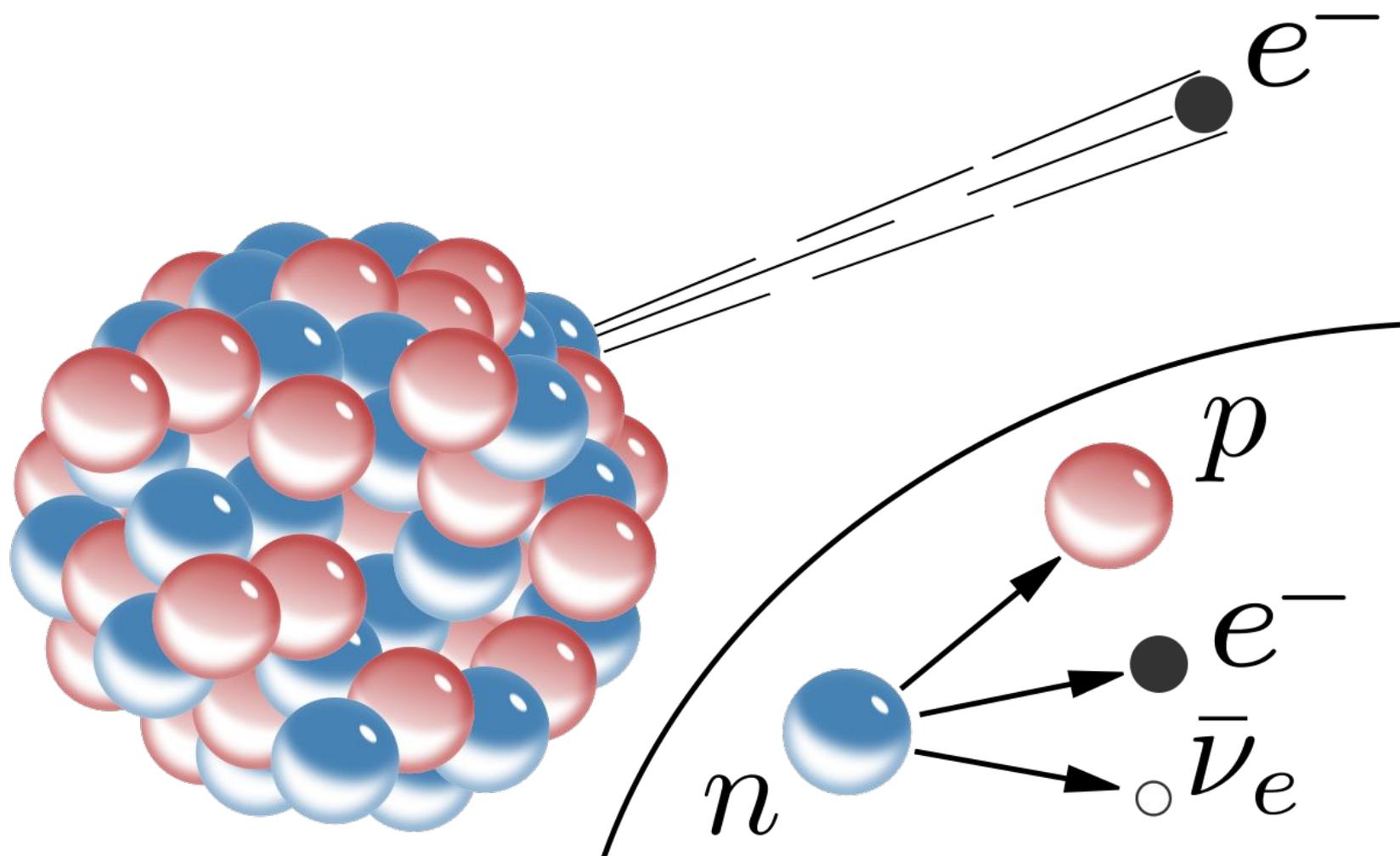
- **Удельная ионизация** – это количество пар ионов, которые возникают в 1 см пути пробега **α -частицы**.
- **α -частицы** имеют большую ионизирующую способность: на пути пробега в воздухе образуется от 100000 до 300000 пар ионов.
- Под **пробегом частицы в веществе** понимается *толщина слоя этого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



- Длина пробега **α -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 **α -частиц** необходимо надевать резиновые перчатки, т.к. попав на кожу **α -частицы** могут изменить ее структуру и вызвать ожег.



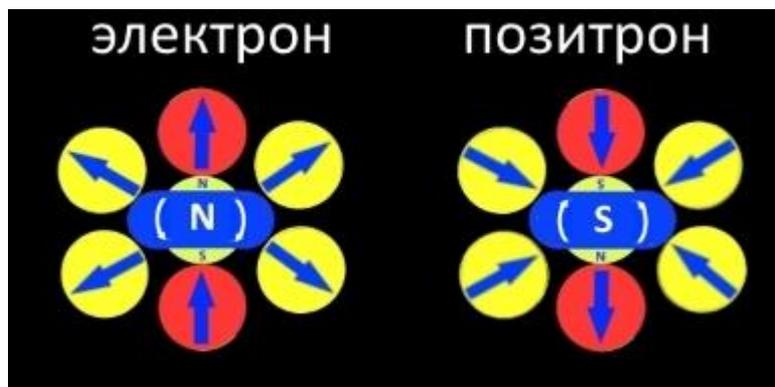
β (бета) - излучение



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

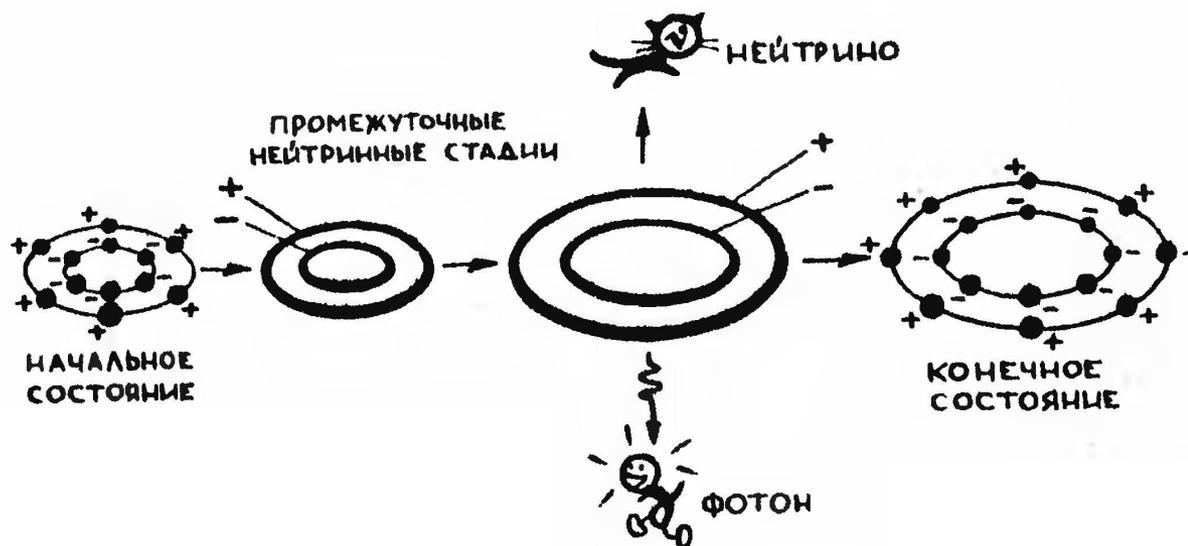
Позитрон – элементарная частица, подобная электрону, но с **положительным** знаком заряда (античастица электрона)

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



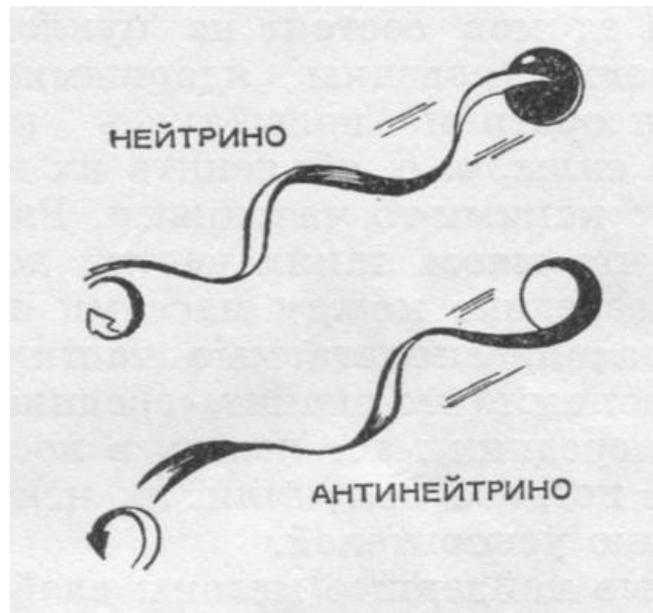
Бета-частицы возникают внутри ядер при превращении нейтронов в протоны или протонов в нейтроны.

В 1932 г. для объяснения исчезновения энергии Вольфганг Паули (1900–1958) предложил считать, что при β -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).

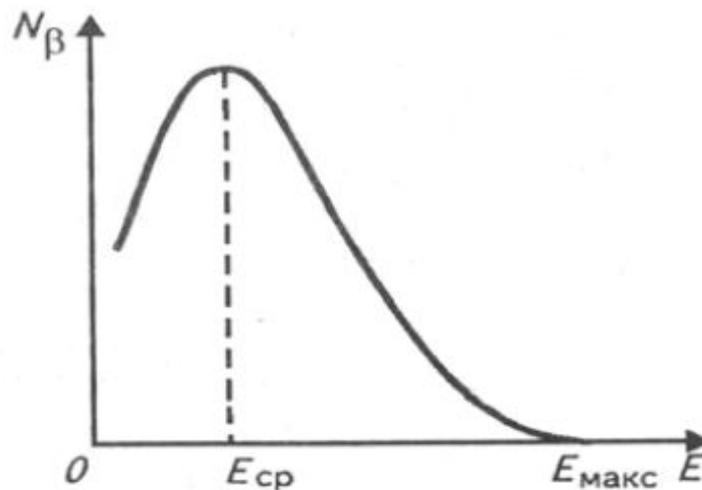
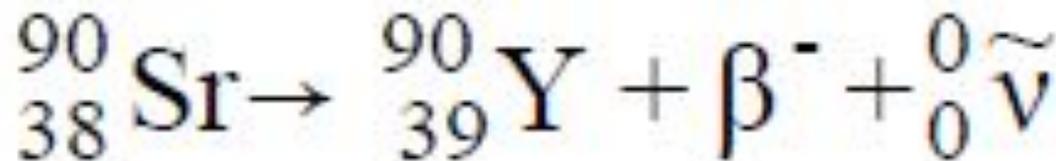


Рис. 1.1. Распределение бета-частиц по энергиям:
 N – число бета-частиц; E – их энергия (МэВ)

Максимальная энергия бета-частиц различных элементов имеет широкие пределы.

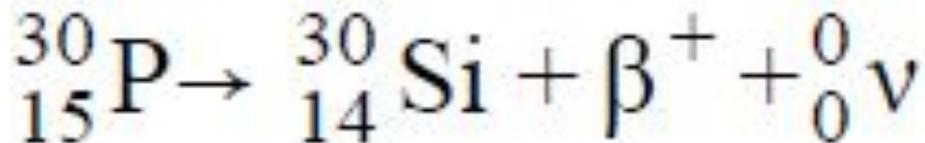
Электронный β -распад:

- 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 β -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.

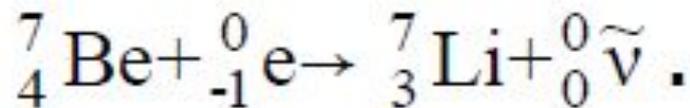
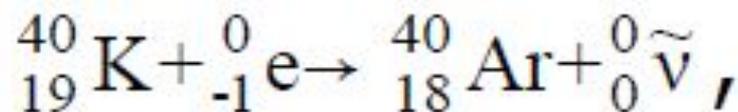


К бета-распаду относится **электронный захват (К-захват)**, т.е. захват атомным ядром одного из электронов своего атома **(как правило, наблюдается только у искусственно-радиоактивных изотопов)**

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

Переходя в основное состояние оно пропускает **γ -фотон**.

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

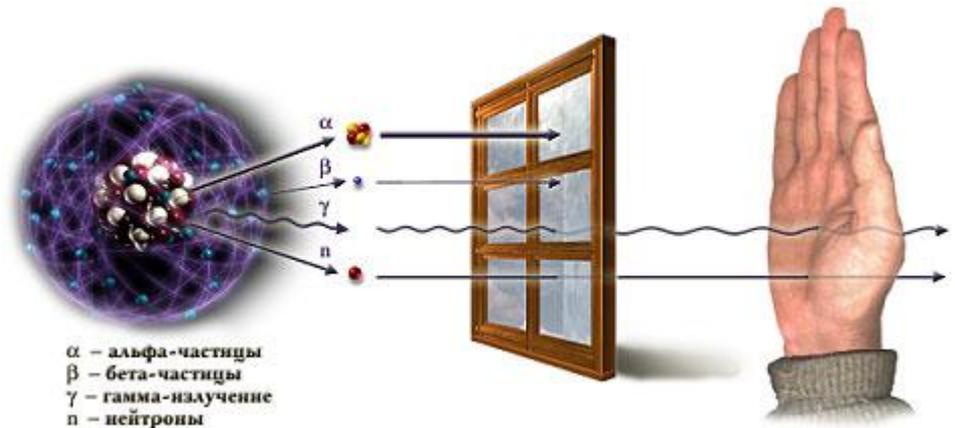
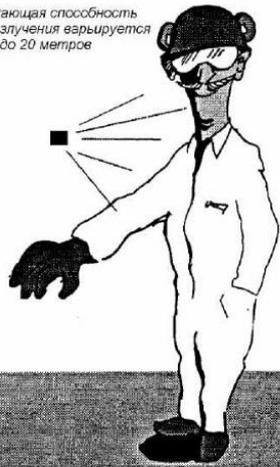


- **Бета-частицы**, испускаемые при **бета-распаде**, имеют различную энергию, поэтому и пробег их в веществе не одинаков
- Путь, проходимый **β -частицей** в веществе представляет **собой ломаную линию**
- Ионизирующая способность **β -частиц** намного меньше, а длина пробега много больше, чем у **α -частиц**
- Длина пробега **β -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 **β -частицы** образуют от 1000 до 50000 пар ионов. Скорость бета-частицы 270000 км/с

Защита от β -излучения

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

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



α – альфа-частицы
 β – бета-частицы
 γ – гамма-излучение
n – нейтроны

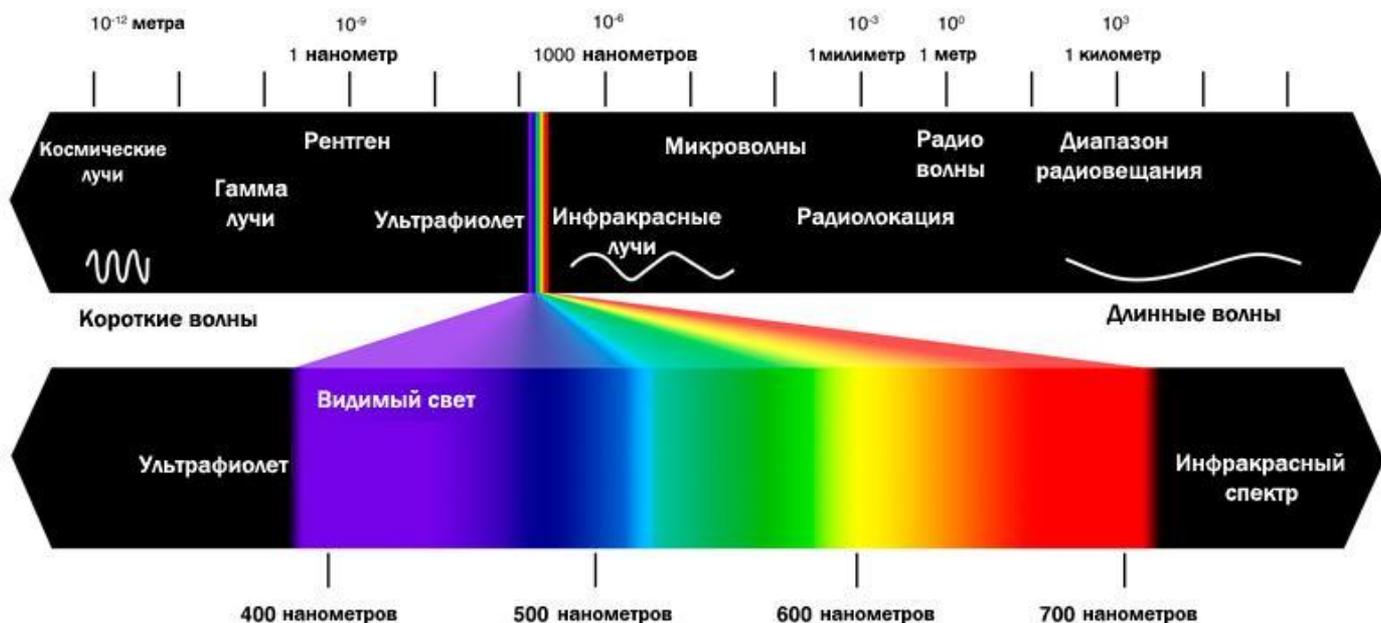
Рисунок 1.16 Пробег бета-частиц изменяется в зависимости от их начальной энергии

γ (гамма) –излучение (волновое излучение)

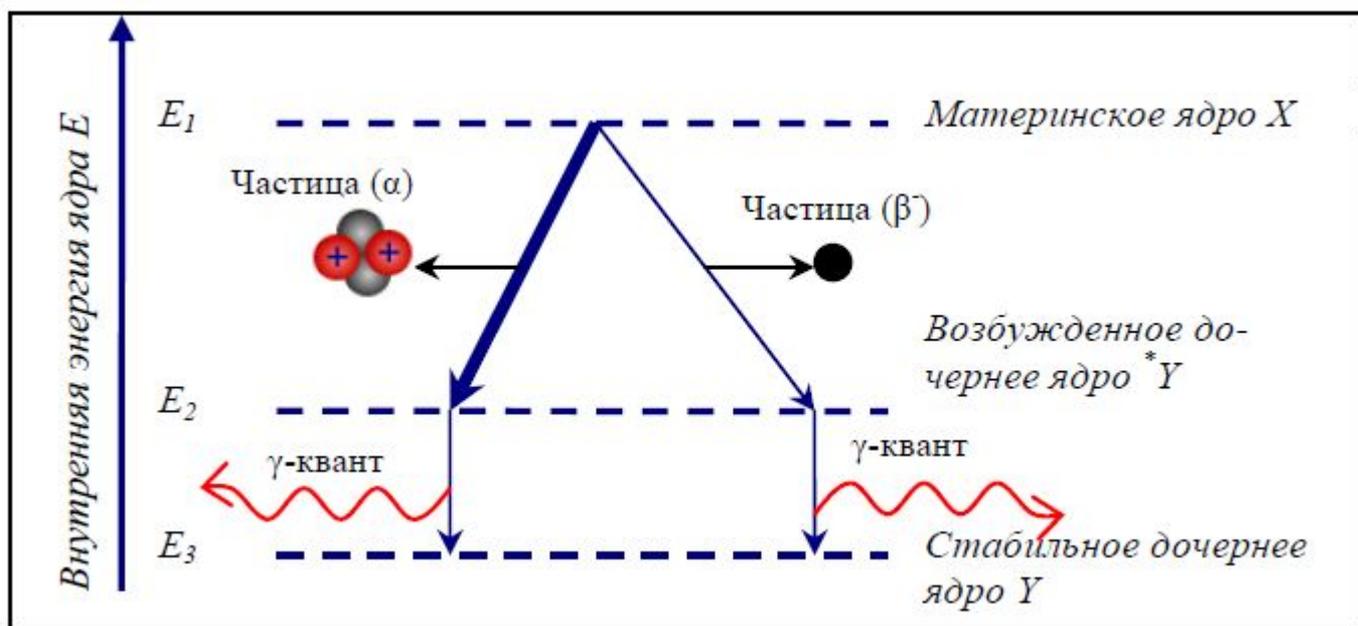


Гамма-излучение – это поток квантов электромагнитной энергии (волн) высокой частоты.

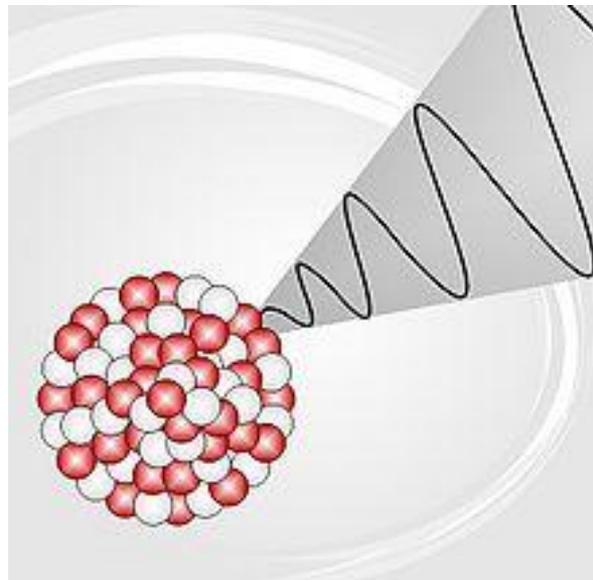
Физическая природа этих волн такая же, как и у радиоволн, видимого света, ультрафиолетовых и инфракрасных лучей, рентгеновского излучения.



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)



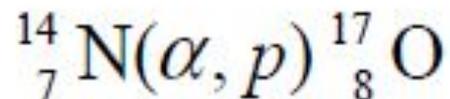
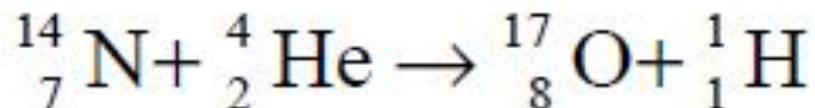
- Гамма-кванты, не имея заряда и массы покоя, вызывают слабое ионизирующее действие, но обладают большой проникающей способностью
- **Путь пробега в воздухе достигает 100÷150 м.** Это излучение проходит сквозь тело человека
- Для защиты от ***γ-излучения*** применяют бетонные стены **толщиной 1,5-2,0 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.

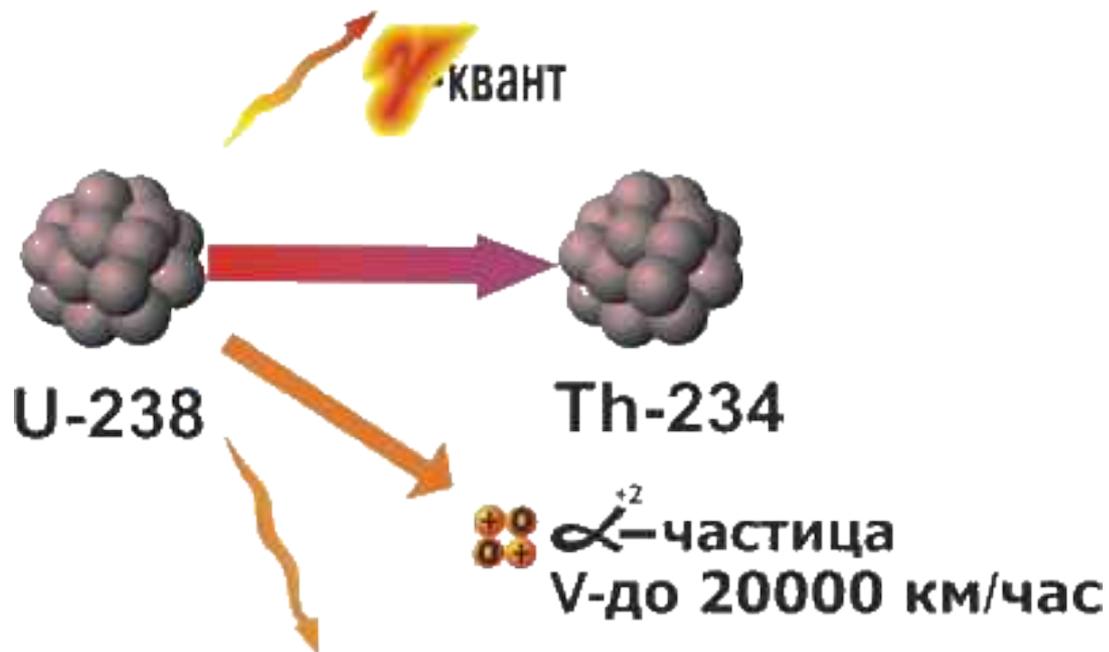
Ядерная реакция сопровождается излучением фотонов или некоторых элементарных частиц. Первой ядерной реакцией, осуществленной человеком, было превращение азота в кислород (Э. Резерфорд, 1919 г.):



ОСНОВНОЙ ЗАКОН РАДИОАКТИВНОГО РАСПАДА И АКТИВНОСТЬ РАДИОНУКЛИДОВ

Радиоактивный распад.

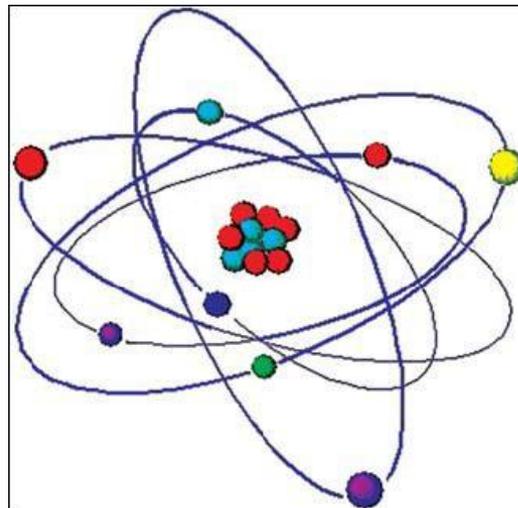
Радиоактивный распад происходит со **строго определенной скоростью**, характерной для **каждого данного элемента**



Постоянная радиоактивного распада, λ [сек⁻¹]

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:

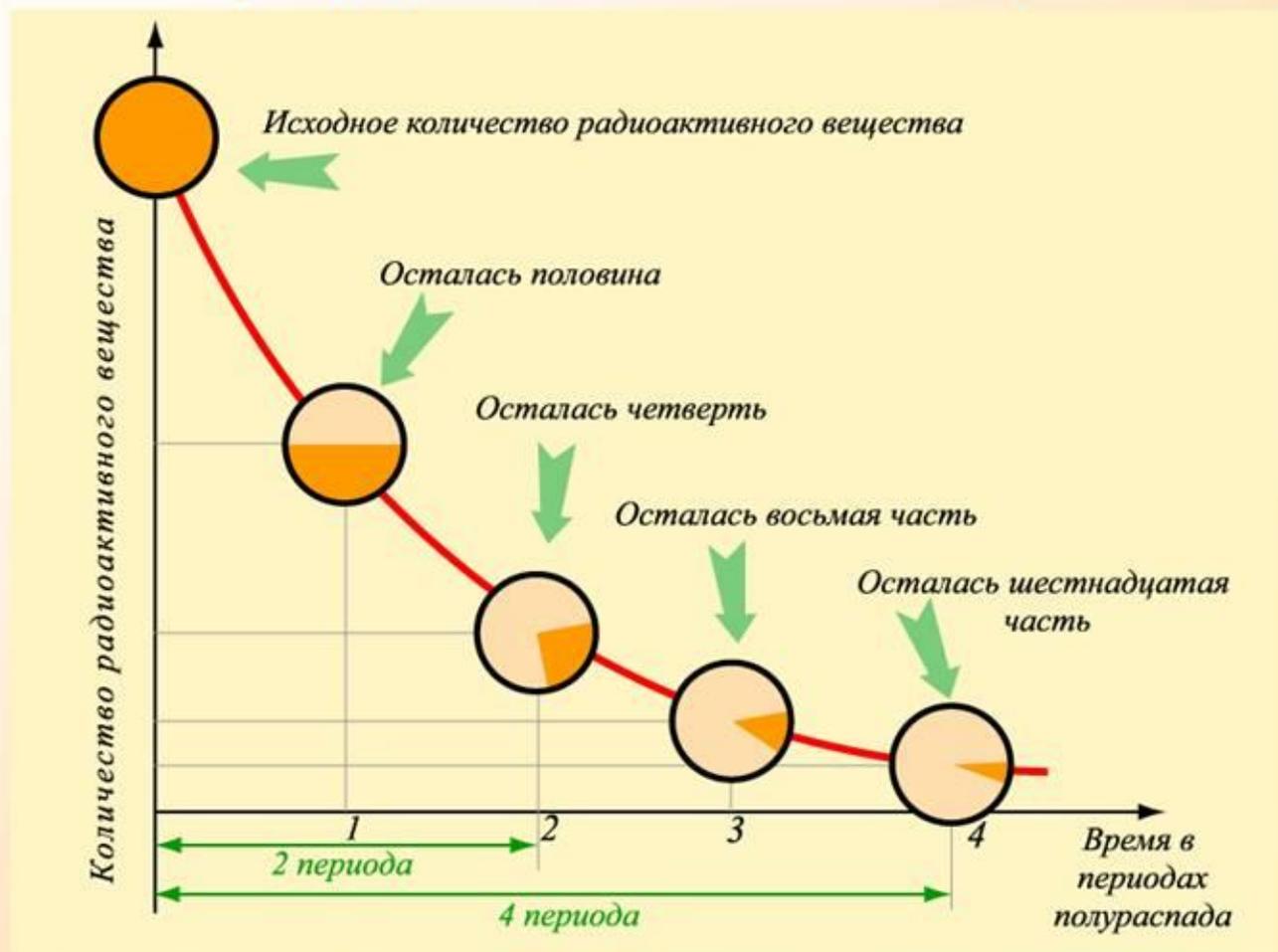
N_0 – число радиоактивных ядер в момент времени, принятый за начало отсчета, т.е. при $t = 0$

N – число нераспавшихся ядер в момент времени t ;

λ – постоянная для данного радиоактивного вещества величина, называемая постоянной радиоактивного распада

знак «-» говорит об убывании числа ядер;

Закон радиоактивного распада



[Назад](#)

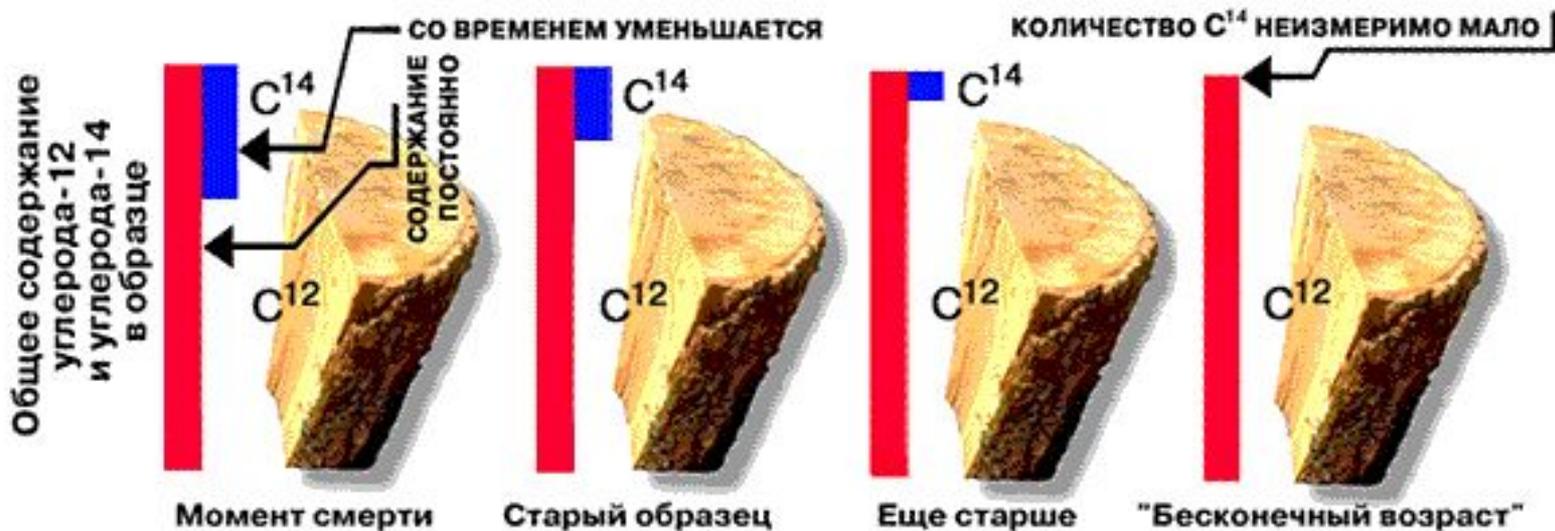
Между постоянной радиоактивного распада и периодом полураспада существует простая связь:

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

Среднее время жизни радиоактивного ядра – ζ 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}Sm	$^{143}\text{Nd} + \text{He}$	106,00
^{238}U	$^{206}\text{Pb} + 8\text{He}$	4,46
^{235}U	$^{207}\text{Pb} + 7\text{He}$	0,70
^{232}Th	$^{208}\text{Pb} + 6\text{He}$	14,00
^{87}Rb	^{87}Sr	48,80
^{40}K	$^{40}\text{Ar} + ^{40}\text{Ca}$	1,30
^{14}C	^{14}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}K и изотопа аргона ^{40}Ar . Изотоп ^{40}K , который составляет 0,012 % природного калия

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

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

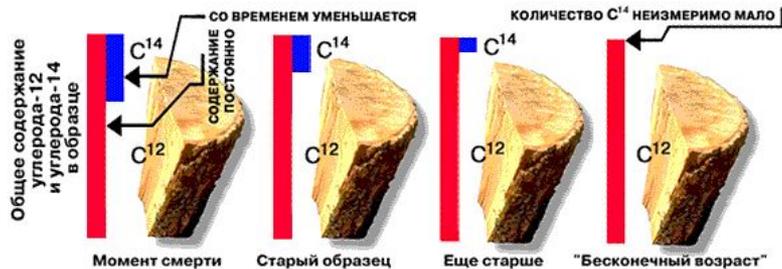
Радиоуглеродный метод

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

Предложен Уиллардом Либби в 1946 – 1949 годах

Период полураспада изотопа углерода ^{14}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}C , ^{40}K , ^{40}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}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}K от исходного количества. Определить возраст данного образца.

Решение:

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

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