

РАДИОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ТЕРРИТОРИЙ

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

tlaschenova@yandex.ru

8 910 4049110

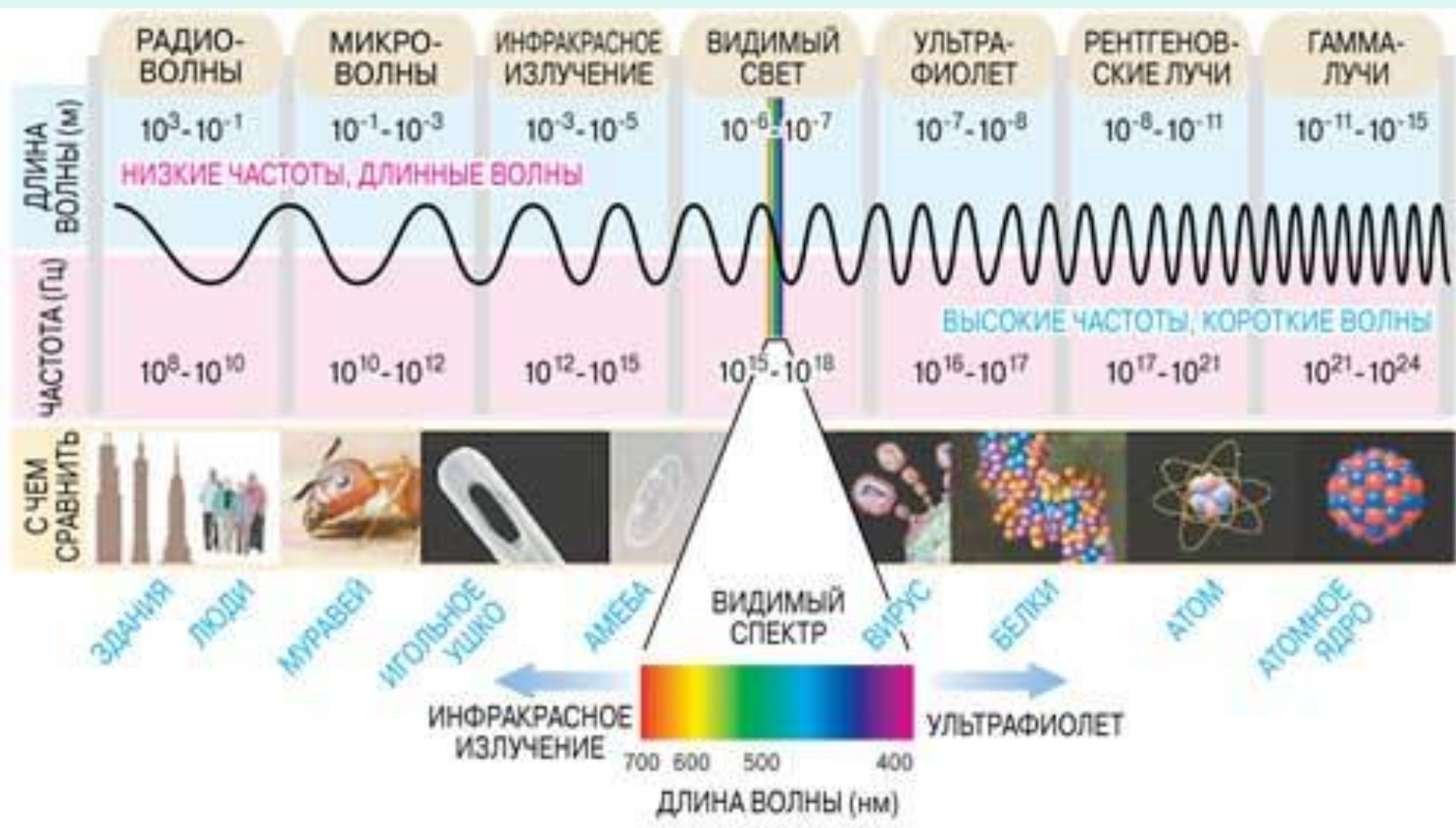
Тема

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, λ .

Виды радиоактивного распада

- α -излучение - ионизирующее излучение, состоящее из α -частиц (ядер гелия), испускаемых при ядерных превращениях.
- β -излучение - электронное (позитронное) ионизирующее излучение с непрерывным энергетическим спектром, испускаемое при ядерных превращениях.
- γ - 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.

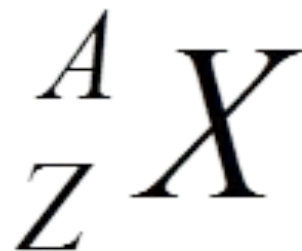
Элемент стронций Sr-90 расположен в пятом периоде.

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

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	n	0	0
антинейтрино	n [~]	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

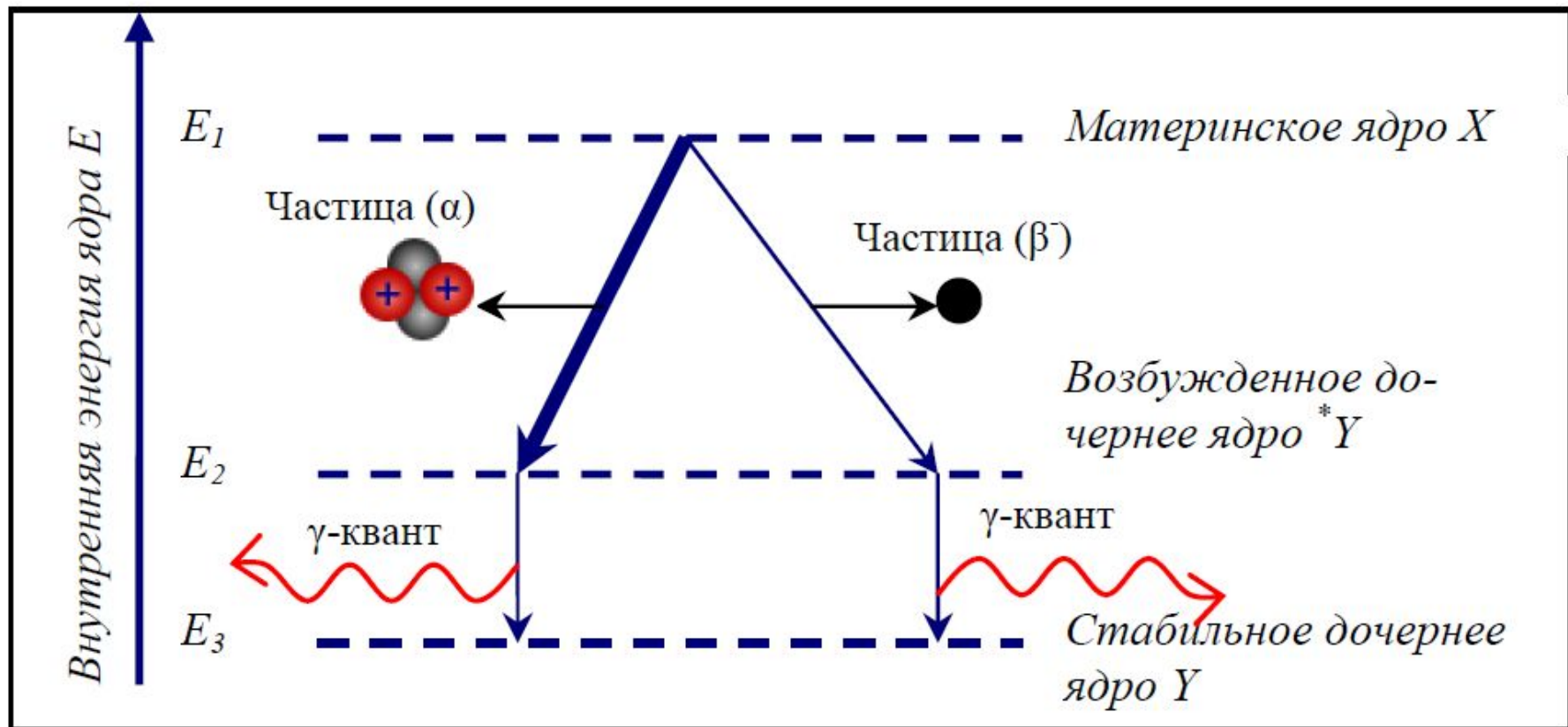
$$A = Z + N$$

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

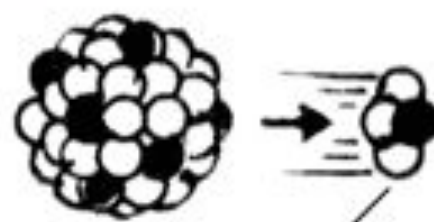
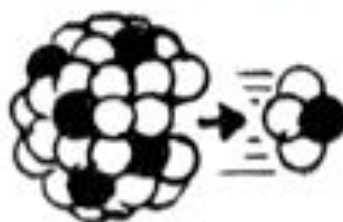
Изотоны - нуклиды с одинаковыми N , но различными Z и A



Альфа-распад



Ядро атома



Альфа-частица

Бета-распад



Ядро атома

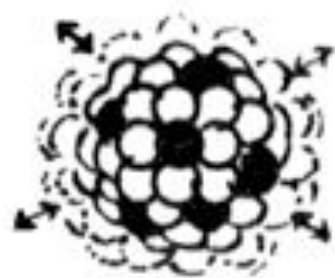
Нейтрон



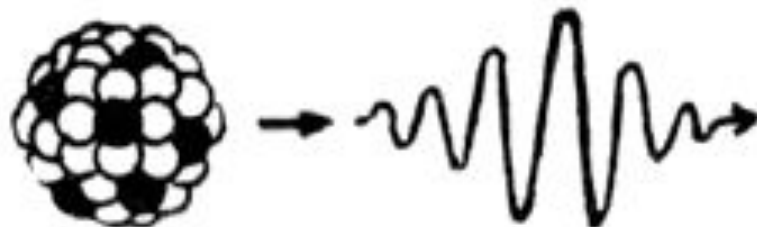
Протон

e^-

Гамма-излучение



Возбуждённое ядро



Гамма-квант

α -излучение

это поток α -частиц (ядра гелия)

Пробег α -частиц практически прямолинеен.

При прохождении α -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 α - частица выбивает электрон, образуются положительно заряженный ион, происходит ионизация среды.

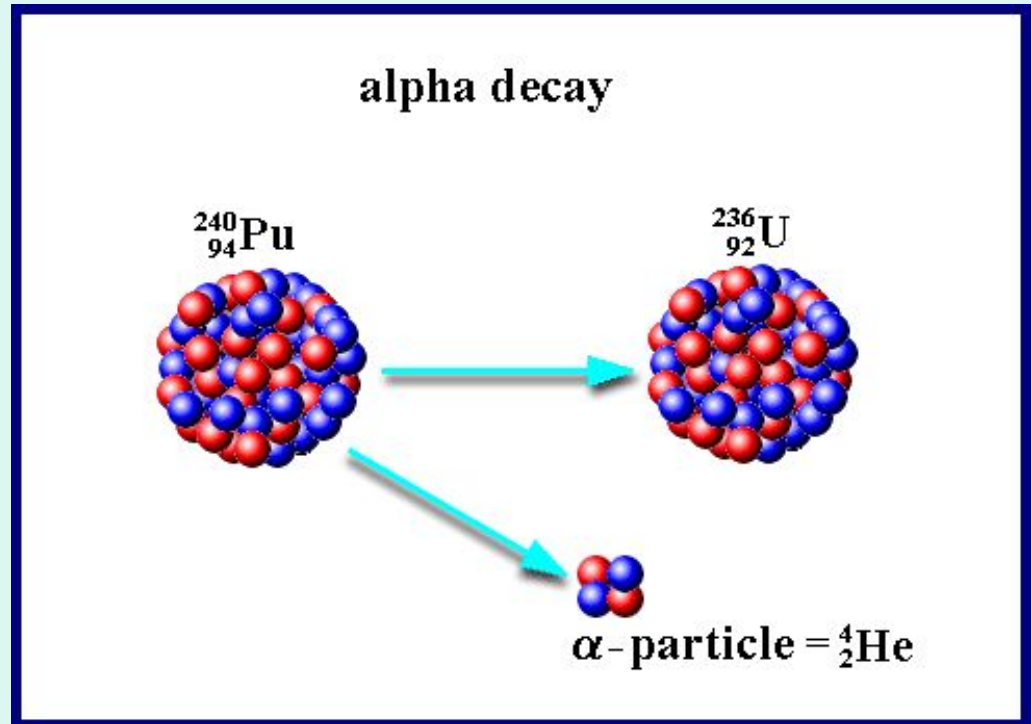
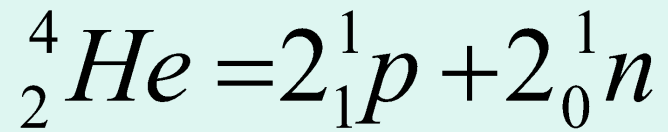
На ионизацию расходуется часть энергии α - частиц, она теряет скорость и постепенно останавливается. При этом она присоединяет к себе 2 электрона и становится электронейтральным атомом - атомом гелия.

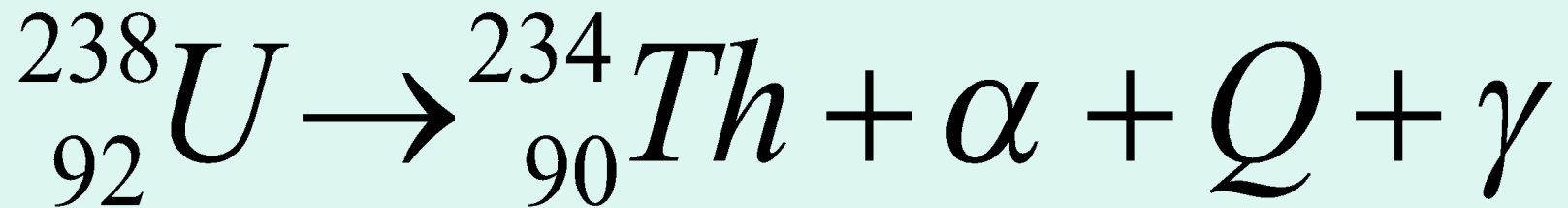
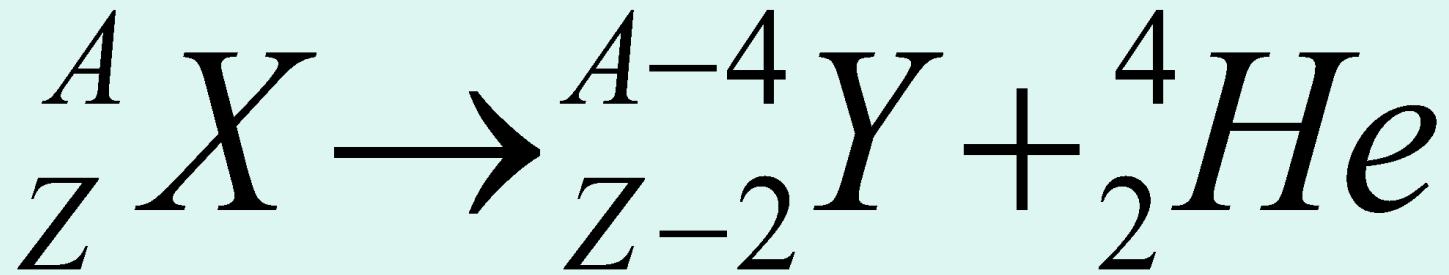
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВЕЩЕСТВОМ

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 β -излучения с веществом

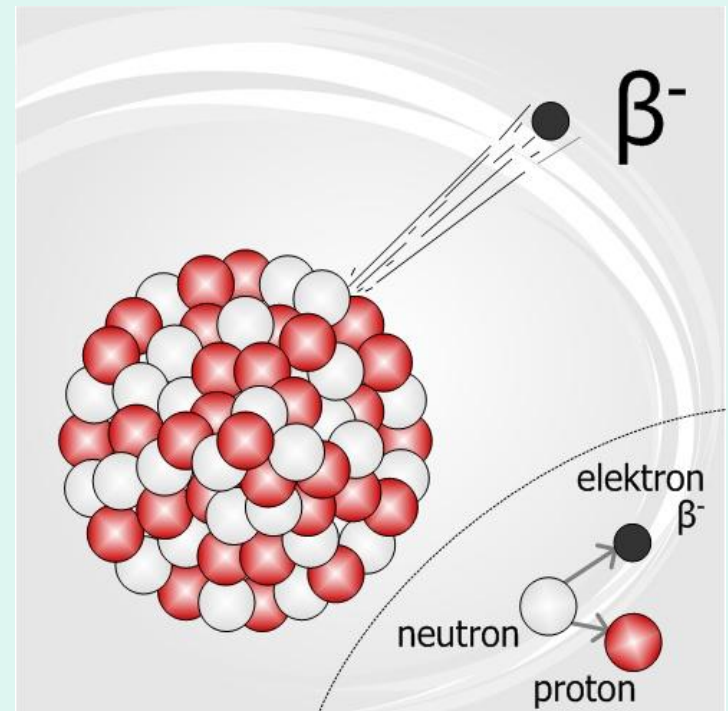
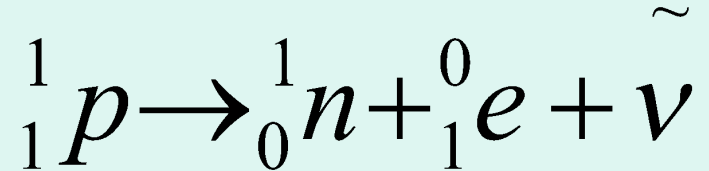
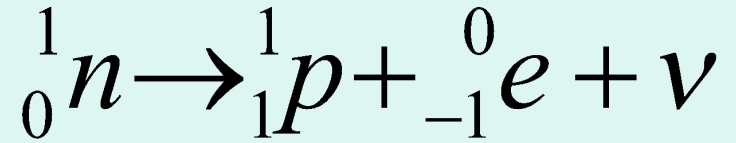
При движении в веществе электронов, они взаимодействуют с электронами оболочек атома, происходит ионизация среды.

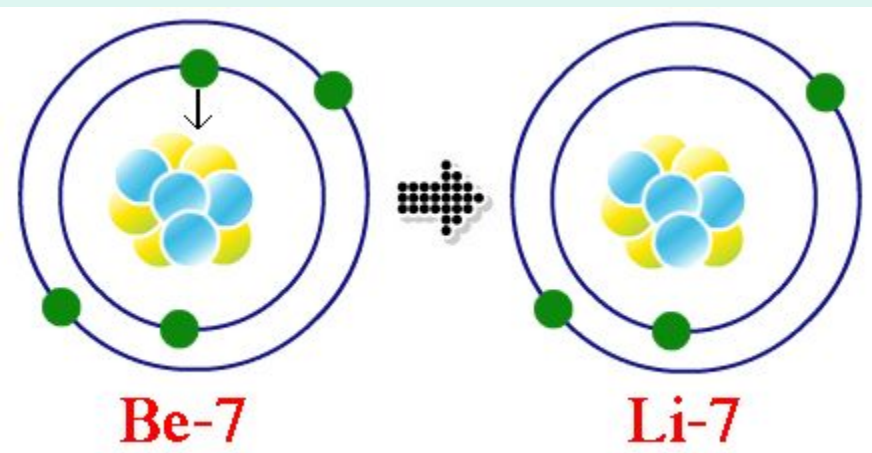
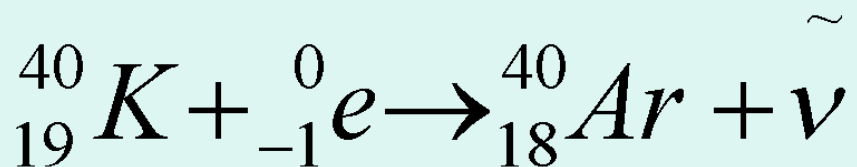
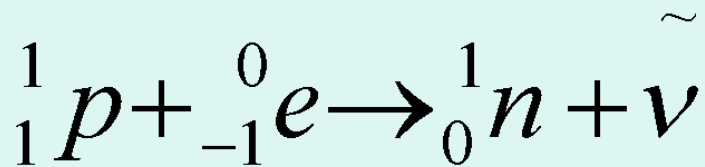
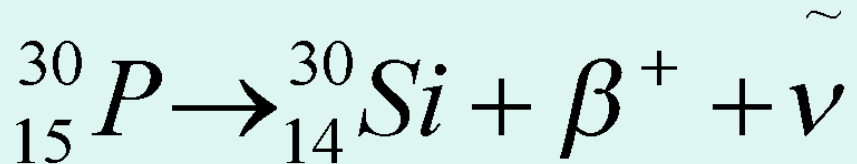
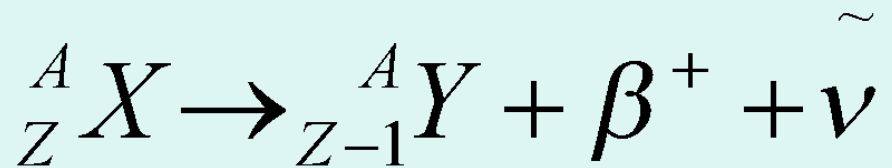
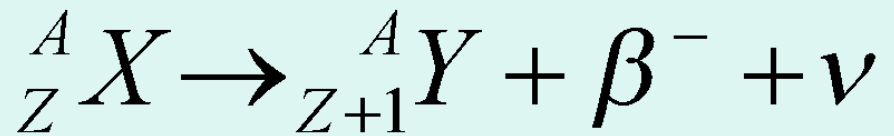
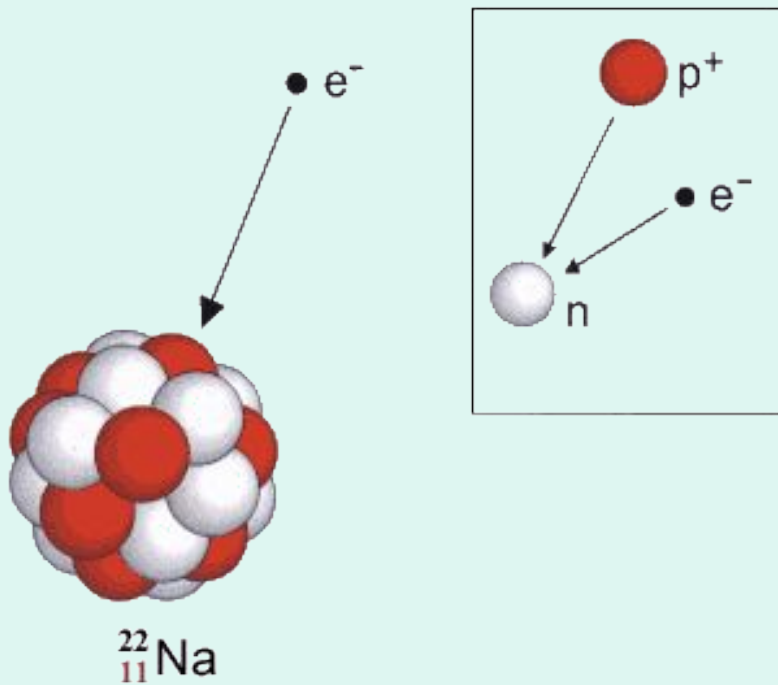
β -частица в 7000 раз меньше α -частицы, она движется непрямолинейно, имеет место эффект рассеяния β -частиц на электронах атома.

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

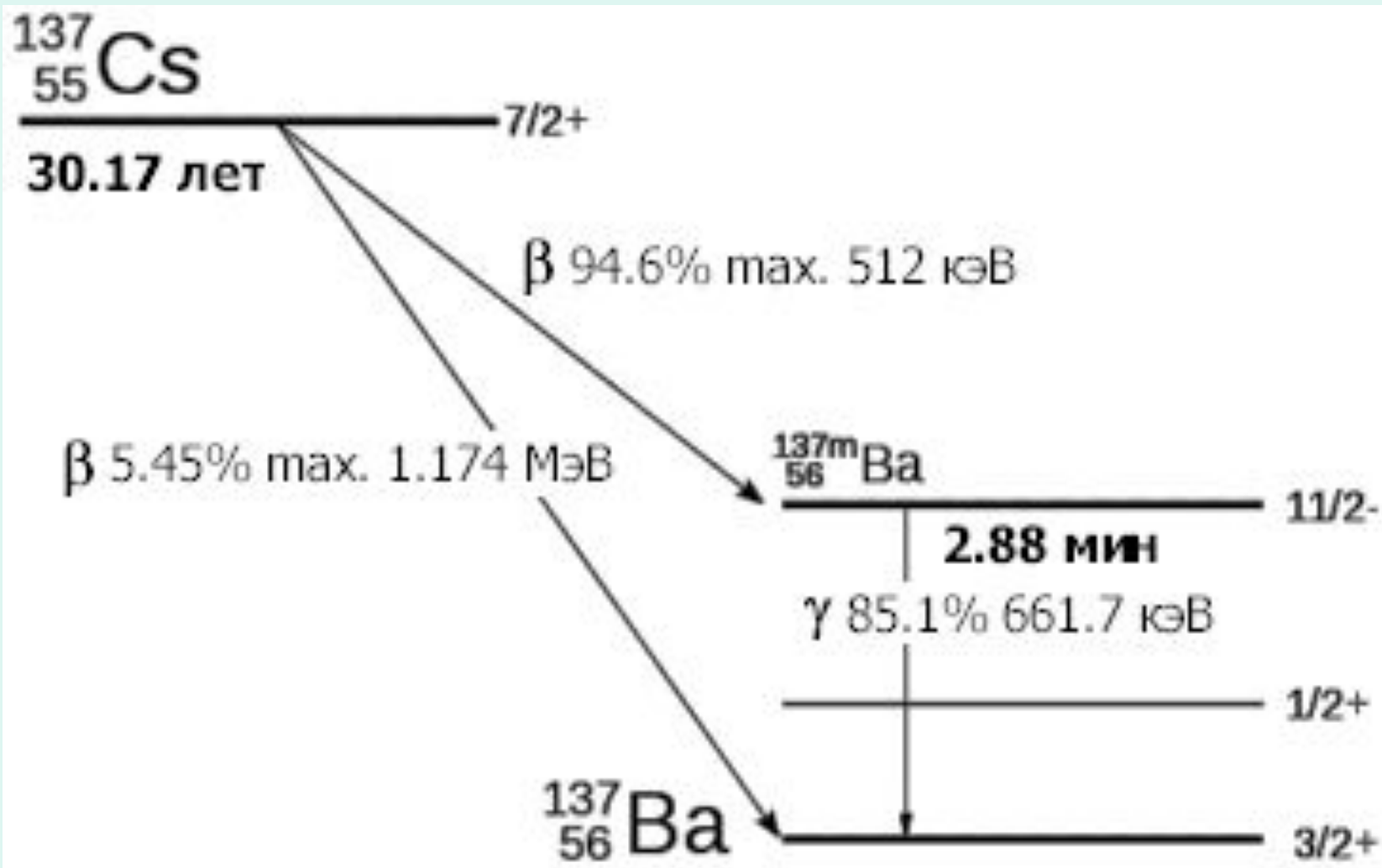
Для бета-частиц существенное значение имеет неупругое взаимодействие с атомными ядрами, приводящее к испусканию жёсткого электромагнитного излучения.

- **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.

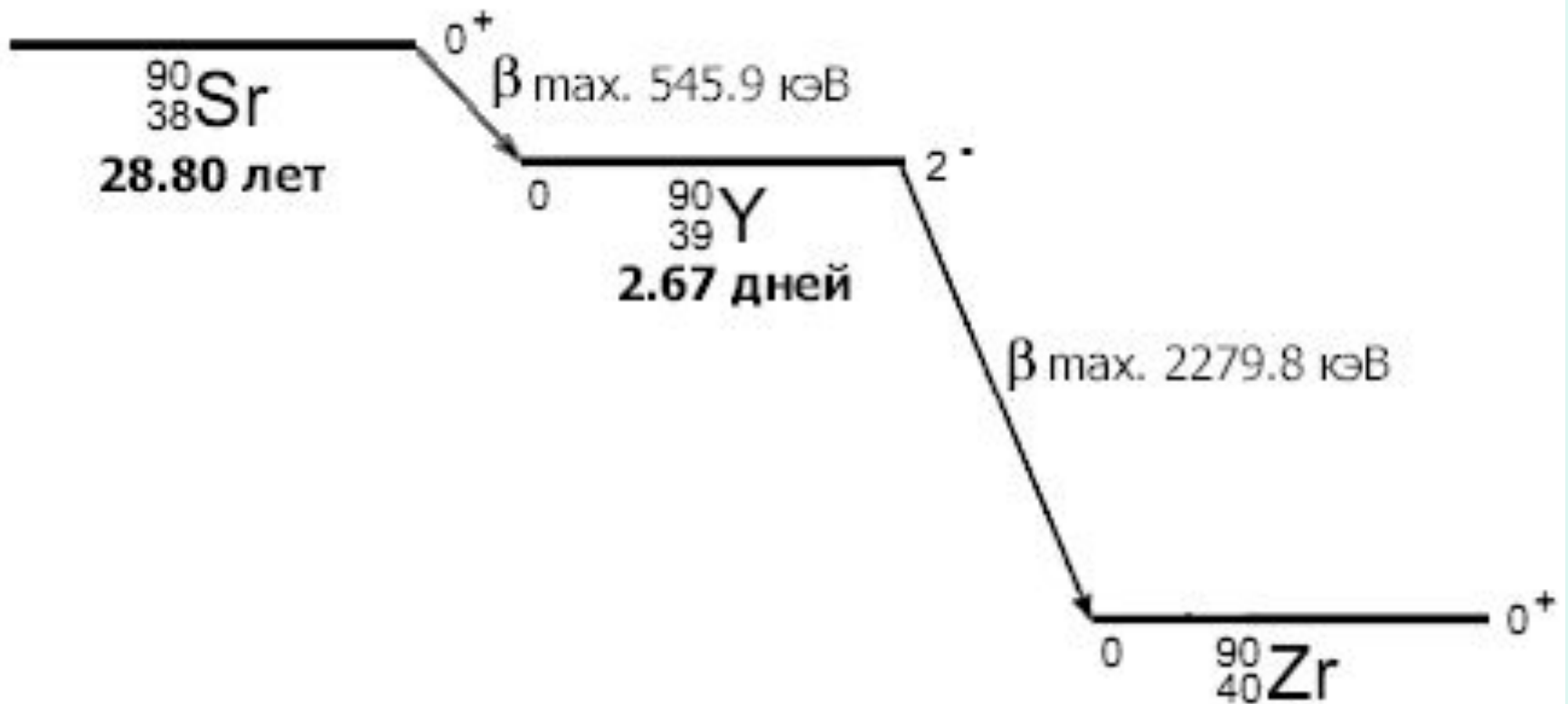




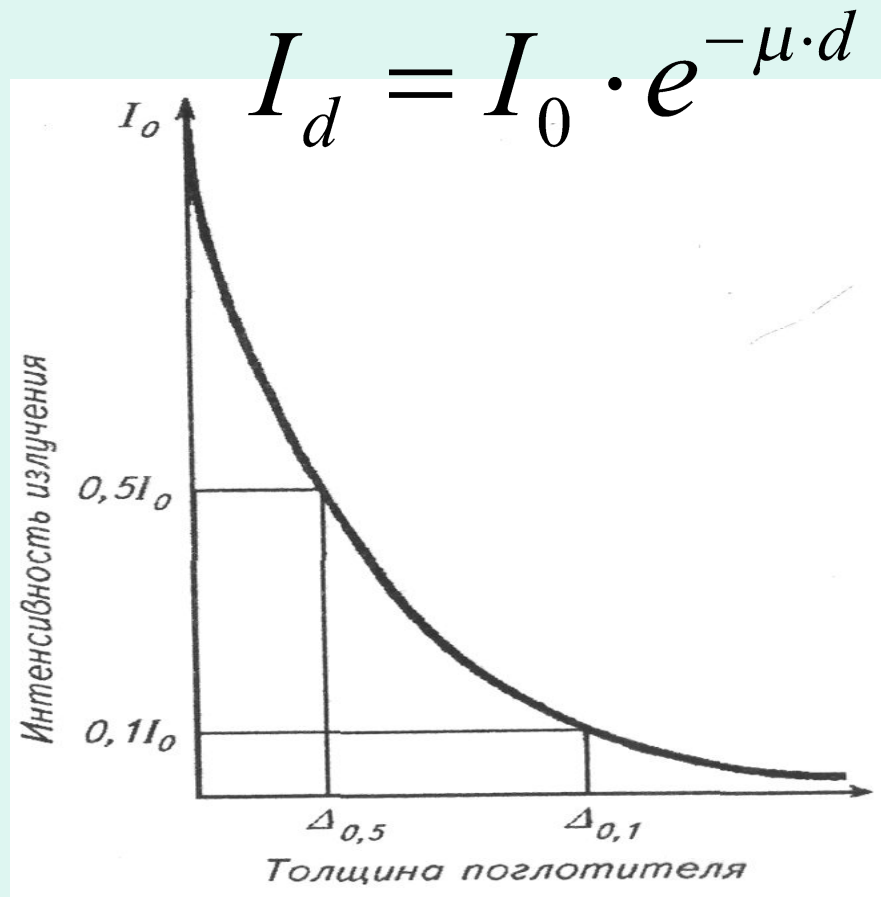
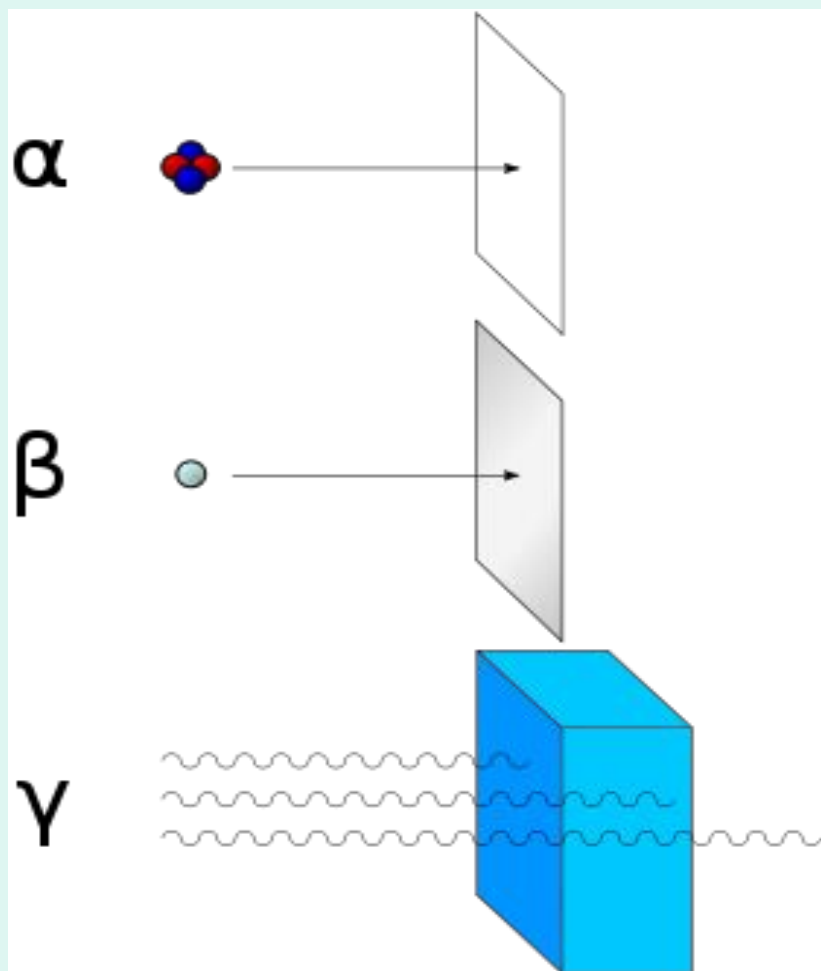
Распад радионуклида Cs-137



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 γ -излучения, измеренная при отсутствии защитного экрана, квант/с;

I_d - интенсивность γ -излучения при наличии защитного экрана, толщиной d см;

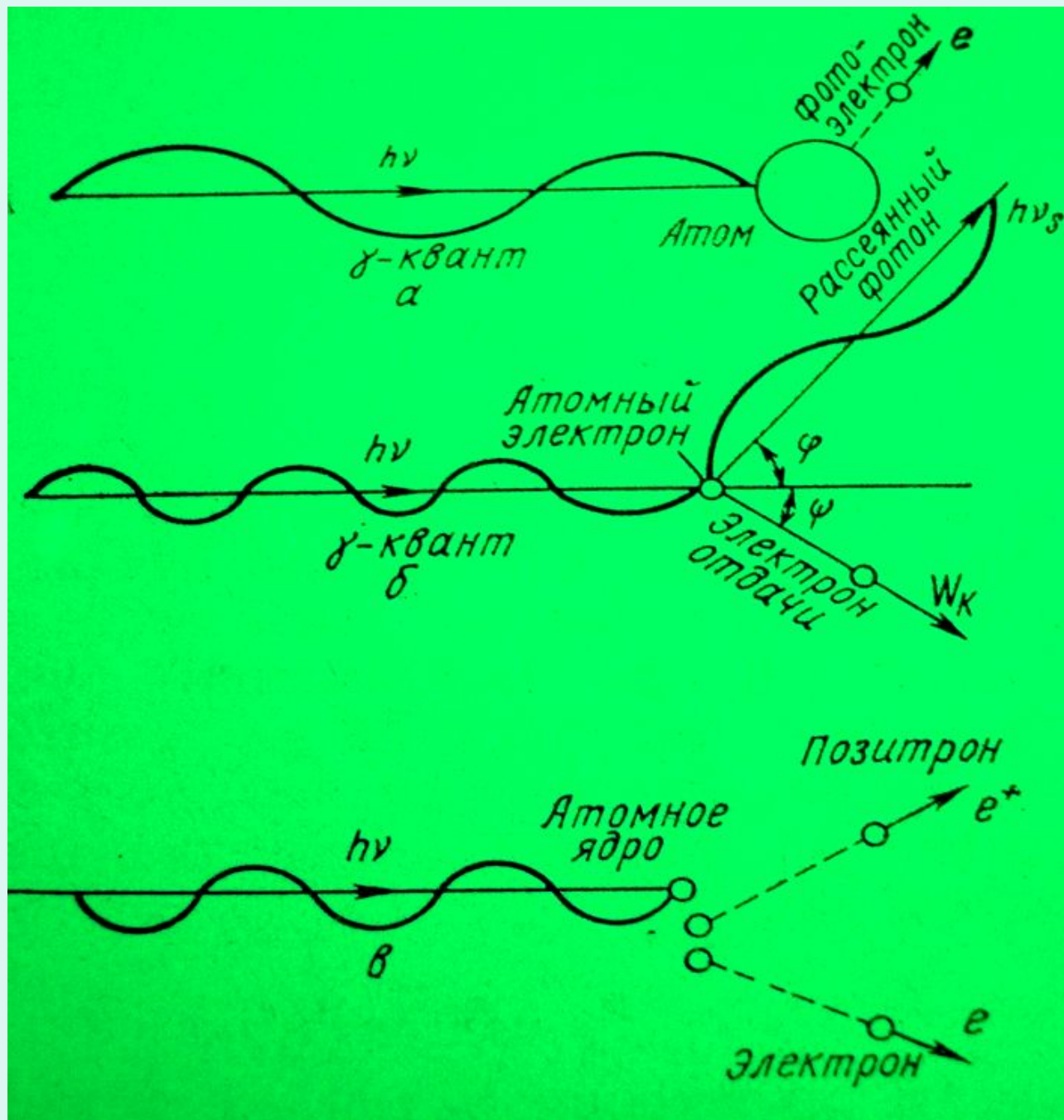
μ - линейный коэффициент ослабления γ -излучения в веществе, см^{-1} .

Взаимодействие γ -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 γ -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 γ -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 электроне 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.

Комpton-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 γ -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 - $2 m_0 \cdot c^2 = 1,022 \text{ МэВ}$

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

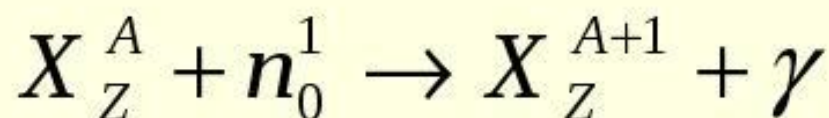
Деление
ядер

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

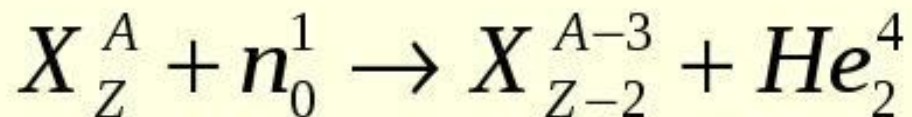
- Тепловой нейтрон будет блуждать в веществе до тех пор, пока не будет захвачен одним из ядер атомов поглощающей среды, в результате чего произойдет реакция:



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

Взаимодействие нейтронов с веществом

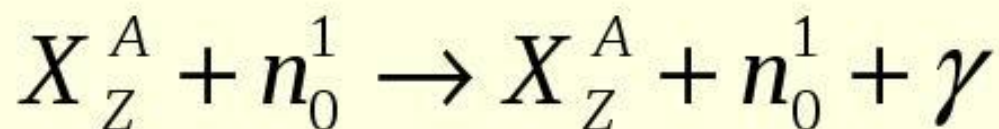
- Не только тепловые, но и быстрые нейтроны могут быть захвачены ядрами атомов. В результате произойдет ядерная реакция с вылетом α -частицы, протона и т. д. и образуется ядро другого элемента:



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, α -частицы, протоны и т. д., непосредственно производящие ионизацию, либо γ -излучение, которое, производит ионизацию в результате вторичных процессов.

Спасибо за внимание!

ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

Периоды	Ряды	ГРУППЫ ЭЛЕМЕНТОВ																Энергетический уровень			
		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	H водород 1,008																He гелий 4,003	к		
2	2	Li литий 6,941	Be бериллий 9,0122	B бор 10,811	C углерод 12,011	N азот 14,007	O кислород 15,999	F фтор 18,998										Ne неон 20,179	л		
3	3	Na натрий 22,99	Mg магний 24,312	Al алюминий 26,982	Si кремний 28,086	P фосфор 30,974	S сера 32,064	Cl хлор 35,453										Ar аргон 39,948	м		
4	4	K калий 39,102	Ca кальций 40,08	Sc скандий 44,956	Ti титан 47,867	V ванадий 50,941	Cr хром 51,996	Mn марганец 54,938	Fe железо 55,847	Co кобальт 58,933	Ni никель 58,7								Kr криптон 83,8	н	
	5	Cu медь 63,546	Zn цинк 65,37	Ga галлий 69,72	Ge германий 72,59	As мышьяк 74,922	Se селен 78,96	Br бром 79,904													о
5	6	Rb рубидий 85,468	Sr стронций 87,62	Y иттрий 88,906	Zr цирконий 91,224	Nb ниобий 92,906	Mo молибден 95,94	Tc технеций [98]	Ru рутений 101,07	Rh родий 102,906	Pd палладий 106,4								Xe ксенон 131,3	п	
	7	Ag серебро 107,868	Cd кадмий 112,41	In индий 114,82	Sn олово 118,69	Sb сурьма 121,75	Te теллур 127,6	I йод 126,905													р
6	8	Cs цезий 132,905	Ba барий 137,34	La лантаноиды [138,905]	Hf гафний 178,49	Ta тантал 180,948	W вольфрам 183,85	Re рений 186,207	Os осмий 190,2	Ir иридий 192,22	Pt платина 195,09										с
	9	Au золото 196,967	Hg ртуть 200,59	Tl таллий 204,37	Pb свинец 207,19	Bi висмут 208,98	Po полоний [210]	At астат [210]												Rn радон [222]	д
7	10	Fr франций [223]	Ra радий [226]	Ac актиноиды [227]	Rf реферфордий [261]	Db дубний [262]	Sg сигборгий [263]	Bh борий [262]	Hn ханний [265]	Mt мейтнерий [266]	110										ф
ВЫСШИЕ ОКСИДЫ		R ₂ O		RO		R ₂ O ₃		RO ₂		R ₂ O ₅		RO ₃		R ₂ O ₇		RO ₄					
ЛЕТУЧИЕ ВОДОРОДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ						RH ₄		RH ₃		H ₂ R		HR									



Д.И. Менделеев
1834-1907



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

ЛАНТАНОИДЫ

57 La лантан 138,905	58 Ce церий 140,12	59 Pr празодим 140,908	60 Nd неодим 144,24	61 Pm прометий [145]	62 Sm самарий 150,4	63 Eu европий 151,96	64 Gd гадолиний 157,25	65 Tb тербий 158,926	66 Dy диспрозий 162,5	67 Ho гольмий 164,930	68 Er эрбий 167,26	69 Tm тулий 168,934	70 Yb иттербий 173,04	71 Lu лютеций 174,967
-----------------------------------	---------------------------------	-------------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

АКТИНОИДЫ

89 Ac актиний [227]	90 Th торий 232,038	91 Pa протактиний [231]	92 U уран 238,029	93 Np нептуний [237]	94 Pu плутоний [244]	95 Am амерций [243]	96 Cm курий [247]	97 Bk беркелий [247]	98 Cf кальфорний [251]	99 Es эйзенштейний [254]	100 Fm фермий [257]	101 Md менделеевий [258]	102 No нобелий [259]	103 Lr лоуренсий [260]
----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	----------------------------------	--------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------

Современная периодическая система элементов Д.И.Менделеева

Стр. 1 из 2

1	1,00794	2	4,002602
1	1H	2	2He
2	3Li	4Be	9F
3	11Na	12Mg	19K
4	19K	20Ca	26Fe
5	37Rb	38Sr	44Zr
6	55Cs	56Ba	62Sm
7	87Fr	88Ra	90Th

Атомная масса, относительная
186.207

Атомный номер, Обозначение
75Re
 $[Xe] 4f^14 5d^5 6s^2$

Распределение электронов
3180

Температура плавления (°C)
5627

Температура кипения (°C)
1.9/1.46

Электронегативность
(по Полингу/по Аллреду и Рохову)

Название
Рений

Латинское название
Rhenium

Atomic mass, relative
186.207

Atomic No. Symbol
75Re
 $[Xe] 4f^{14} 5d^5 6s^2$

Electron configuration
3180

Melting point (°C)
5627

Boiling point (°C)
1.9/1.46

Electronegativity
(Pauling/Allred & Rochow)

Name
Rhenium

Latin name
Rhenium

Groups 1...18 IUPAC 1989
 Groups IA...VIIIB IUPAC 1970
 Группы 1...18 ИЮПАК 1989
 Группы IA...VIIIB ИЮПАК 1970

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	
	IIb	IVb	Vb	VIb	VIIb	VIII	VIII	VIII	IB	IIb	IIIa	IVa	Va	VIa	VIIa		
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Uun	Uuu	Uub	Uut	Uuq	Uup	Uuq	Uur	Uus

* Element has no stable nuclides. For radioactive elements the value in parentheses refers to the number of nuclides (mass number) of the most stable isotope (IUPAC, 1985)
 * Элемент не имеет устойчивых изотопов. Для него в скобках приведено значение массового числа (по числу нуклонов в ядре) наиболее долгоживущего изотопа (ИЮПАК, 1985).

() Alternative English name
 () American spelling of the element's name
 () Alternative English name
 () Латинское название
 () Американское написание латинского названия элемента

58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

© P.C.Сайфуллин, А.Р.Сайфуллин, 2004
 © R.S.Saifullin, A.R.Saifullin, 2004

18
 0
 4.002602
 2He
 -273.2
 -268.93
 123 eV
 Helium
 Гелий
 20.1797
 2s²
 -248.7
 -248.06
 10.8 eV
 Neon
 Неон
 39.948
 2s² 2p⁶
 -189.2
 -185.7
 7.7 eV
 Argon
 Аргон
 39.96
 2s² 2p⁶
 -192.5
 -192.3
 6.8 eV
 Krypton
 Криптон
 83.80
 2s² 2p⁶
 -196.5
 -152.3
 6.5 eV
 Xenon
 Ксенон
 131.29
 2s² 2p⁶
 -117.1
 -118.9
 8.1 eV
 Radon
 Радон