



**ВОЛГОГРАДСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

**КАФЕДРА
ПАТОФИЗИОЛОГИИ,
КЛИНИЧЕСКОЙ
ПАТОФИЗИОЛОГИИ**



ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ С ВЕЩЕСТВОМ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО И НЕЙТРОННОГО ВИДОВ ОБЛУЧЕНИЯ

**Лекция по дисциплинам «Радиобиология» и
«Общая и медицинская радиобиология»
для студентов, обучающихся по
специальностям
«Медико-профилактическое дело» и
«Медицинская биохимия»**

Лектор:
доцент кафедры патофизиологии, клинической
патофизиологии, к.м.н. Е.А. Музыко



Цель лекции:

изучить особенности взаимодействия с веществом электромагнитного и нейтронного видов облучения.





Вопросы лекции:

1. Строение и основные характеристики атома. Свойства ионизирующих излучений.
2. Электромагнитные излучения высоких энергий. Способы поглощения электромагнитного излучения веществом. Принципы защиты от электромагнитных ионизирующих излучений.
3. Способы поглощения нейтронов веществом. Принципы защиты от нейтронной компоненты облучения.



1. Строение и основные характеристики атома. Свойства ионизирующих излучений.

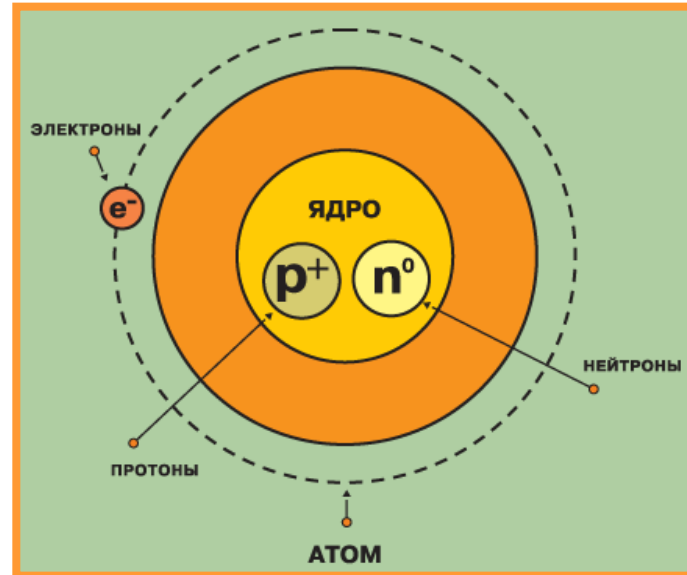
Модель Резерфорда

Диаметр атома составляет величину порядка 10^{-8} см.

В 1911 году английский физик Эрнест Резерфорд предложил планетарную модель строения атома.

В ней атом представлен в виде миниатюрной солнечной системы.

1. В центре атома находится положительно заряженное *ядро*, занимающее ничтожную часть пространства внутри атома.
2. Весь положительный заряд и почти вся масса атома сосредоточены в его ядре.
3. Ядра атомов состоят из **протонов** и **нейтронов (нуклонов)**.
4. Вокруг ядра по **замкнутым орбитам** вращаются **электроны**.



Частица	Заряд	Массовое число
Электрон e^-	-1	0
Протон p^+	+1	1
Нейтрон n^0	0	1





СТРОЕНИЕ ЯДРА

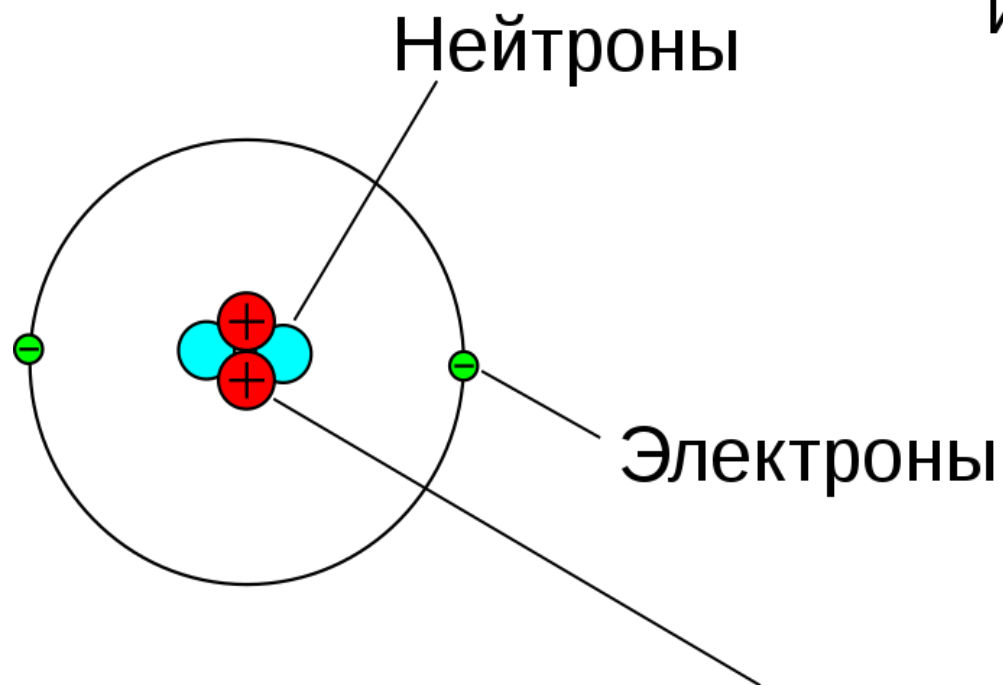
Сумма чисел протонов и нейтронов в атоме называется
массовым числом

$$\underset{\substack{\text{число} \\ \text{протонов}}}{Z} + \underset{\substack{\text{число} \\ \text{нейтронов}}}{N} = \underset{\substack{\text{массовое} \\ \text{число}}}{A}$$

Из этой формулы можно определить:

$$N = A - Z$$

СТРОЕНИЕ ЯДРА

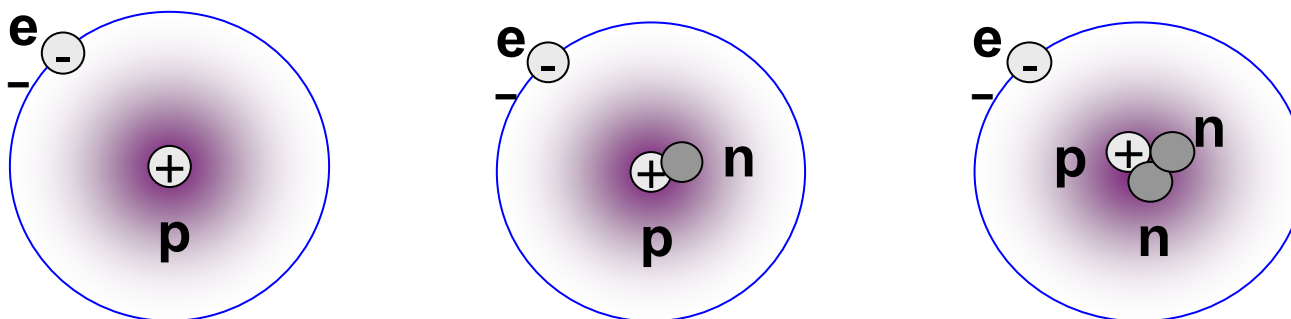


Массовое число равно сумме количества протонов и нейтронов в ядре.



Это число указывает на количество протонов в ядре.
У нейтральных атомов оно равно числу электронов.

Атомы элемента, имеющие один и тот же заряд ядра, но разные массы, называются **изотопами**. В зависимости от количества нейтронов в ядре атомные массы отдельных изотопов одного и того же элемента различаются.

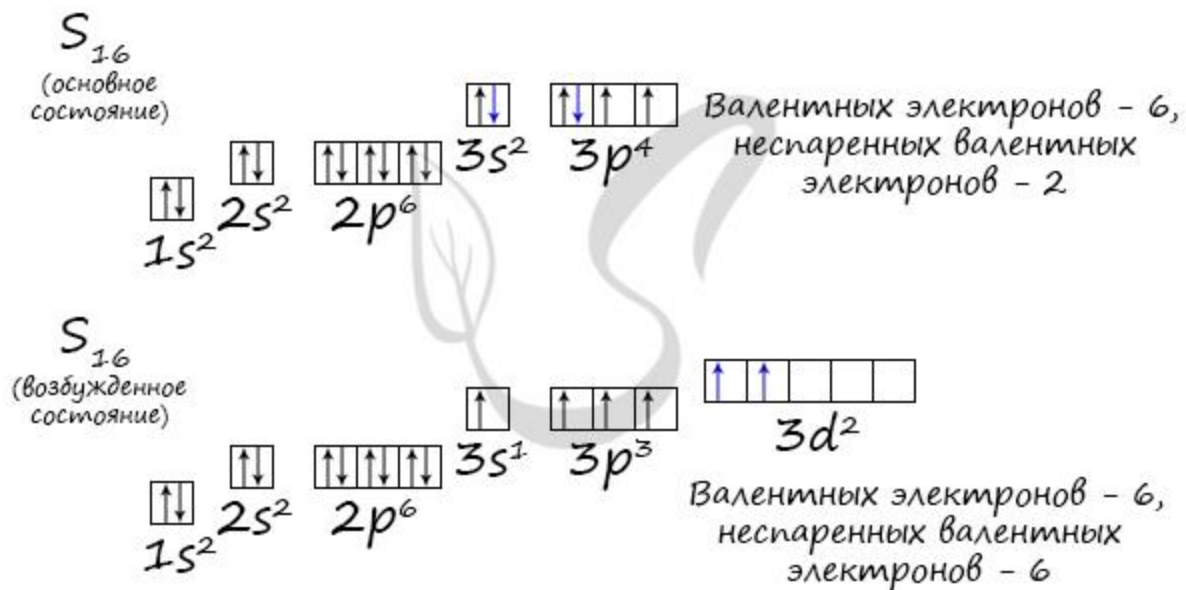


Изотопы водорода		Водород ^1H	Дейтерий ^2D	Тритий ^3T
Число протонов (Z)	одинаковое	1	1	1
Число нейтронов N	разное	0	1	2
Массовое число A	разное	1	2	3



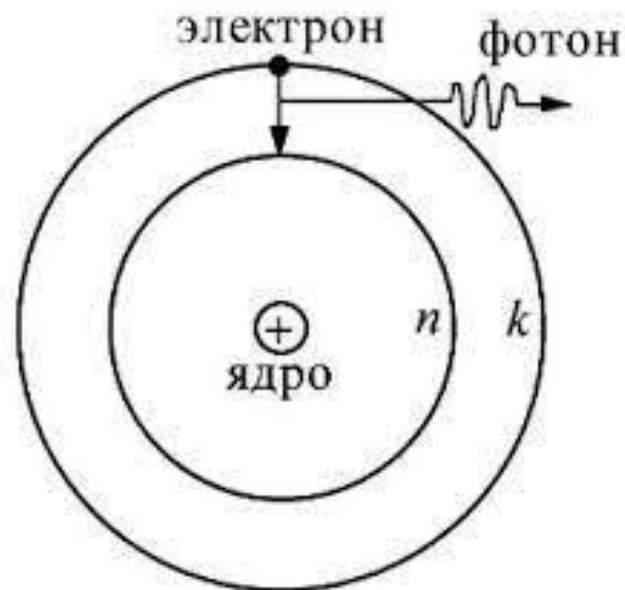
- Состояние атома, когда все его электроны располагаются на допустимо наиболее близких к ядру орбитах и связаны с ним электрическими силами наиболее прочно, называется **основным**.
- Если один или несколько электронов связаны слабее, то есть находятся на более отдаленных от ядра орбитах при не полностью заполненных более близких, такое состояние атома называется **возбужденным**.

Основное и возбужденное состояние



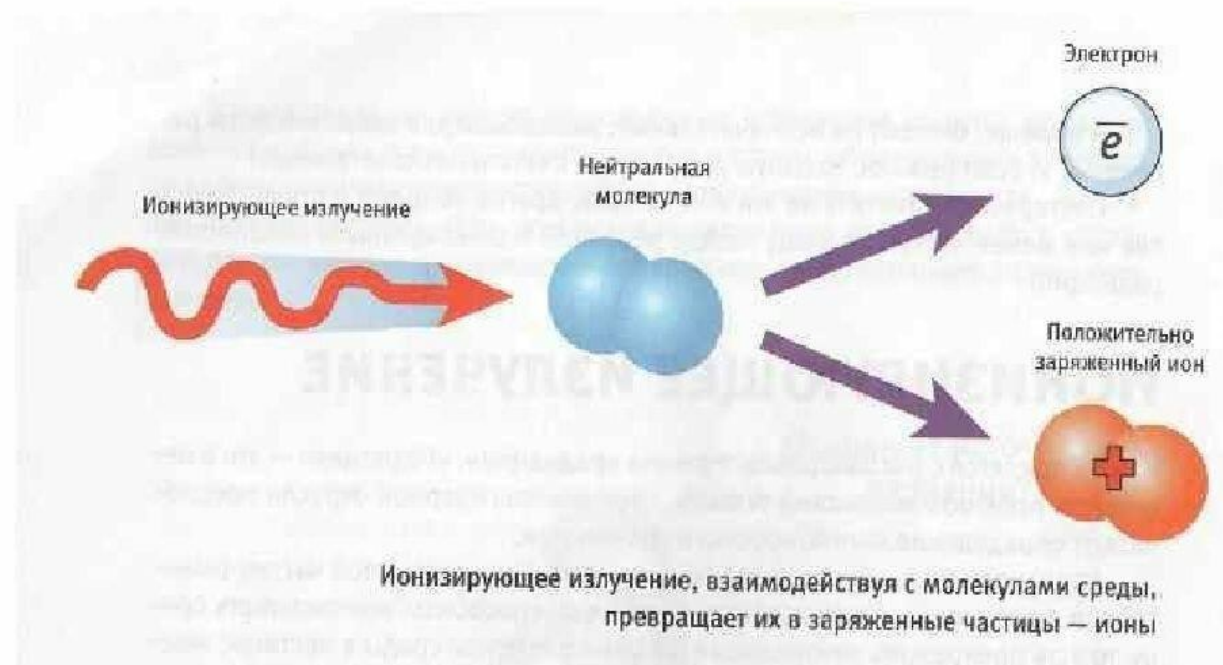


- Переход электрона с одного энергетического уровня на другой сопровождается испусканием или поглощением **кванта света (фотона)**.
- Поскольку число «дозволенных» энергетических уровней в атоме каждого элемента ограничено, ограничен и спектр излучения фотонов, испускаемых этими атомами при возвращении их в основное состояние после возбуждения.



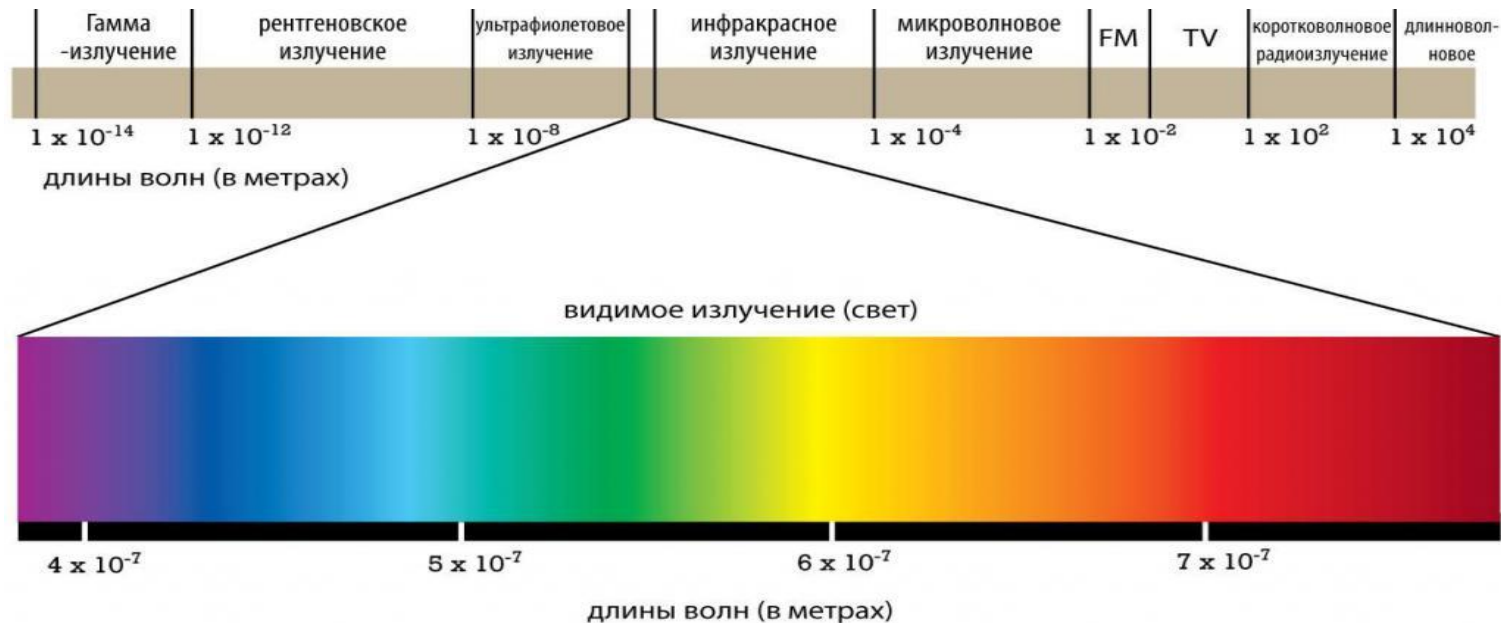


**Чтобы вырвать из атома электрон,
надо передать ему энергию, равную
или большую, чем энергия связи
электрона с ядром.**





- Бомбардировка тяжелых элементов ускоренными электронами приводит к вырыванию электронов с внутренних оболочек.
- Наступающий вслед за этим переход электронов с внешних оболочек на «вакантные места» на внутренних орбитах сопровождается испусканием так называемого **характеристического излучения**.
- Кванты характеристического излучения имеют более короткую длину волны по сравнению со световыми и относятся к области **рентгеновых лучей**.





- Соотношение числа протонов и нейтронов в ядрах влияет на устойчивость изотопа, то есть способность неограниченно долго сохраняться в неизменном состоянии. Такие изотопы получили наименование ***стабильных***.
- Неустойчивые ядра могут претерпевать различные самопроизвольные превращения — подобные изотопы называют ***радиоактивными***.

Стабильные изотопы	Радиоактивные изотопы
^2D	^3H
^{15}N	^{14}C
^{18}O	^{32}P
	^{35}S
	^{35}Ca
	^{125}I
	^{131}I



- Природные радионуклиды связаны между собой генетическим родством, образуя ряд семейств, возглавляемых ядрами-прародителями.
- Наиболее важны из них атомы ^{238}U , ^{232}Th и ^{235}U , называвшегося ранее актиноураном (поэтому его семейство часто называют семейством актиния).
- Конечными продуктами многоступенчатых превращений ядер атомов этих семейств после ряда α - и β -распадов (и образования промежуточных нестойких ядер) оказываются изотопы свинца с массой 206, 207 и 208 соответственно.

Радиоактивные ряды

Ряд	Радионуклид родоначальник	$T_{1/2}$	Эманация	$T_{1/2}$	Конечный нуклид
$A=4n+0$	$^{232}_{90}\text{Th}$	$1,4 \times 10^{10}$ лет	$^{220}_{86}\text{Rn}$	54 с	$^{208}_{82}\text{Pb}$
$A=4n+2$	$^{238}_{92}\text{U}$	$4,5 \times 10^9$ лет	$^{222}_{86}\text{Rn}$	3,8 дн	$^{206}_{82}\text{Pb}$
$A=4n+3$	$^{235}_{92}\text{U}$	$7,1 \times 10^8$ лет	$^{219}_{86}\text{Rn}$	3,9 мин	$^{207}_{82}\text{Pb}$

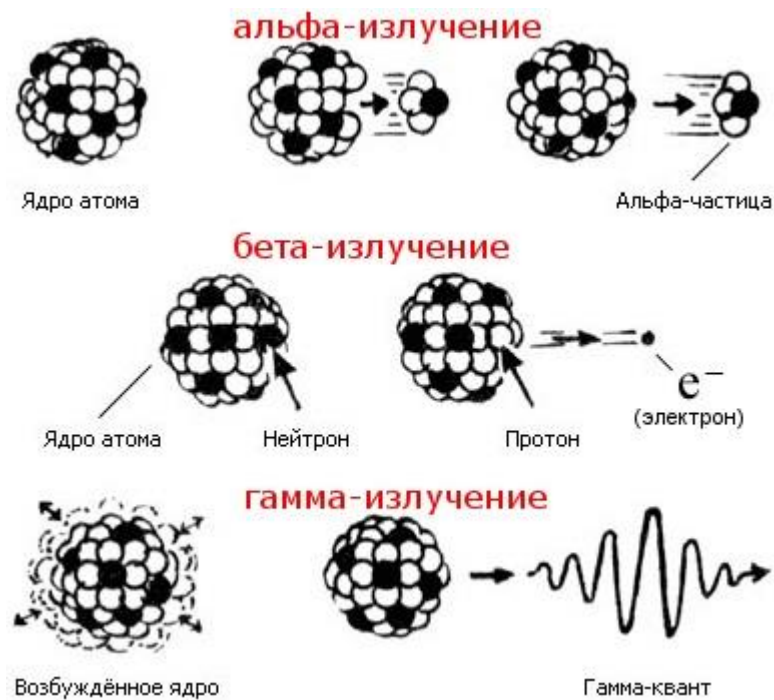


Существует четыре вида радиоактивного распада:

- 1) альфа-распад,
- 2) бета-распад (в том числе электронный захват),
- 3) спонтанное деление тяжелых ядер,
- 4) протонная радиоактивность.

Основными являются первые два вида распада, при которых испускаются **альфа- и бета-частицы** (электроны или позитроны).

Радиоактивный распад часто сопровождается возникновением квантов **гамма-излучения**, которое представляет собой поток фотонов (квантов электромагнитного излучения) с очень малой длиной волны (менее 10^{-10} м).





2. Электромагнитные излучения высоких энергий. Способы поглощения электромагнитного излучения веществом.

ОСНОВНЫЕ СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ ИОНИЗИРУЮЩИХ ИЗЛУЧЕНИЙ



- **Ионизирующие излучения — это излучения, вызывающие при взаимодействии с веществом ионизацию и возбуждение его атомов и молекул.**
- **Важной особенностью большинства видов ионизирующих излучений является их высокая проникающая способность, а отсюда способность взаимодействовать с атомами вещества в глубине объекта.**

По физической природе все ионизирующие излучения подразделяются на:

- 1) **электромагнитные,**
- 2) **корпускулярные.**

Электромагнитные излучения

- рентгеновские
- гамма-излучение

Корпускулярные излучения

- электроны и позитроны (бета-частицы)
- протоны (р-частицы, ядра водорода),
- дейтроны (ядра дейтерия)
- α -частицы (ядра гелия)
- тяжелые ионы (ядра других элементов)
- нейтроны
- отрицательно заряженные мезоны

обладают высокой энергией

Отличительной особенностью корпускулярного излучения является то, что частицы обладают большим запасом кинетической энергии, и способны с высокой скоростью перемещаться в пространстве, вызывая возбуждение и ионизацию атомов.





Более удобно подразделение ионизирующих излучений **по особенностям их взаимодействия с веществом**. В этом случае различают :

**Электрически
нейтральные
излучения**

- рентгеновские
- гамма-излучение
- нейтроны

**Ускоренные
заряженные частицы**

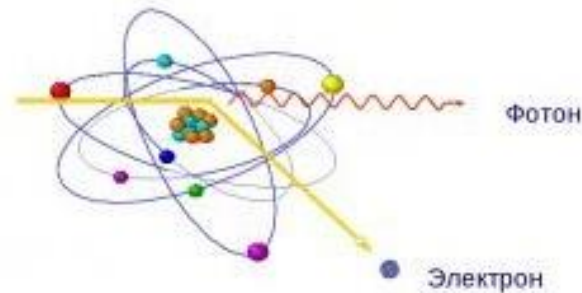
- все остальные,
помимо нейтронов,
разновидности
корпускулярного
излучения



Тормозное излучение возникает при торможении в электрическом поле атомных ядер ускоренных заряженных частиц, обычно электронов (неупругое торможение).

В частности, при работе рентгеновского аппарата наблюдается следующий процесс.

- 1) Электрон, имеющий энергию, как правило, выше 1 МэВ, при прохождении вблизи ядра атома теряет скорость и энергию.
- 2) При этом испускаются фотоны тормозного излучения, летящие в том же направлении, что и электрон.

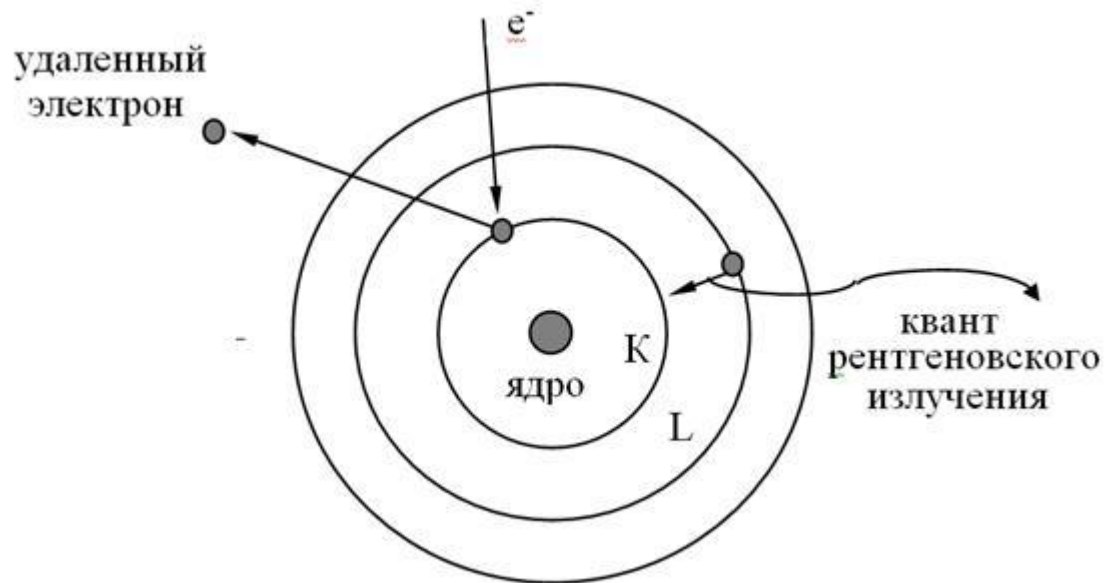


- 3) Так как электроны в кулоновском поле анода тормозятся по-разному, то и в энергию излучения переходит разная доля энергии электронов, поэтому спектр тормозного излучения сплошной.



Характеристическое излучение возникает при переходе электрона с одной из внешних орбит на вакантное место, образовавшееся на внутренней орбите.

Такое происходит, например, при возвращении возбужденных атомов анода рентгеновских трубок в исходное состояние. При этом испускаются фотоны излучения с характерным для элементов, из которых построен анод, спектром энергий (как правило, не более 100-200 кэВ).





Возникающее при перестройке ядер атомов радиоактивных элементов излучение также моноэнергетично (то есть имеет линейный спектр) или характеризуется ограниченным числом фиксированных энергий (до нескольких МэВ).

Тормозное и характеристическое излучения обычно относят к рентгеновым лучам, а образующееся при ядерных перестройках — к гамма-излучению.

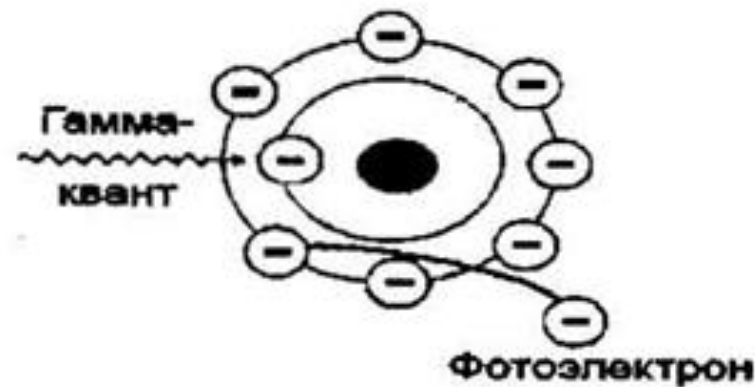
- При таком разделении спектры рентгеновых и γ -лучей перекрываются. Нет принципиальных различий между ними и по физическим свойствам. Часто, независимо от происхождения, излучение с энергией фотонов до 250 кэВ относят к рентгеновскому излучению, а выше 250 кэВ — к гамма-излучению. По длине волны эта граница соответствует примерно 0,05 ангстрем.

Процессы поглощения энергии электромагнитного излучения веществом



1. Фотоэффект — поглощение одной из внутренних атомных электронных оболочек всей энергии фотона с превращением ее в кинетическую энергию «выбитого» из атома электрона. При этом электрон с большой скоростью вылетает из атома, который превращается в положительно заряженный ион.

Фотоэффект характерен для длинноволнового рентгеновского излучения (**при энергии фотонов до 0,05 МэВ**), а с повышением энергии излучения вероятность его уменьшается.



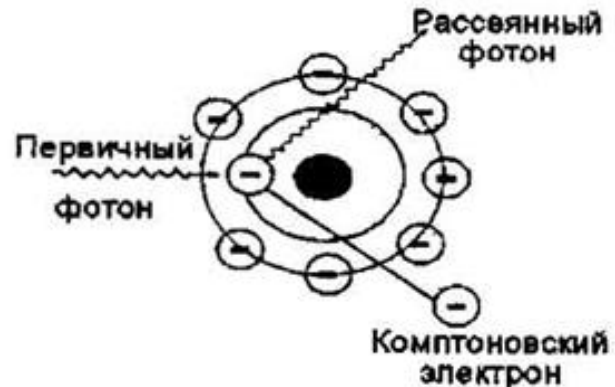


2. Эффект Комптона, или некогерентное рассеяние — передача электрону лишь части энергии фотона.

В результате столкновения квант отклоняется от первоначального направления, а электрон вылетает из атома. Оставшуюся часть энергии «рассеянный» или вновь образованный фотон может освободить, взаимодействуя с другими атомами по типу фотоэффекта или посредством эффекта Комптона.

Таким образом, при этом процессе возникает рассеянное рентгеновское или гамма-излучение, более мягкое по сравнению с падающим.

Доля энергии, поглощенной комптоновскими электронами, возрастает с увеличением энергии падающего излучения, а **при энергиях квантов от 0,1 до 2,0 МэВ** на долю эффекта Комптона приходится до 100 % поглощенной энергии излучения.



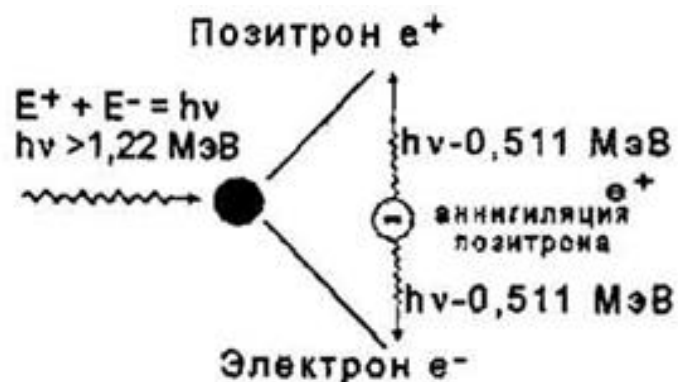


3. Образование электрон-позитронных пар происходит при прохождении гамма-кванта в непосредственной близости от ядра атома.

При этом высокоэнергетичный квант может превращаться в две частицы: электрон и позитрон. С самим атомом ничего не происходит, а поле атома лишь создает условия для образования электрон-позитронной пары.

Это основной вид взаимодействия фотонов с веществом при их энергии более 50 МэВ, что удастся получить лишь искусственным путем в лабораторных условиях.

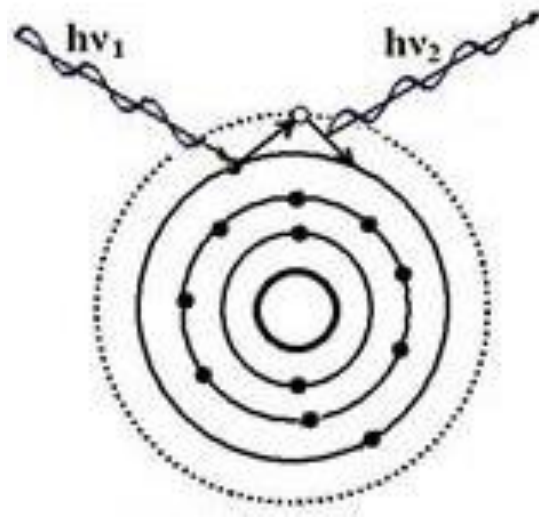
Вероятность такого процесса возрастает также с увеличением атомной массы, поэтому для тяжелых элементов она гораздо выше, чем для легких.



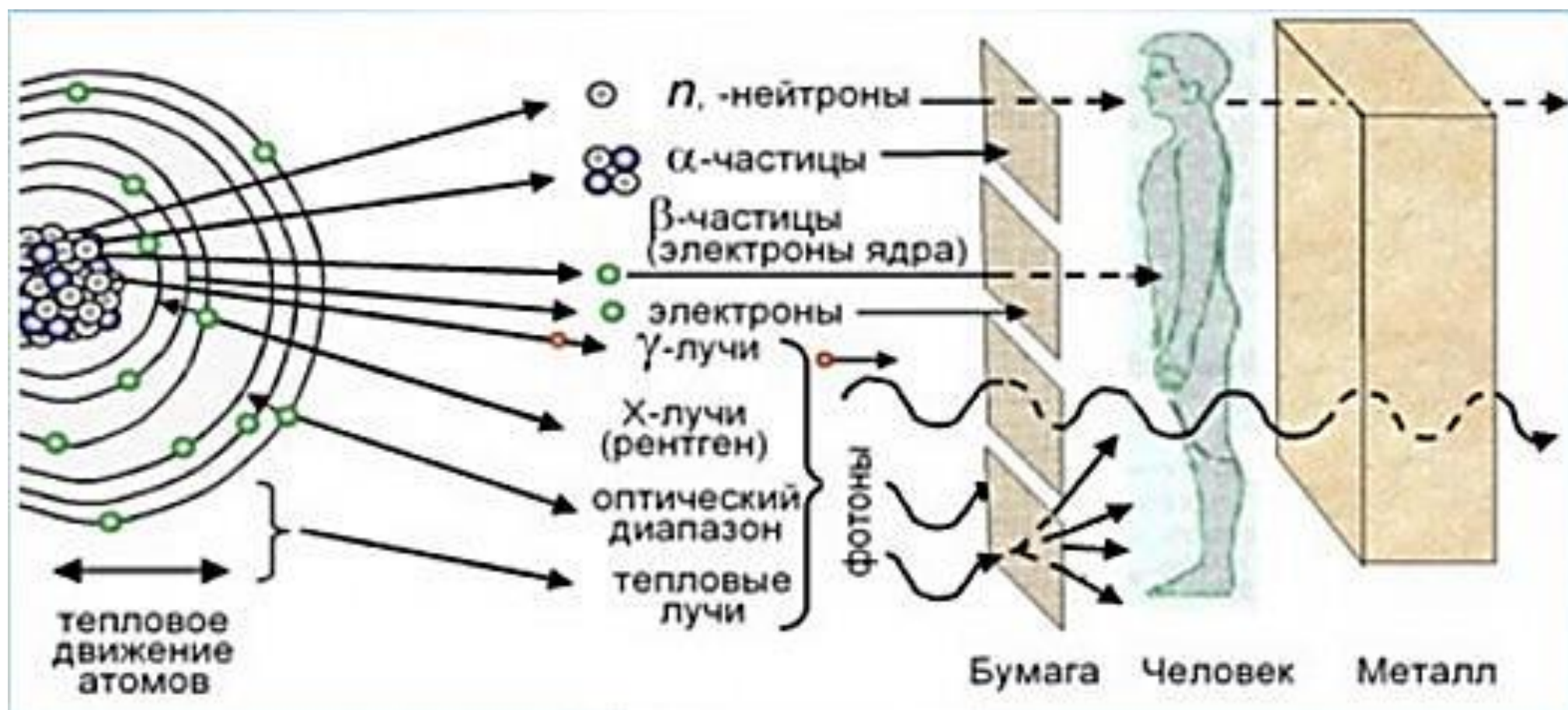


4. Существует еще один вид взаимодействия электромагнитного излучения с веществом — **когерентное рассеяние**, под которым понимают изменение направления движения кванта без потери энергии.

Этот процесс имеет значение только в случае самого мягкого рентгеновского излучения, а в остальных ситуациях его можно не учитывать.



Пунктиром показана орбита возбужденного электрона.





При прохождении электромагнитных ионизирующих излучений через вещество их энергия уменьшается за счет её поглощения. Это уменьшение характеризуется линейным коэффициентом ослабления μ , который описывается **законом Бугера**:

$$I(x) = I_0 e^{-\mu x},$$

где

I_0 — интенсивность падающего,

$I(x)$ — интенсивность прошедшего через преграду толщиной x излучения,

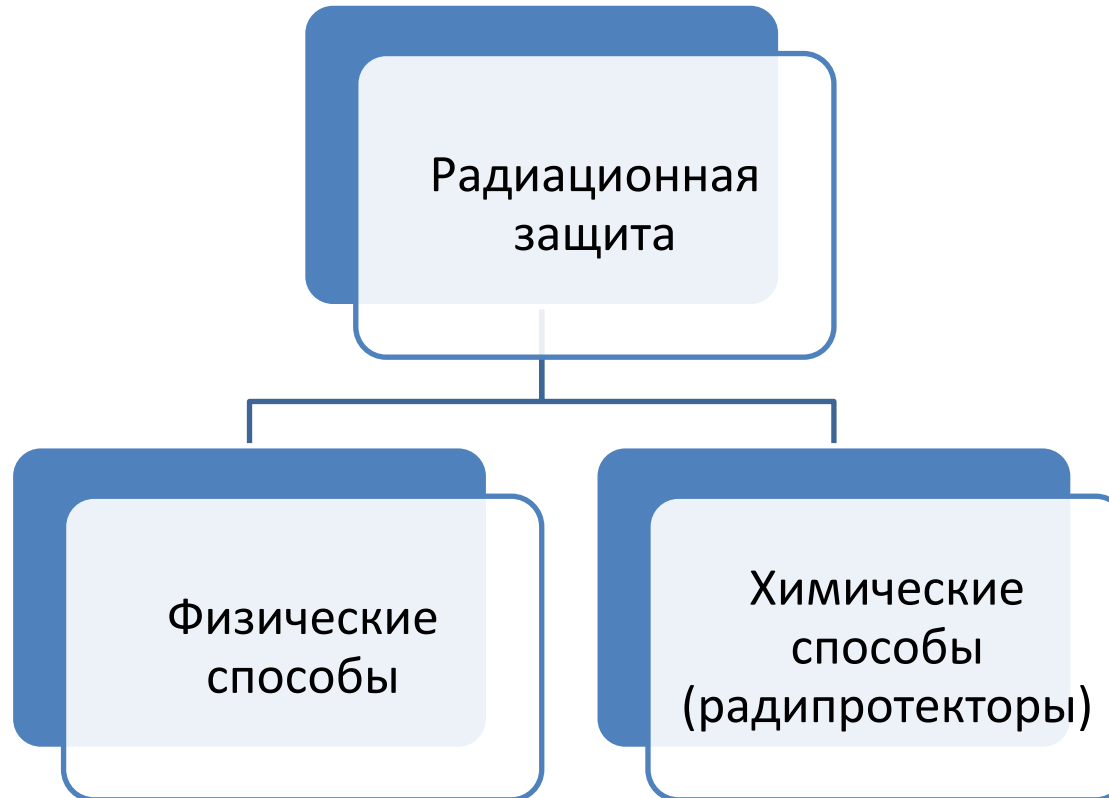
e — основание натурального логарифма,

μ — показатель экспоненты — характеризует поглощающую (или экранирующую) способность вещества.

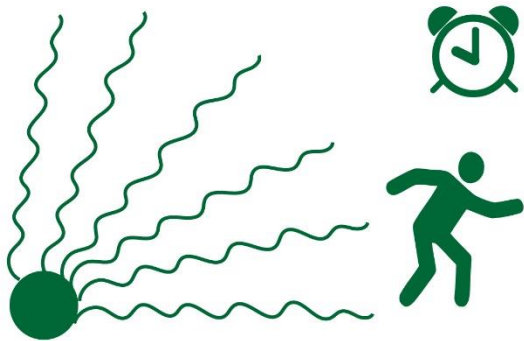
Принципы защиты от электромагнитных ионизирующих излучений.



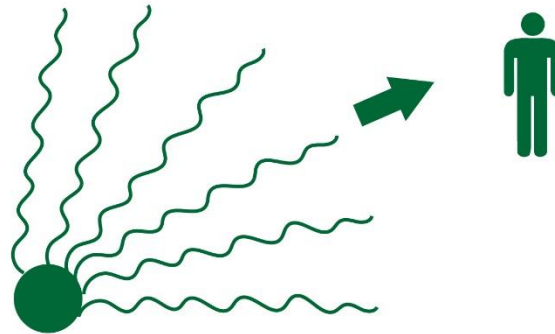
Радиационная защита — комплекс мероприятий, направленный на защиту живых организмов от ионизирующего излучения, а также, изыскание способов ослабления поражающего действия ионизирующих излучений; одно из направлений радиобиологии.



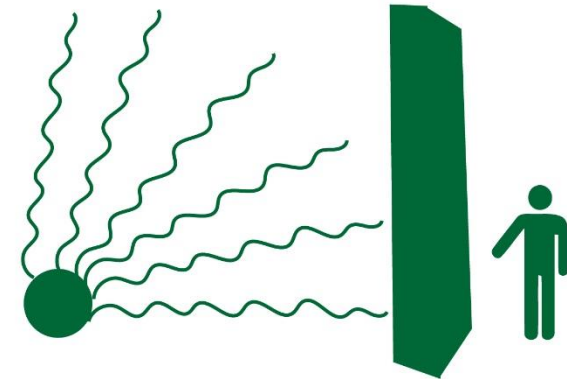
Физические способы защиты



Чем меньше времени
рядом с источником
радиации, тем меньше
доза облучения.



Чем больше расстояние от
источника радиации, тем
меньше доза облучения.



Защита от источника
радиации экраном
уменьшает дозу облучения.



3. Способы поглощения нейтронов веществом. Принципы защиты от нейтронной компоненты облучения.

Основные характеристики взаимодействия нейтронов с веществом



- Нейтроны не несут электрического заряда и поэтому могут беспрепятственно проникать вглубь атомов.
- При столкновении с ядрами атомов нейтроны:
 - 1) либо отталкиваются от них (упругое рассеяние),
 - 2) либо поглощаются ими (неупругое рассеяние).



1. Упругое рассеяние — нейтрон и ядро сталкиваются и разлетаются словно два шарика.

Нейтрон при этом теряет часть своей энергии и замедляется, а **потерянная нейтронами** в процессе упругого рассеяния энергия **передается протонам или другим ядрам отдачи**, отличающимся высокой способностью к ионизации.



Упругое рассеяние является основным путем потери энергии нейтронами деления и синтеза ядер, причем **чем выше их энергия, тем больше доля участия в ионизации вещества процессов упругого рассеяния.**



2. Неупругое рассеяние — после столкновения с ядром часть энергии нейтрона расходуется на возбуждение ядра атома отдачи.

- Возвращаясь практически мгновенно в основное состояние, ядро испускает гамма-квант.
- Нейтрон же теряет часть своей энергии и замедляется как и при упругом рассеянии.



3. Радиационный захват с испусканием гамма-кванта — нейтрон захватывается ядром атома и входит в его состав.

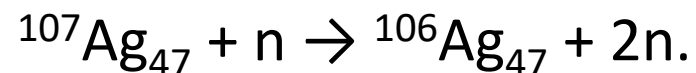
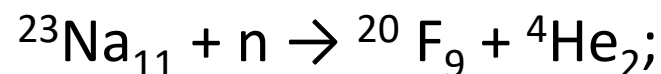
- При этом ядро переходит в возбужденное состояние, а затем, возвращаясь в основное состояние, испускает гамма-квант.
- В результате этого процесса возникает **изотоп того же элемента, но с атомной массой на единицу больше**, например:



Радиационный захват может происходить при любых энергиях нейтронов, но вероятность развития этого процесса сильно возрастет **с уменьшением кинетической энергии нейтронов.**



4. Радиационный захват с испусканием частицы — испускаются протоны, альфа-частицы или нейтроны. Примерами подобных ядерных перестроек могут служить следующие реакции:



Для захвата с испусканием частиц характерно **наличие порога**, то есть при энергиях нейтронов меньше определенного порогового значения вероятность развития этого процесса практически равна нулю.



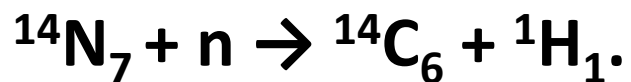
Преимущественный вклад того или иного вида ядерного взаимодействия в поглощение нейтронного излучения зависит от состава облучаемого вещества и от кинетической энергии нейтронов.

В зависимости от энергии **нейтроны могут быть разделены на следующие группы:**

- сверхбыстрые, или релятивистские ($E > 10^3$ МэВ);
- очень больших энергий ($E = 10 - 10^3$ МэВ);
- быстрые ($E = 0,1 - 10$ МэВ);
- промежуточные ($E = 0,5 - 100$ кэВ);
- медленные ($E = 0,1$ эВ - $0,5$ кэВ);
- тепловые ($E < 0,1$ эВ).



В тканях организма наибольшее значение имеют реакции захвата медленных нейтронов водородом, натрием, фосфором, калием и кальцием:





Таким образом, биологическое действие нейтронов связано с возникающими вследствие их взаимодействия с веществом гамма-квантами, протонами и другими ядрами отдачи, которые являются основным источником ионизации и возбуждения атомов и молекул.

Вот почему нейтроны, как и гамма-кванты, относятся к косвенно ионизирующим видам излучения.

Хотя образующиеся при нейтронном облучении заряженные частицы сами по себе обладают небольшой глубиной проникновения, **возникают они на разной глубине благодаря высокой проникающей способности нейтронов.**

Принципы защиты от нейтронной компоненты облучения



Защита от нейтронов должна быть многослойной:

1. замедление быстрых нейтронов

Быстрые нейтроны очень слабо поглощаются веществом, поэтому прежде всего их нужно замедлить. Для этой цели применяются вещества, содержащие легкие атомы: **вода, пластмасса, графит.**

2. поглощение медленных нейтронов

После этого получившиеся медленные нейтроны необходимо *поглотить* веществами, в которых хорошо идут реакции радиационного захвата: **бор, кадмий.**

3. ослабление гамма-излучения

При радиационном захвате испускаются гамма-кванты, поэтому в целях защиты от нейтронов кроме веществ замедлителей и поглотителей следует использовать материалы, хорошо *поглощающие гамма-кванты (например, свинец).*



**Благодарю за
внимание!!!**