

Ионизирующие излучения, ОСНОВЫ ДОЗИМЕТРИИ

- ☐ Рентгеновское излучение. Физические принципы рентгенодиагностики.
- ☐ Основные характеристики ядер атомов.
- ☐ Радиоактивный распад. Виды распада.
- ☐ Спектры альфа-, бета- и гамма-излучений. Активность и единицы активности.

Петрова Е.С., к.ф-м.н, доцент
кафедра медицинской и биологической физики

Petrova E.S., PhD
Department of Medical and Biological Physics



Рентгеновское излучение



- ❖ Рентгеновское излучение, его природа.
- ❖ Тормозное и характеристическое рентгеновское излучение.
- ❖ Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом.
- ❖ Слой половинного ослабления. Защита от рентгеновского излучения. Физические принципы рентгенодиагностики и рентгенотерапии.
- ❖ Понятие о рентгеновской компьютерной томографии.

Рентгеновское излучение

Тормозное и характеристическое рентгеновское излучение



Wilhelm Conrad
Röntgen (Roentgen)
(1845-1923) Germany.

Открыл рентгеновское
излучение в 1885.

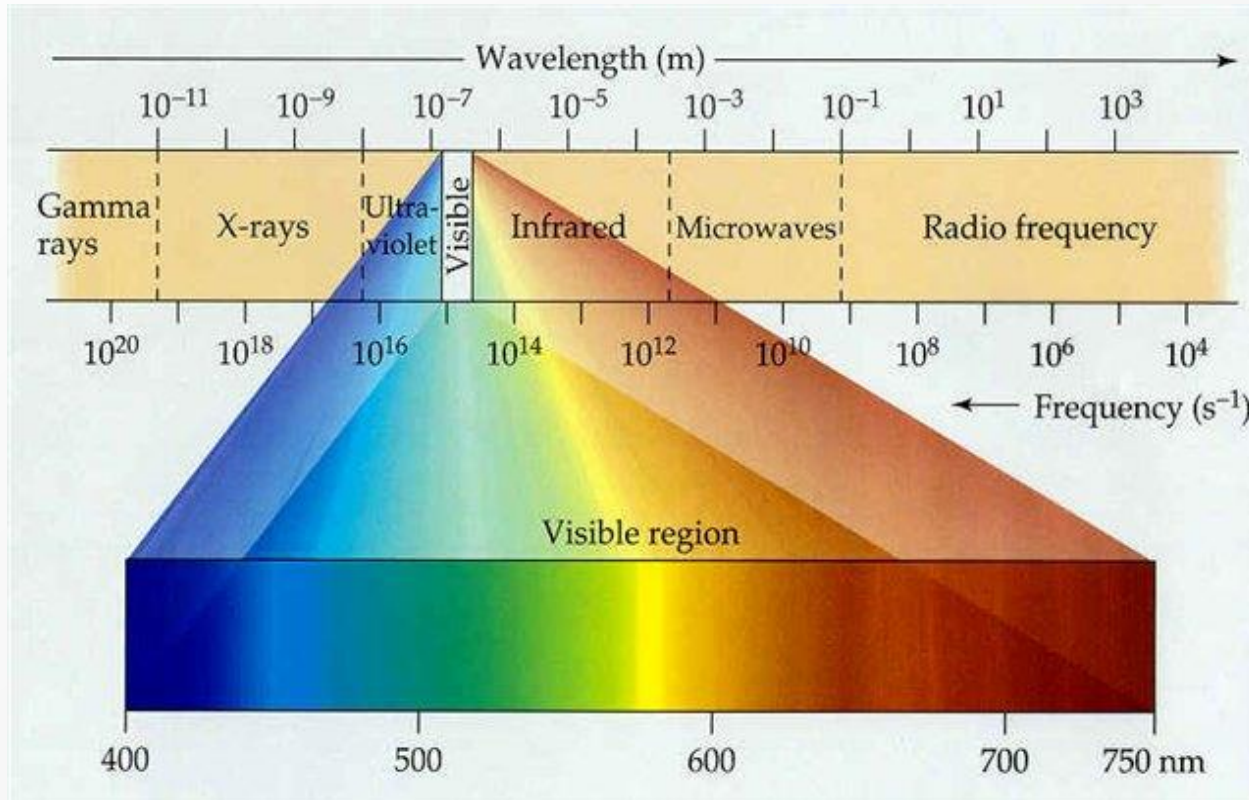
Рентгеновским излучением называют
электромагнитные волны с длиной приблизительно
от **80 до 10^{-5} нм**

длинноволновое рентгеновское излучение
перекрывается *коротковолновым*
ультрафиолетовым, *коротковолновое* —
длинноволновым γ -излучением



рентгеновское излучение подразделяют на
тормозное и характеристическое

Электромагнитный спектр



$$E = h\nu = hc/\lambda$$



Устройство рентгеновской трубки



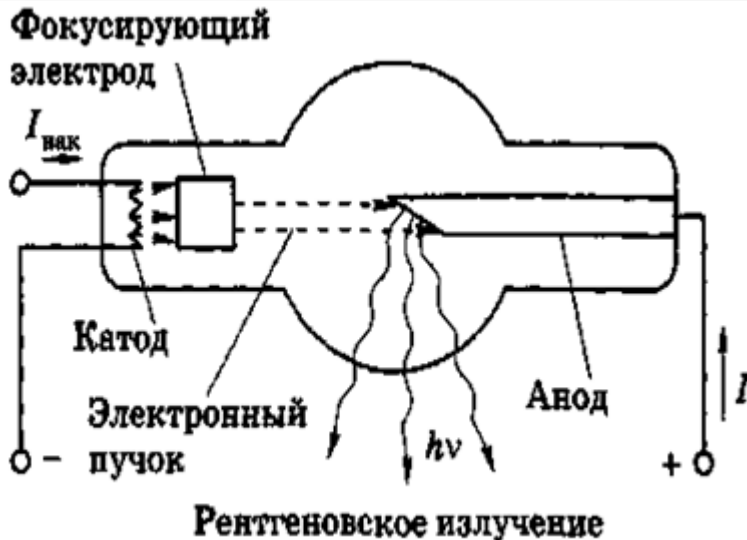
- ❖ Источником рентгеновского излучения является **рентгеновская трубка**, которая представляет собой **вакуумированный стеклянный баллон** (движение электронов от катода к аноду возможно лишь в условиях относительного **вакуума** (10^{-7} – 10^{-8} мм. рт. ст.))
- ❖ **с двумя основными электродами: катодом (-) и анодом (+)**.

- ❖ **Спираль катода** (подключен к источнику низкого переменного напряжения) разогревается электрическим током, **является источником свободных электронов**. (На катоде имеется нить накала, являющаяся плотно скрученной вольфрамовой спиралью. При подаче электрического тока на нить накала происходит электронная эмиссия)
- ❖ **Напряжение между катодом и анодом** (в рентгенологии 15-150 кВ в зависимости от цели исследования) сообщает электронам **большую кинетическую энергию**

▪ **В результате торможения электрона** (или иной заряженной частицы) электростатическим полем атомного ядра и атомных электронов веществ антиматода возникает **тормозное рентгеновское излучение**.

$$eU = h\nu + Q$$

Между катодом и анодом (его называют также антиматодом) создается **высокое постоянное напряжение**, которое сообщает электронам большую кинетическую энергию и заставляет электроны двигаться на анод.



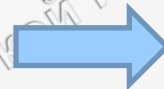
▪ При торможении электронов лишь **часть энергии идет на создание фотона рентгеновского излучения**, другая часть расходуется на **нагревание анода**.

Электрон массой m с зарядом e , движущийся со скоростью v , приобретает кинетическую энергию в электрическом поле под действием **разности потенциалов U** между катодом и анодом:



$$eU = \frac{mv^2}{2}$$

Эта **кинетическая энергия** при ударе об анод **переходит в энергию кванта** излучения $h\nu$ (h - постоянная Планка, ν - частота) и **тепло Q** .



$$eU = h\nu + Q$$

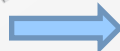
Поскольку соотношение между Q и $h\nu$ **случайно**, то в **возникающем излучении** проявляются самые **разные частоты** - **спектр тормозного рентгеновского излучения сплошной**.

▪ Поток электронов, падающих на анод, порождает рентгеновские кванты разных энергий, вследствие чего **спектр тормозного рентгеновского излучения оказывается сплошным.**



В каждом из спектров **наиболее коротковолновое тормозное излучение**, соответствующее длине волны λ_{\min} , возникает тогда, *когда энергия, приобретенная электроном в ускоряющем поле, полностью переходит в энергию фотона:*

Если $Q=0$, то



$$eU = h\nu_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}}$$

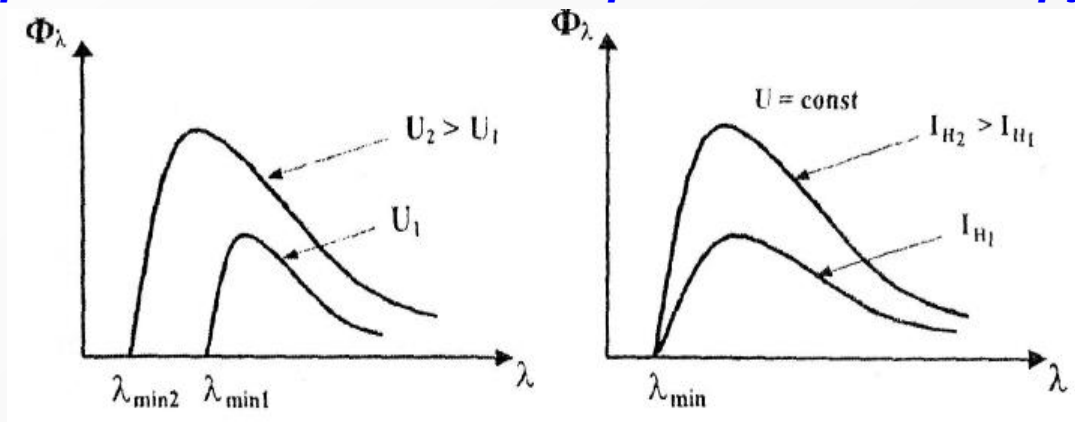
$$h\nu_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}} = eU \Rightarrow \lambda_{\min} = \frac{hc}{eU} = \frac{1,23\text{нм}}{U(\text{кВ})}$$

Поток рентгеновского излучения

$$\Phi = k I U^2 Z$$

где I и U - сила тока и напряжение в рентгеновской трубке; Z - номер атома вещества анода в периодической системе элементов; $k=10^{-9}\text{В}^{-1}$ - коэффициент пропорциональности.

Зависимости плотности потока рентгеновского излучения от длины волны с изменением напряжения и силы тока на рентгеновской трубке.



С повышением напряжения между анодом и катодом рентгеновской трубки ($U_2 > U_1$) в спектре тормозного рентгеновского излучения **уменьшается λ_{\min}** , **излучение становится более жестким**.

➤ **Регулировка жесткости** излучения в рентгеновских аппаратах **осуществляется изменением напряжения** между катодом и анодом рентгеновской трубки

При **фиксированном напряжении U** сила тока в рентгеновской трубке может быть **изменена за счет изменения тока накала катода**.

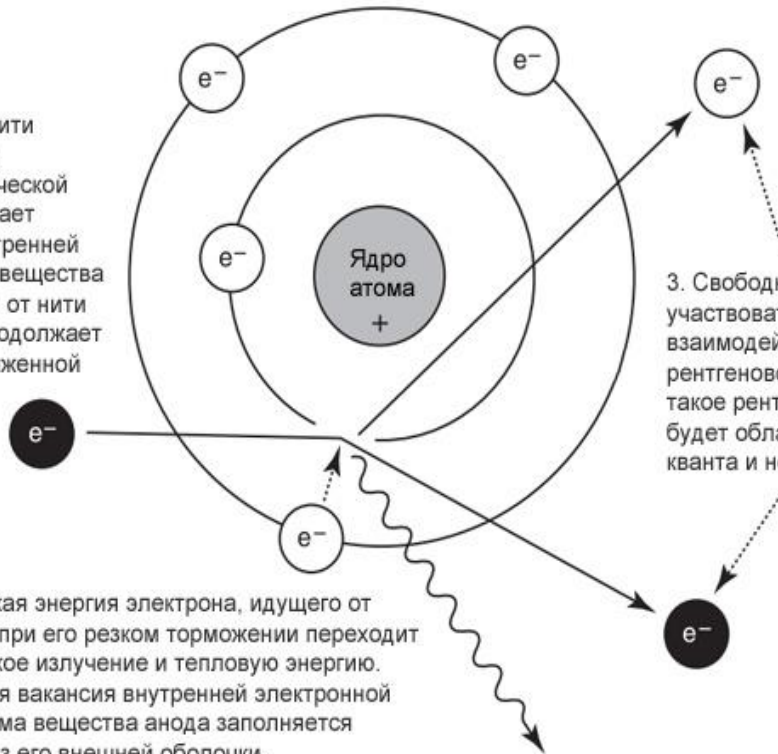
С его увеличением температура катода возрастает, что приводит к увеличению числа электронов, покидающих катод, за счет термоэлектронной эмиссии.

Таким образом, **регулировка интенсивности излучения в рентгеновских аппаратах осуществляется путем изменения величины тока накала катода**.

Характеристическое рентгеновское излучение

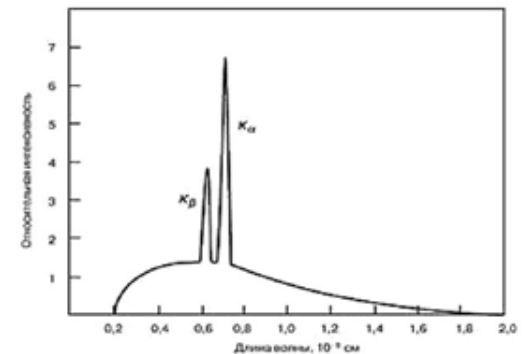
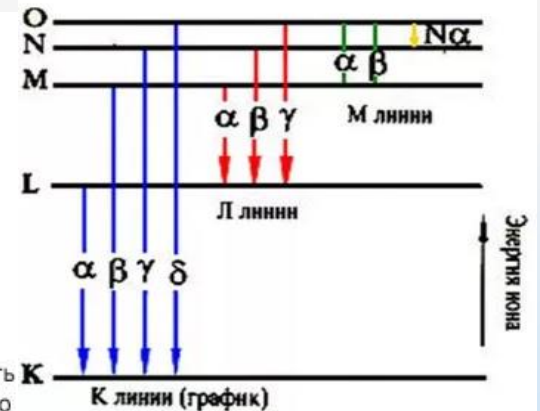
Характеристическое излучение (имеет линейчатый спектр) возникает в момент *перестройки электронных оболочек атомов* из-за *выбивания электронов внутренних электронных орбиталей из атома* под действием *высокоскоростных электронов*, испускаемых вольфрамовой спиралью.

1. Электрон от нити накала, обладая большой кинетической энергией, выбивает электрон из внутренней оболочки атома вещества анода. Электрон от нити накала затем продолжает движение со сниженной энергией.



2. Кинетическая энергия электрона, идущего от нити накала, при его резком торможении переходит в рентгеновское излучение и тепловую энергию. Образованная вакансия внутренней электронной оболочки атома вещества анода заполняется электроном из его внешней оболочки.

3. Свободные электроны могут участвовать в дальнейших взаимодействиях и образовывать рентгеновское излучение, однако такое рентгеновское излучение будет обладать низкой энергией кванта и не достигнет цели.



Закон Мозли

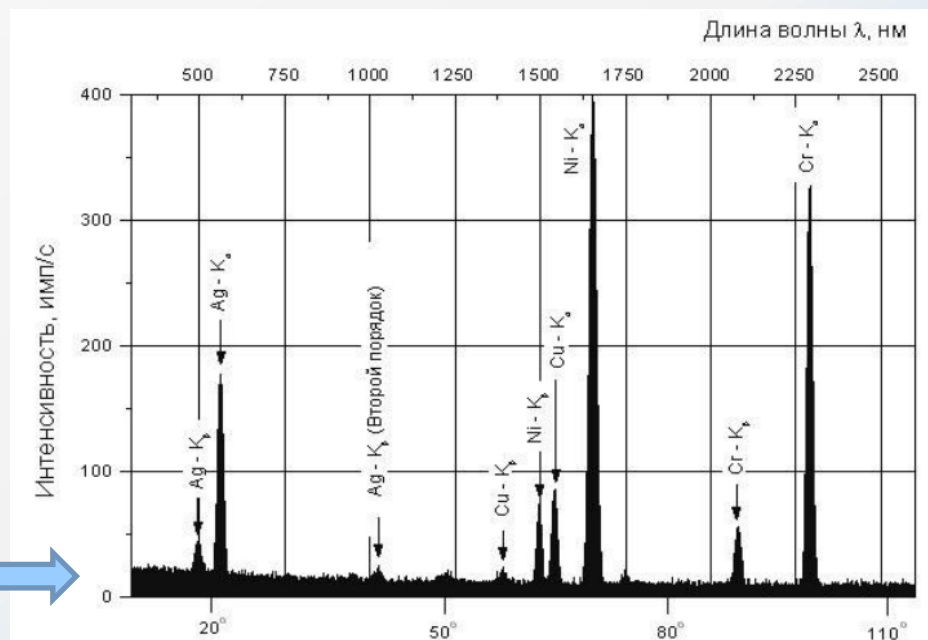
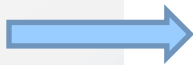
$$\sqrt{\nu} = A(Z - B)$$

характеристические спектры рентгеновского излучения *сдвигаются* в сторону больших частот с увеличением заряда ядра.

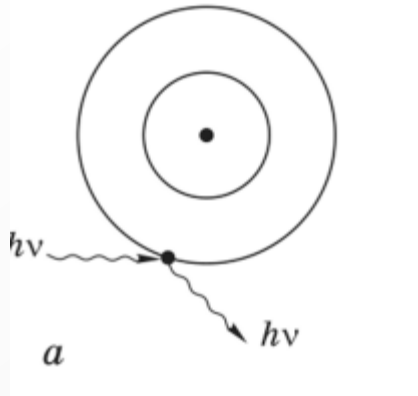
ν — частота спектральной линии, Z — атомный номер элемента, A и B — постоянные, зависящие от вида серии и номера линий в ней

Рентгеновский спектральный анализ позволяет определить **элементный состав вещества по спектру** (измеренным частотам) характеристического излучения

Спектр рентгеновской флуоресценции сплава серебра и меди с покрытием никеля и хрома



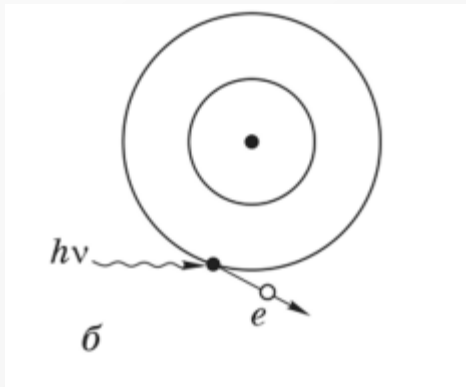
Первичные эффекты взаимодействия рентгеновского излучения с веществом



когерентное рассеяние

Энергия кванта меньше энергии ионизации атома
($h\nu < A_{и}$).

- на атомах вещества происходит **рассеяние квантов без изменения их частоты** (рис. а).
- **характерно для длинноволнового (мягкого) рентгеновского излучения.**
- **Когерентное рассеяние** приводит к **изменению структуры падающего пучка рентгеновских лучей**: если падающий на вещество пучок был параллельным, то появляются кванты, которые распространяются в других направлениях.



фотоэффект

Энергия кванта несколько превышает энергию ионизации

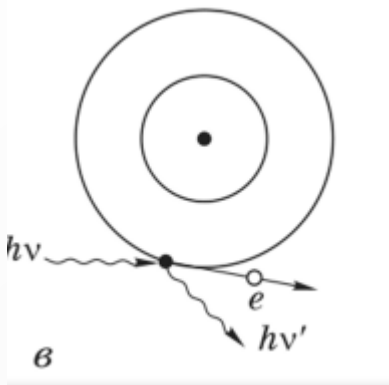
$$(h\nu > A_{и}).$$

- происходит **фотоэффект** (рис. б)
- **рентгеновский квант поглощается веществом**, а его **энергия расходуется на выбивание электрона из атома** (ионизацию) и **сообщение ему кинетической энергии $E_{к}$** в соответствии с уравнением Эйнштейна для фотоэффекта

$$h\nu = A_{и} + E_{к}$$

Энергия кванта значительно превышает энергию ионизации атомов вещества

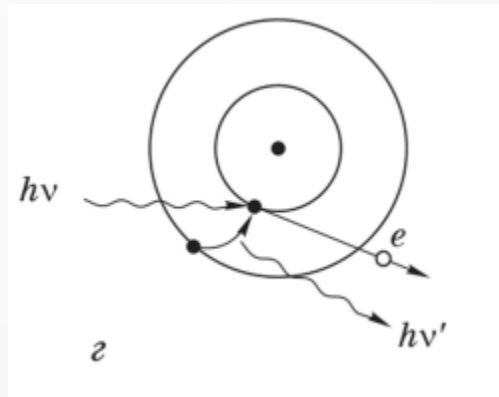
$$(h\nu \gg A_{и}).$$



- лишь часть энергии $h\nu$ падающего кванта **идет на ионизацию атома и на сообщение выбитому электрону кинетической энергии $E_{к}$** ,
- **основная часть идет на образование фотона меньшей энергии $h\nu'$** и другого направления распространения:
- **частота рассеянного рентгеновского излучения уменьшается** (рис. в)

**некогерентное рассеяние
или эффект Комптона**

$$h\nu = A_{и} + E_{к} + h\nu'$$

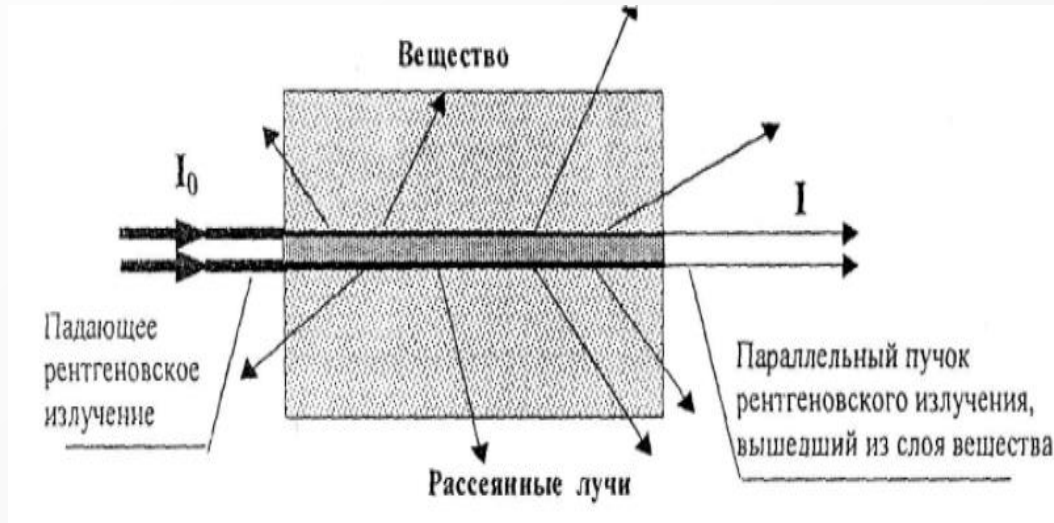


**образование характеристического
рентгеновского излучения при
некогерентном рассеянии**

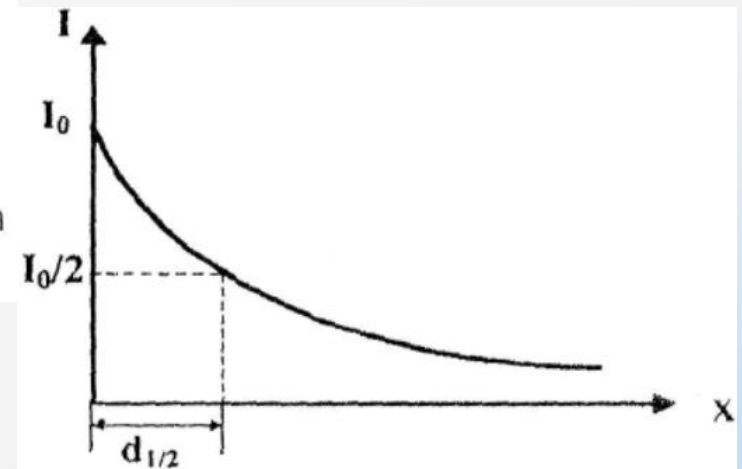
- Вторичные рентгеновские кванты, обладая энергией $h\nu' > A_{и}$, могут еще вызывать ионизацию вещества, в котором они распространяются.
- Электроны отдачи, получившие большую кинетическую энергию, могут также ионизировать соседние атомы вещества путем соударения

Отмеченные первичные акты взаимодействия рентгеновского излучения и вещества могут порождать ряд вторичных процессов. В частности, возбуждение атомов и молекул вызывает **рентгенолюминесценцию**, что используется для создания люминесцирующих экранов, позволяющих наблюдать рентгеновские изображения.

Ослабление рентгеновского излучения веществом



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



Ослабление интенсивности излучения происходит вследствие

- поглощения
- рассеяния рентгеновских квантов в веществе

Ослабление рентгеновского излучения веществом

I_0 – интенсивность, падающего на вещество
рентгеновского излучения
 x – слой вещества

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

μ -линейный показатель ослабления, характеризующий убыль интенсивности рентгеновских лучей на единице толщины слоя за счет **поглощения** μ_n и **рассеяния** μ_p

$$\mu = \mu_{\text{погл}} + \mu_p$$

массовый показатель ослабления

отношение линейного показателя к
плотности ρ вещества:

$$\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

Показатель поглощения рентгеновских лучей веществом
сильно **зависит от его состава и от длины волны**

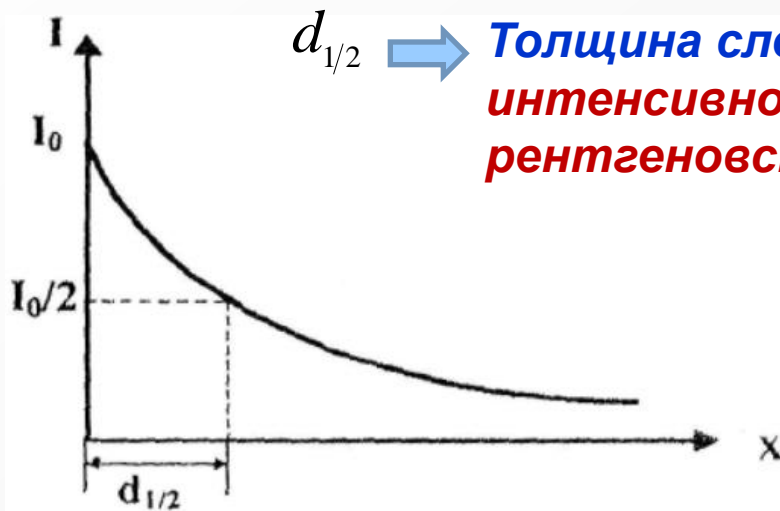
$$\mu_m = k \lambda^3 Z^3$$

$$\mu = \rho k \lambda^3 Z^3$$

Длинноволновое рентгеновское излучение всегда **поглощается**
веществом сильнее, чем коротковолновое

Элементы с большим порядковым номером Z поглощают рентгеновское
излучение сильнее

Слой половинного ослабления



$d_{1/2}$ → Толщина слоя вещества, которая **ослабляет интенсивность прошедшего через слой рентгеновского излучения в два раза**

$$d_{1/2} = \frac{\ln 2}{\mu} = \frac{0,69}{\mu}$$

$$d_{1/2} \approx \frac{1}{\rho \lambda^3 Z^3}$$

Слой половинного ослабления вещества **зависит** от **свойств вещества** (ρ, Z) и от **длины волны излучения** (λ)

спектральный состав рентгеновского излучения после прохождения через вещество **изменяется** - **мягкое излучение поглощаете сильнее.**

слой половинного ослабления для рентгеновского излучения при напряжении на рентгеновской трубке 60 кВ составляет

- **10 мм для воды**
- **1 мм для алюминия.**

Физические принципы рентгенодиагностики

- ❖ Из-за различий в структуре ткани органы, составляющие тело человека, по-разному поглощают рентгеновские лучи.
- ❖ При просвечивании их рентгеновским излучением возникает теневое изображение внутренних органов, которое проецируется на люминесцирующем экране или фиксируется на фотопленке.
- ❖ Для рентгенодиагностики используется излучение с такой энергией фотонов, при которой первичные процессы его взаимодействия с веществом обуславливаются в основном фотоэффектом.

ослабление рентгеновского излучения мягкими тканями (H_2O)

$$\mu_m = k\lambda^3 (2 \cdot 1^3 + 8^3) = 514 k\lambda^3$$

изображение костей очень отчетливо проявляется на фоне изображения мягких тканей. Содержание в костной ткани фосфата кальция определяет ослабление рентгеновского излучения :

$$\mu_m (Ca_3(PO_4)_2) = k\lambda^3 (3 \cdot 20^3 + 2 \cdot 15^3 + 8 \cdot 8^3) = 34846 k\lambda^3$$

$$\frac{\mu_m (Ca_3(PO_4)_2)}{\mu_m (H_2O)} \approx 68$$

При осмотре полостей организма (желудок, кишечник и др.) применяют специальные контрастные вещества (сульфит бария в виде кашеобразной массы), заполняющие эти полости. За счет поглощения контрастным веществом рентгеновского излучения получается теневое изображение соответствующего органа.

Виды рентгенодиагностики

Рентгеноскопия

изображение
рассматривают на
рентгенолюминесцирующем
экране

Рентгенография

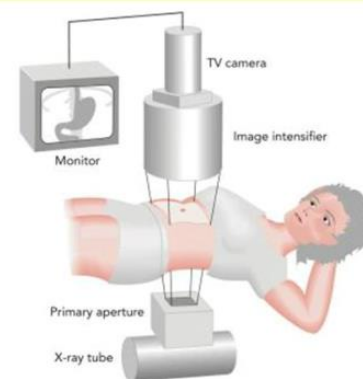
(изображение
фиксируется на
фотопленке)

флюорография

Рентгеновская
компьютерная
томография



При **рентгеноскопии** рентгеновская трубка располагается позади пациента. Перед пациентом располагается флуоресцирующий экран. На экране наблюдается теневое (позитивное) изображение. На экране **сердце, ребра видны темными, легкие - светлыми**



Рентгеноскоп





Рентгеноскопическое исследование полых органов желудочно-кишечного тракта производится с контрастом.

Перед тем, как делают рентгеноскопию желудка, пациент принимает внутрь **водный раствор сульфата бария.**

При **рентгеноскопии** изображение достаточно долго рассматривают на люминесцирующем экране
Создается **лучевая нагрузка на организм**

Рентгенография. (радиография рентгеновских лучей).
Метод исследования с помощью рентгеновских лучей, в ходе которого **изображение записывается на фотографическую пленку.**

Время экспозиции – доли секунды
Лучевая нагрузка в сотни раз меньше



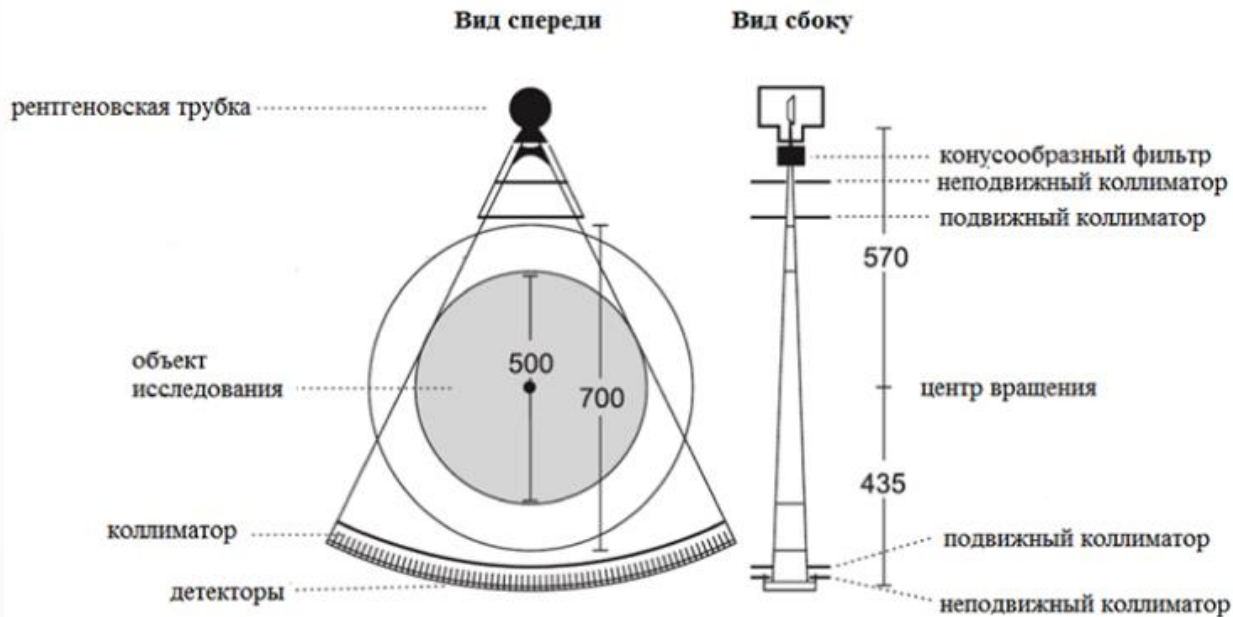


Схема важнейших компонентов компьютерного томографа.

В определенном сечении тела человека получают несколько десятков R-изображений под разными углами. Время исследования для получения изображения одного сечения несколько секунд.

Рентгеновская компьютерная томография (КТ) - это *послойное исследование внутренних органов человека*, получаемое *при круговом сканировании объекта узким пучком рентгеновского излучения*.



Термин «**томография**», или с греческого *τομή* — сечение + *γράφω* — **изображать**, обозначает метод получения изображения сечений тела. При этом могут быть использованы различные способы физического воздействия на эти объекты, в том числе — рентгеновские лучи.

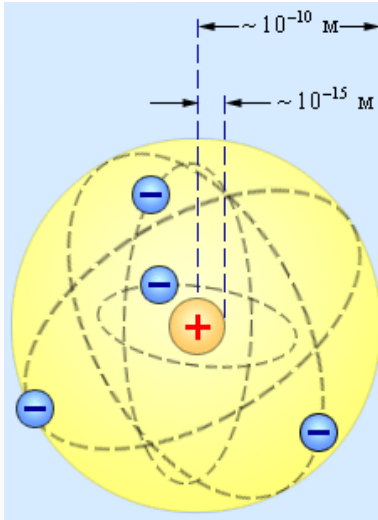


Слева – КТ головы, справа – рентгенограмма. Salamon G., Huang Y. P. *Computed tomography of the brain: atlas of normal anatomy.* – Springer Science & Business Media, 2012

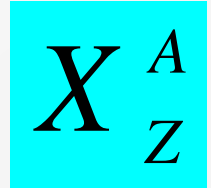
За разработку компьютерной томографии Годфри Хаунсфилд и Аллан Кормак удостоились Нобелевской премии по физиологии и медицине в 1979 году.

Рентгеновская компьютерная томография позволяет различать ткани, различающиеся лишь на 0,1 % по показателю ослабления и размерами деталей не менее 2 мм

Строение атомных ядер



Атомное ядро - положительно заряженная центральная часть атома, в которой сосредоточена вся масса атома. Его диаметр не превышает 10^{-14} – 10^{-15} м, заряд q равен произведению элементарного заряда на порядковый номер атома Z



Атомное ядро любого химического элемента (кроме атома водорода) состоит из **протонов** и **нейтронов**. Эти частицы называются **нуклонами**

Характеристики нуклонов	Протон (p) p_1^1	Нейтрон (n) n_0^1
Электрический заряд	$e = 1.6 \cdot 10^{-19}$ Кл	0
Масса	$m_p = 1.6726 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,00759 а.е.м. = 938.28 МэВ	$m_n = 1.6749 \cdot 10^{-27}$ кг = 1,00898 а.е.м. = 939.55 МэВ
Масса в m_e	$\approx 1836 m_e$	$\approx 1839 m_e$
Спин	$\hbar/2$	$\hbar/2$

число Z равно количеству протонов в ядре и определяет его электрический заряд Ze . Его также называют атомным номером.

Массовое число A определяет **число нуклонов в ядре**.

Число **нейтронов** в ядре $N = A - Z$.

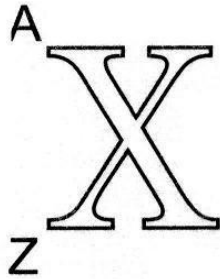
Характеристики атомного ядра

- Основными величинами, характеризующими атомное ядро, являются **зарядовое Z** и **массовое A** числа.

Характеристика	Обозначение	Определение
Зарядовое число	Z	Равно числу протонов в ядре, совпадает с порядковым номером химического элемента в Периодической системе элементов
Массовое число	$A=Z+N$	Равно числу нуклонов в ядре (числу протонов Z и нейтронов N)
Заряд ядра	$+Z_e$	Поскольку атом нейтрален, то заряд ядра определяет и число электронов в атоме

Символически характеристики ядра обозначают

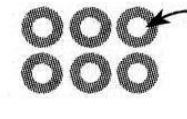
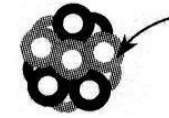
Символическая запись ядер



Пример: 12



6



Массовое число (A) показывает, что в ядре 12 нуклонов.

Зарядовое число (Z) показывает, что 6 из них — протоны.

Число нейтронов (N) = A - Z

В ядре 6 нейтронов.

$$R = R_0 A^{1/3}$$

Экспериментальные данные по рассеянию α -частиц веществом позволили установить эмпирическую формулу для вычисления радиуса ядра:

$$R_0 = (1.2 - 1.5) \cdot 10^{-15} \text{ м}$$

Свойства ядерных сил

- 1) являются **силами притяжения**;
- 2) являются **короткодействующими**: их радиус действия ~
- 3) обладают **зарядовой независимостью**: ядерные силы двух нуклонов не зависят от их электрических зарядов; 10^{-15} м
- 4) имеют **способность к насыщению**: каждый нуклон в ядре взаимодействует только с ограниченным числом ближайших к нему нуклонов. Это свойство проявляется в том, что удельная энергия связи нуклонов в ядре (за исключением легких ядер) с увеличением числа нуклонов не растет, оставаясь приблизительно постоянной;
- 5) **зависят от взаимной ориентации спинов взаимодействующих нуклонов**;
- 6) **не являются центральными силами**: их нельзя представить в виде сил, действующих от одного центра сил. Это обусловлено наличием спина взаимодействующих частиц.

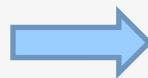
Дефект массы и энергия связи ядра

Масса ядра всегда **меньше суммы масс составляющих его нуклонов**, эту разность называют дефектом массы



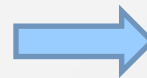
$$\Delta M = \left[Z \cdot m_p + (A - Z) \cdot m_n \right] - M_{\text{я}}$$

Энергия связи ядра



$$E_{\text{св}} = \Delta M \cdot c^2 = \left(\left[Z \cdot m_p + N \cdot m_n \right] - M_{\text{я}} \right) \cdot c^2$$

Удельная энергия связи - энергия связи, приходящаяся на один нуклон



$$\delta E_{\text{св}} = \frac{E_{\text{св}}}{A}$$

РАДИОАКТИВНОСТЬ

- *Радиоактивностью* называют самопроизвольный распад неустойчивых ядер с испусканием других ядер или элементарных частиц (Беккерель 1896)..
- Различают *естественную* и *искусственную радиоактивность*.
Естественная радиоактивность встречается у неустойчивых ядер, существующих в природе.
- *Искусственной* называют радиоактивность ядер, образованных в результате различных ядерных реакций.

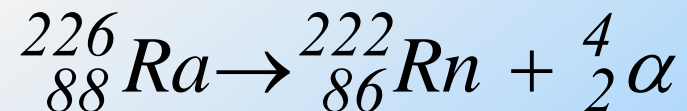
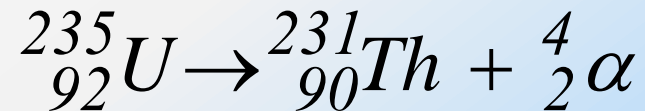
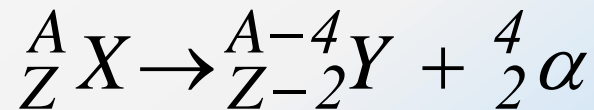
Виды радиоактивного излучения

α -излучение

- Отклоняется **электрическим и магнитным полями**,
- обладает **высокой ионизирующей способностью и малой проникающей способностью**.
-
- **Представляет собой поток ядер гелия**;
- **заряд α -частицы равен $+2e$** ,

- **масса совпадает с массой ядра изотопа гелия** ${}^4_2\text{He}$

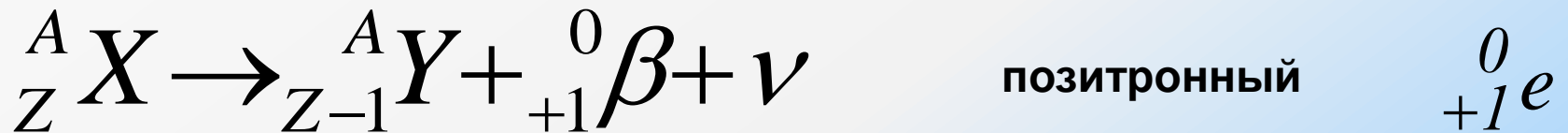
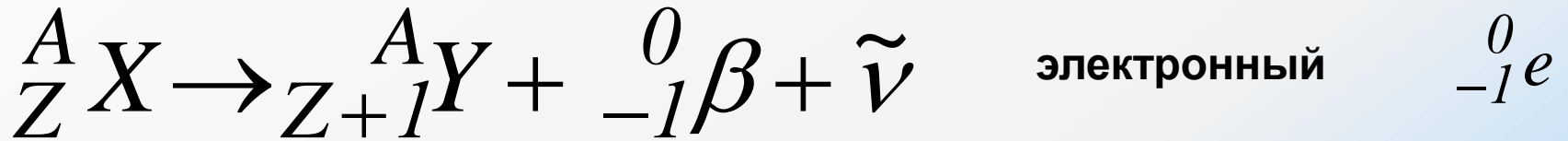
- **Спектр линейчатый**



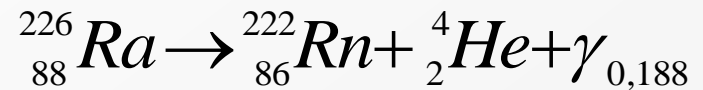
β -излучение

- Отклоняется **электрическим и магнитным полями**;
- его **ионизирующая способность значительно меньше** (примерно на два порядка), а **проникающая способность гораздо больше**, чем у α -частиц.
- Представляет собой **поток быстрых электронов**.
- обозначается β^- или β^+ или (позитрон).

•спектр сплошной



γ-излучение



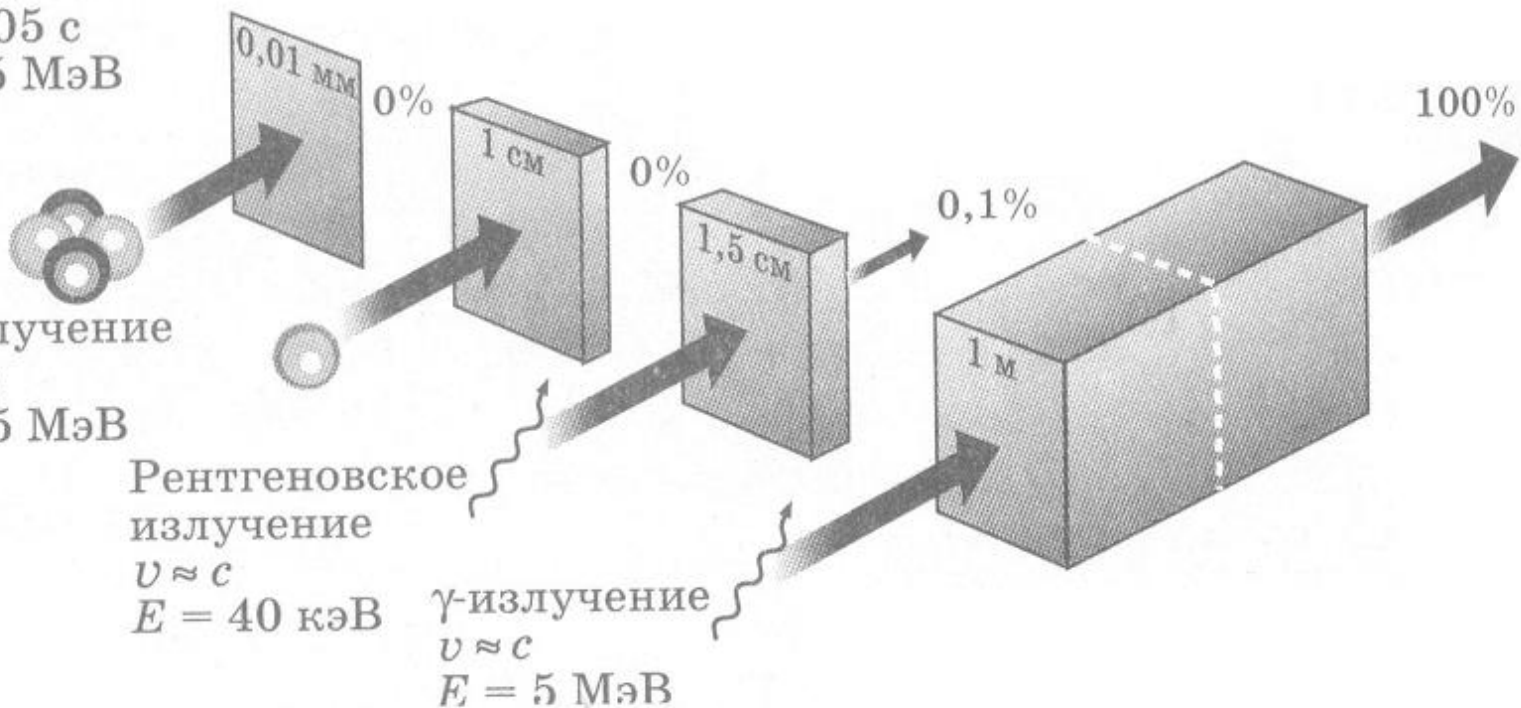
- Не отклоняется электрическим и магнитным полями,
- обладает относительно слабой ионизирующей способностью и очень большой проникающей способностью,
- при прохождении через кристаллы обнаруживает дифракцию.
- Представляет собой **коротковолновое электромагнитное излучение** с чрезвычайно малой длиной волны $\lambda < 10^{-10} \text{ m}$
- и вследствие этого – **ярко выраженными корпускулярными свойствами**,
- т. е. является **поток**ом частиц – **γ-квантов (фотонов)**.
- γ-излучение радиоактивных веществ имеет **линейчатый спектр**, содержащий несколько (одну) линий.

Сравнение проникающей способности α -, β -, γ -излучений и рентгеновского излучения в алюминии

α -излучение

$v \approx 0,05 c$

$E = 5 \text{ МэВ}$



Примеры - β^- распада основных радиоактивных элементов, обусловивших значительное радиационное заражение среды после аварии на Чернобыльской АЭС.

- В первое время после аварии **основной вклад в суммарную радиоактивность давал радиоактивный йод, распадающийся с испусканием гамма-квантов с энергией 0,72 МэВ**

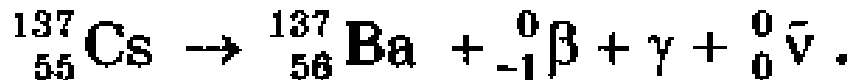


- Поскольку скорость распада йода велика (за 8 суток распадается примерно половина ядер), то он имел **наибольшую начальную активность и легко обнаруживался по** интенсивному γ -излучению

Через несколько месяцев после аварии практически весь йод распался.

Распад радиоактивного $^{137}_{55}\text{Cs}$ сопровождается испусканием

γ -квантов с энергией 0,66 МэВ и максимальной энергией электронов 1,18 МэВ



половина ядер цезия-137 распадается примерно за 30 лет.

Таблица возрастных значений среднего равновесного содержания цезия-137 в организме

<i>Возрастная группа лет</i>	<i>Активность цезия-137 в организме, кБк (мкКи)</i>	<i>Удельная активность в организме, Бк/кг (мкКи/кг)</i>
<i>МЕНЕЕ 1</i>	<i>2,59 (,07)</i>	<i>405 (0,011)</i>
<i>1-2</i>	<i>4,19 (0,11)</i>	<i>427 (0,012)</i>
<i>2-7</i>	<i>8,22 (0,22)</i>	<i>433 (0,012)</i>
<i>7-12</i>	<i>13,45 (0,36)</i>	<i>420 (0,11)</i>
<i>12-17</i>	<i>19,86 (0,54)</i>	<i>361 (0,010)</i>
<i>СТАРШЕ 17</i>	<i>26,15 (0,71)</i>	<i>374 (0,10)</i>

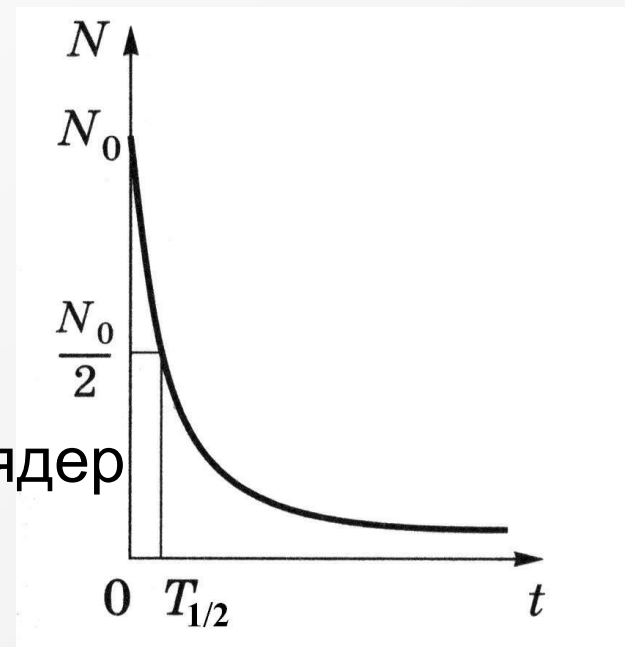
Закон радиоактивного распада

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

N – число нераспавшихся ядер к моменту времени t

N_0 – начальное число нераспавшихся ядер

λ – постоянная распада



Период полураспада $T_{1/2}$

– промежуток времени, за который в среднем число нераспавшихся ядер уменьшается вдвое

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0.693}{\lambda}$$

Скорость распада называемая **активностью**, является существенной характеристикой радиоактивного препарата:

$$A = -\frac{dN}{dt}$$

$$A = -\frac{dN}{dt} = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda T} \quad A = N \frac{\ln 2}{T}$$

Единица измерения активности в СИ - распад с секунду (**Бк**).

1 Беккерель (Бк) - соответствует активности нуклида в радиоактивном источнике, в котором за 1 с происходит один акт распада.

кюри (Ки).

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

внесистемная единица измерения активности - **резерфорд (Рд)**, равная 10⁶ расп/с.

$$1 \text{ Рд} = 10^6 \text{ Бк} = 10^6 \text{ с}^{-1}$$

Физические характеристики ионизирующих излучений

- **Поглощенная доза излучения** - энергия ионизирующего излучения, поглощенная единицей массы вещества за время облучения .

$$D = \frac{W}{m}$$

- Единицей измерения поглощенной дозы в «СИ» является **1 Дж/кг**.
- **Внесистемная единица** поглощенной дозы **1 рад** (*radiation absorbed dose*)
- **(1 рад = 10⁻² Дж/кг). 1 рад = 10⁻² Гр**
- **Грей** – единица поглощенной и эквивалентной доз ионизирующего излучения в «СИ», равная **1 Дж/кг** (названа в честь английского ученого С. Грея – 1670-1736 гг.).
- **Рад** – внесистемная единица поглощенной дозы излучения, равная **0,01 Дж/кг = 0,01 Гр..**

- Поглощенная доза зависит как от природы и свойств излучения (от энергии частиц), так и от природы вещества, в котором оно поглощается.
- Вводят в связи с этим экспозиционную дозу D_0 , которая является мерой ионизации воздуха рентгеновскими и γ -лучами.
- Единицей экспозиционной дозы в СИ является **1 Кл/кг**. На практике применяют **рентген**.
- Рентген есть экспозиционная доза рентгеновского или γ -излучения, при которой в результате полной ионизации в 1 см^3 сухого воздуха (при 0°C и 760 мм рт.ст.) образуются ионы, несущие заряд в одну электростатическую ед. количества электричества каждого знака.

Мощность дозы. Связь мощности дозы и активности.

- Дозу (поглощенную и экспозиционную), отнесенную к единице времени, называют **мощностью дозы**.

$$P = \frac{D}{t}$$

- Соответственно единицей мощности дозы является: **для поглощенной – Вт/кг и рад/с; для экспозиционной дозы – А/кг, Р/час или мкР/с.**
- **D_{eq} – Эквивалентная доза излучения** – мера биологического воздействия ионизирующего излучения на организм, характеризует степень радиоактивной опасности.
- **Зиверт (Зв)** – «СИ».
- **Внесистемная – бэр** (биологический эквивалент рентгена)
- **$1 \text{ бэр} = 0,01 \text{ Зв}$.**
- **$D_{eq} = K \cdot ДП$,** K – коэффициент качества (ОБЭ).
- В СИ единицей эквивалентной дозы является **зиверт** - такая эквивалентная доза, при которой произведение поглощенной дозы в биологической ткани на средний коэффициент качества равно **1 Дж/кг** .

Связь между активностью и эквивалентной дозой внутреннего облучения

- Эквивалентная доза внутреннего облучения при инкорпорировании нуклидов пропорциональна равновесной активности нуклида во всем теле и обратно пропорциональна массе тела т.е.

- $$D_{eq} \sim t A/m$$

Спасибо за внимание!

УО «ГомГМУ», кафедра Медицинской и биологической физики