

Учреждение образования «Гомельский
государственный медицинский университет»

Кафедра медицинской и биологической физики

Лекция № 7-8 — Рентгеновское излучение.
Радиоактивность.

2021

План лекции

- ◆ 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.
- ◆ Строение атомных ядер.
- ◆ Естественная и искусственная радиоактивность.
- ◆ Виды радиоактивного излучения.
- ◆ Закон радиоактивного распада.

Литература

- Медицинская и биологическая физика: Учеб. для вузов / А.Н. Ремизов, А.Г. Максина, А.Я. Потапенко. – М.: Дрофа, 2004. – 560 с.
- Ливенцев Н.М. Курс физики Т.1. 6-е изд., доп. — Москва: Высшая школа, 1978. — 336 с.: ил.
- Савельев И.В. Курс общей физики: в 5 кн. – М.: АСТ: Астрель, 2008.

Шкала электромагнитных волн (ЭМВ)

Существование ЭМВ предсказано М. Фарадеем в 1832 г., а Дж. Максвелл, в 1865 г. теоретически показал, что электромагнитные колебания не остаются локализованными в пространстве, а распространяются во все стороны от источника. Теория Дж. Максвелла позволила единым образом подойти к описанию радиоволн, оптического излучения, рентгеновского излучения, гамма-излучения. Оказалось, что все эти виды излучения – ЭМВ с различной длиной волны λ , т. е. родственны по своей природе. Каждое из них имеет своё определённое место в единой шкале ЭМВ

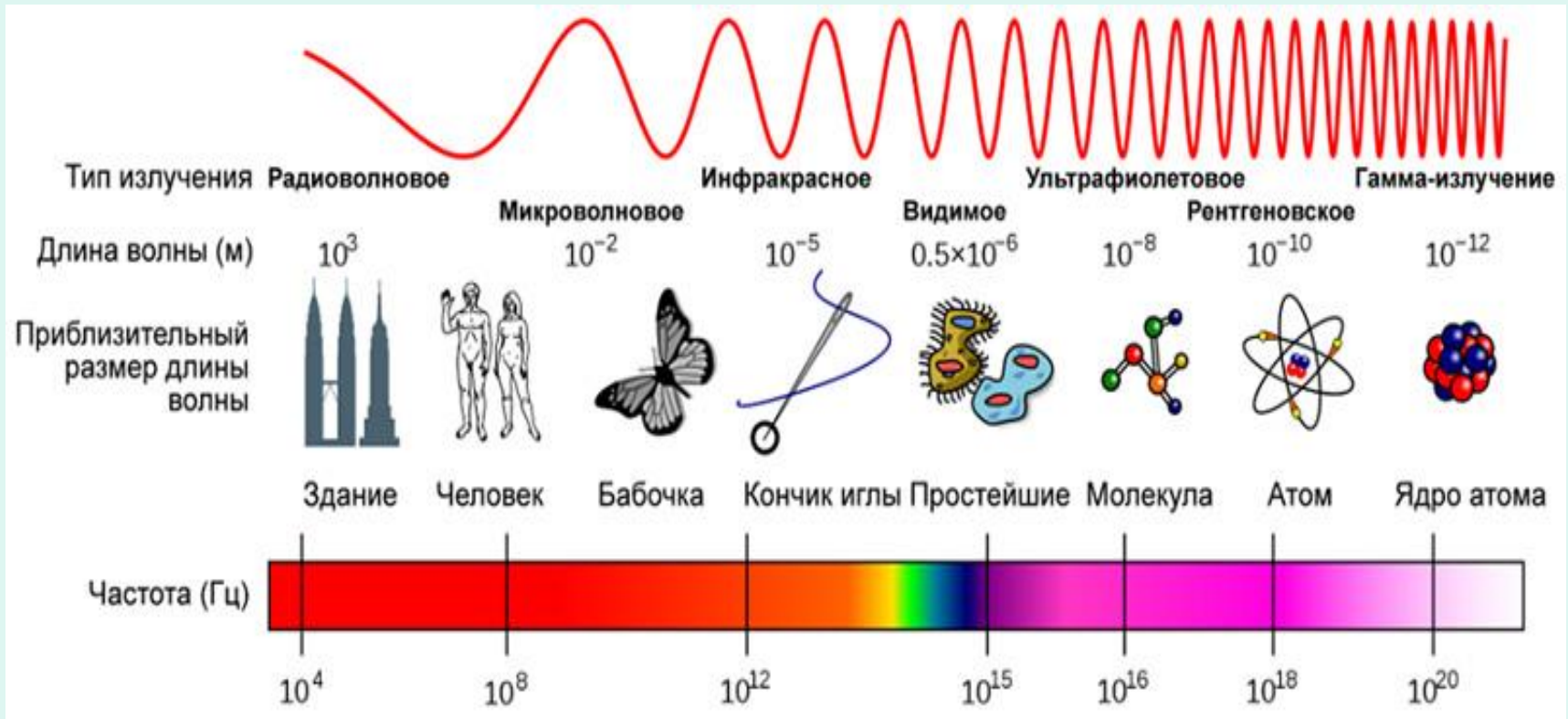


Рисунок – Шкала ЭМВ.

Шкала электромагнитных волн (ЭМВ)

Вид излучения	Длина волны
Радиоволны	$\lambda > 1 \text{ мм}$
Световые волны: инфракрасное излучение видимый свет ультрафиолетовое излучение	$760 \text{ нм} < \lambda < 1 \text{ мм}$ $400 \text{ нм} < \lambda < 760 \text{ нм}$ $80 \text{ нм} < \lambda < 400 \text{ нм}$
Рентгеновское излучение	$10^{-5} \text{ нм} < \lambda < 80 \text{ нм}$
Гамма-излучение	$\lambda < 10^{-5} \text{ нм}$

Рентгеновское излучение, его природа.

Использование ионизирующих излучений в медицине началось с открытия в 1895 году Конрадом Рентгеном X-лучей.

Рентгеновское излучение – это электромагнитные волны с длиной волны от 80 нм до 10^{-5} нм.

Его длинноволновая область перекрывается с коротковолновым УФ-излучением, а коротковолновая – с гамма-излучением.

Длинноволновое рентгеновское излучение называют - мягким, а коротковолновое – жестким излучением.

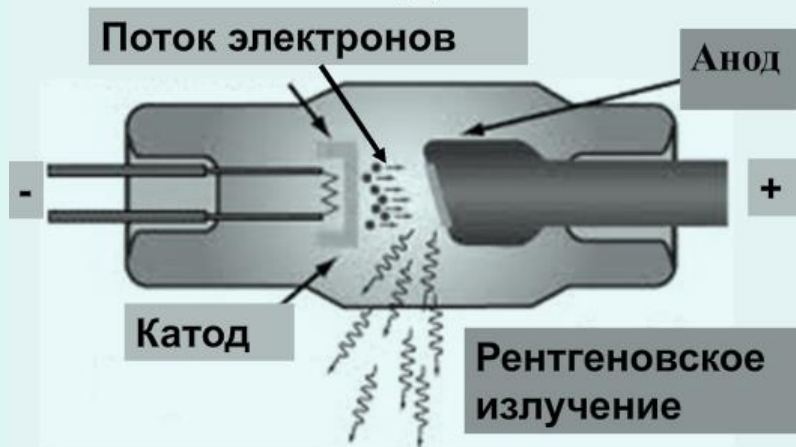
По способу возникновения и спектру излучения различают два вида рентгеновского излучения:

- Тормозное,
- Характеристическое.



Источники рентгеновского излучения

Устройство рентгеновской трубки



Источником рентгеновского излучения является *рентгеновская трубка*, которая представляет собой вакуумированный стеклянный баллон (давление $\sim 10^{-6}$ мм.рт.ст.) с двумя основными электродами: катодом (-) и анодом (+).

Спираль катода (подключен к источнику низкого переменного напряжения) разогревается электрическим током и является **источником свободных электронов**.

Напряжение между катодом и анодом (в рентгенологии 15-150 кВ в зависимости от цели исследования) сообщает электронам **большую кинетическую энергию**.

Рентгеновское излучение

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

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

$$eU = h\nu + Q$$

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*:

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

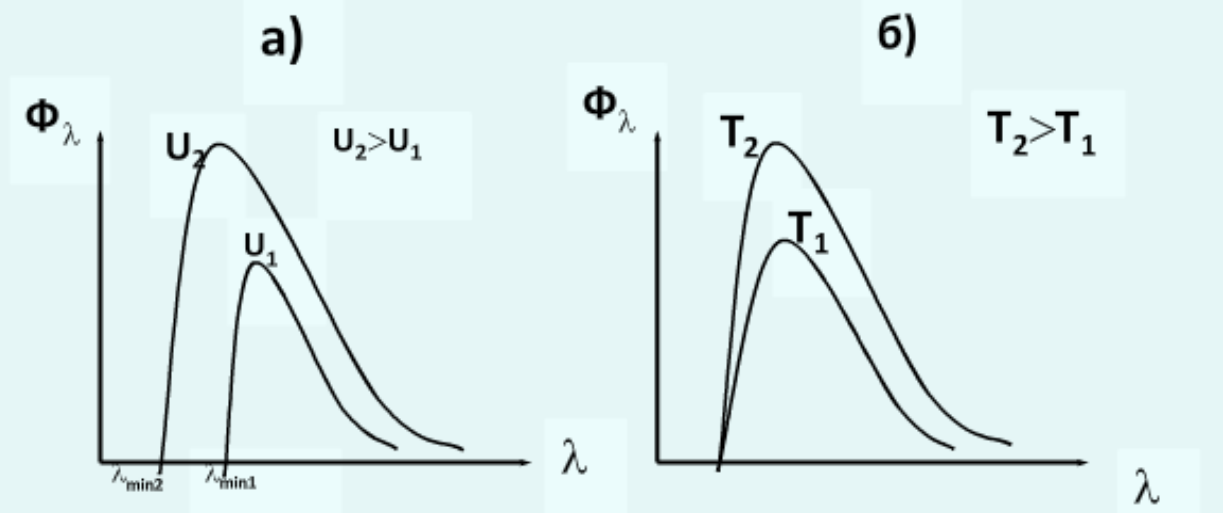
Спектр тормозного рентгеновского излучения

(зависимость *плотности потока рентгеновского*

излучения Φ_λ от длины волны λ) :

а) при различном напряжении U в трубке;

б) при различной температуре T катода



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.

Полный (интегральный) поток тормозного излучения (мощность излучения) Φ

- Поток энергии Φ тормозного излучения (мощность излучения) прямо пропорционален квадрату напряжения U между анодом и катодом, силе тока I в трубке и атомному номеру Z вещества анода:

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

где $k = 10^{-9} \text{ Вт}/(\text{В}^2\text{А})$,

$\text{Вт}/(\text{В}^2\text{А}) = \text{В}^{-1}$

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЕ РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

При высоких напряжениях на рентгеновской трубке на фоне сплошного спектра тормозного рентгеновского излучения появляются узкие линии, которые соответствуют характеристическому излучению.

Оно возникает вследствие выбивания электронов из внутренних оболочек атомов.

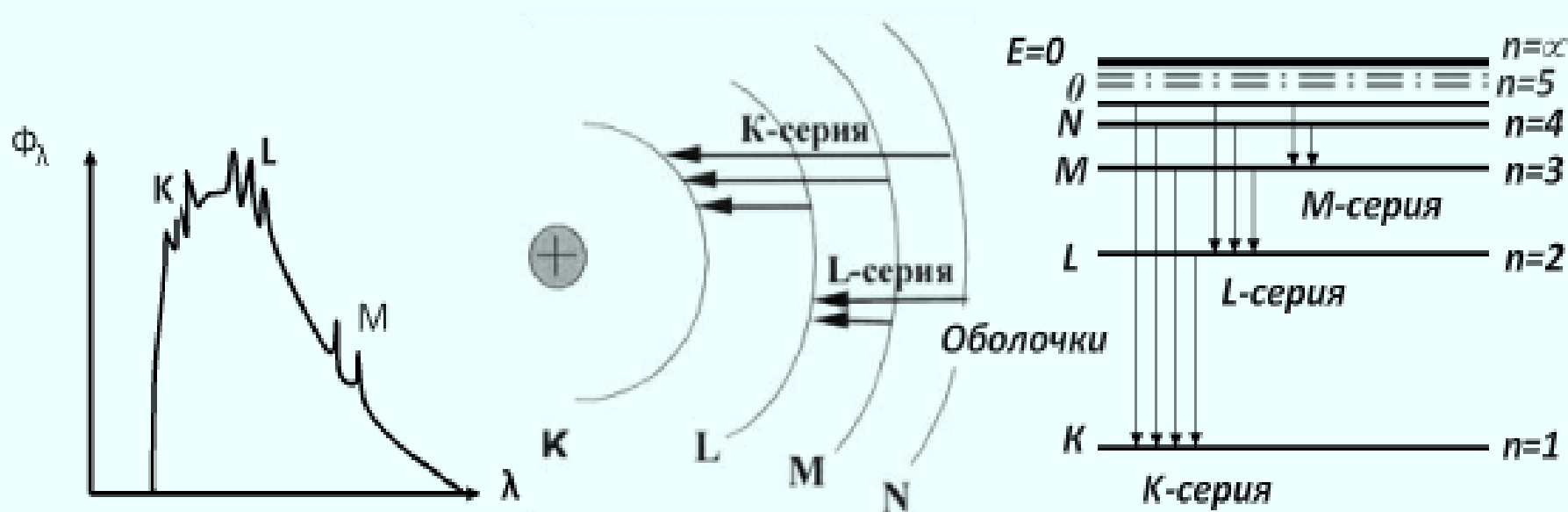


Схема образования спектральных серий характеристического R-излучения.

Спектр характеристического излучения состоит из отдельных групп узких линий, образующих спектральные R – серии, которые соответствуют переходам электронов с верхних **на одну** и ту же внутреннюю оболочку атомов.

Закон Мозли

Частоты ν линий характеристического излучения зависят от порядкового номера элемента Z :

$$\sqrt{\nu} = A(Z - B). \quad (6)$$

где A и B постоянные, зависящие от вида R- серии и номера линии в ней.

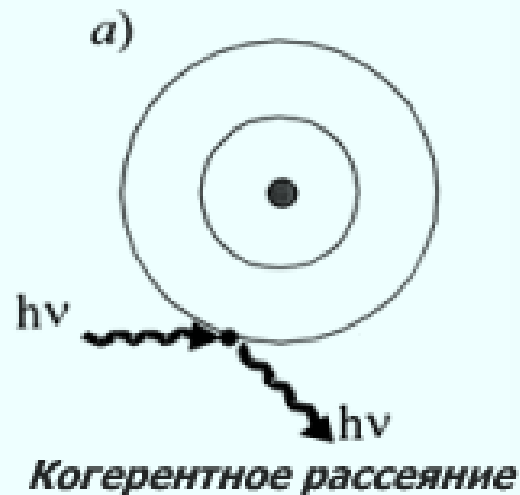
Характеристические рентгеновские спектры атомов *не зависят* от химического окружения и всегда одинаковы для данного вида атомов.

На этом основан **РЕНТГЕНОВСКИЙ СПЕКТРАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ** - по измеренным частотам *характеристического излучения* образца определяют его *элементный* состав на основании соотношения (6).

Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом

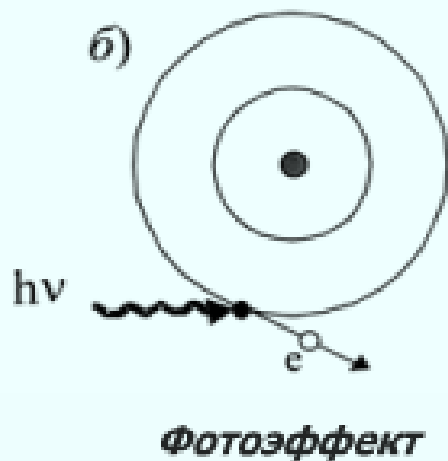
Рентгеновское излучение в веществе поглощается и рассеивается. При этом могут происходить различные процессы, которые определяются соотношением энергии рентгеновского фотона $h\nu$ и энергии ионизации $A_{и}$ (энергия ионизации $A_{и}$ – энергия, необходимая для удаления электрона за пределы атома или молекулы).

ПЕРВИЧНЫЕ ЭФФЕКТЫ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ.



1). $h\nu < A_{и}$ - *когерентное рассеяние.*

-Энергия кванта меньше энергии ионизации атома. В этом случае на атомах вещества происходит *рассеяние* квантов без изменения их частоты.



2). $h\nu \geq A_{и}$ - *фотоэффект-*

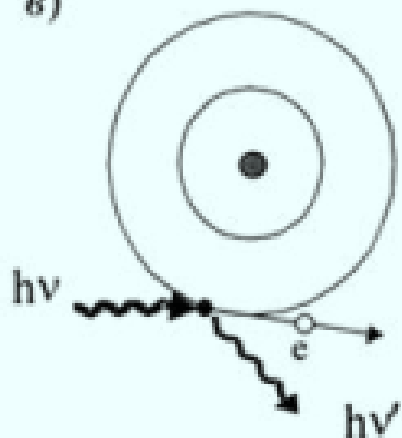
Энергия кванта несколько превышает энергию ионизации. Рентгеновский квант выбивает электрон из атома (ионизация) и сообщает ему кинетическую энергию.

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:

$$h\nu = A_{и} + E_{к}$$

Эффект Комптона:

в)

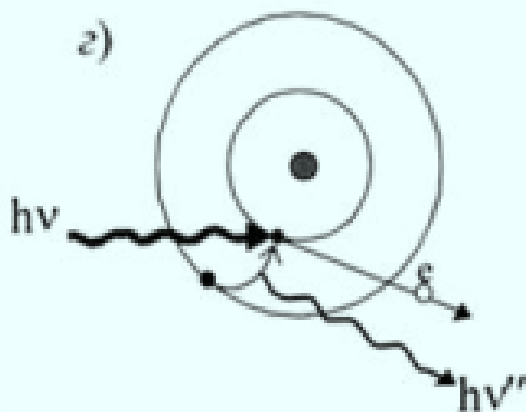


3). $h\nu \gg A_{и}$ - некогерентное рассеяние, или эффект Комптона –

- падающий квант $h\nu$ ионизирует атом ($A_{и}$), сообщает выбитому электрону $E_{к}$, и образуется рассеянный фотон меньшей энергии $h\nu'$:

$$h\nu = (A_{и} + E_{к}) + h\nu'$$

г)



Вторичные эффекты

*Отмеченные **первичные взаимодействия** рентгеновского излучения с веществом могут породить ряд **вторичных процессов**:*

- **рентгенолюминесценцию,**
- **характеристическое рентгеновское излучение.**

Интенсивность излучения, прошедшего слой вещества толщиной x , уменьшается по закону:

$$I_{\text{прош}} = I_0 e^{-\mu x}$$

μ – **линейный** показатель ослабления, прямо пропорционален плотности вещества: $\mu \sim \rho$,

$$\mu = \mu_n + \mu_p;$$

Массовый показатель ослабления

$$\mu_m = \mu / \rho,$$

- не зависит от плотности ρ вещества и определяется только порядковым номером Z атомов этого вещества (составом) и длиной волны λ рентгеновского излучения:

- *массовый:* *линейный:*

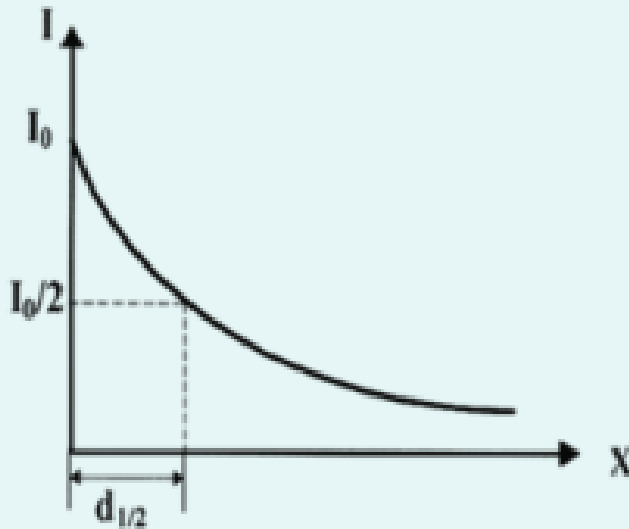
$$\mu_m = k \lambda^3 Z^3.$$

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

✓ **Длинноволновое** рентгеновское излучение всегда **поглощается** веществом значительно **сильнее** ($\sim \lambda^3$), чем коротковолновое !

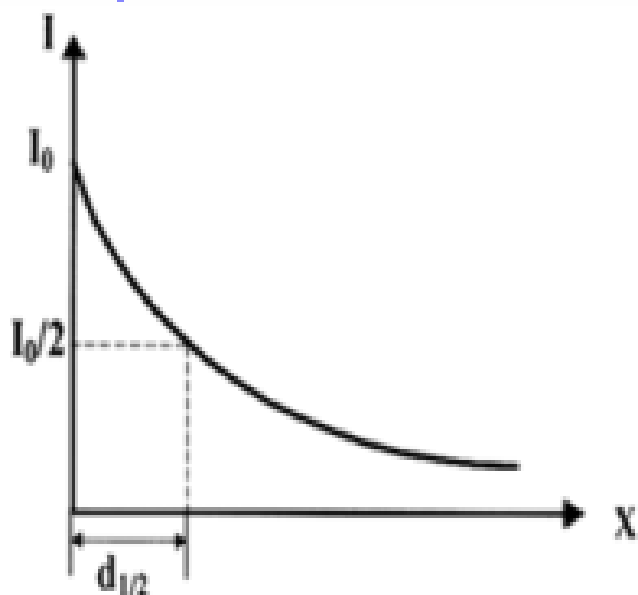
✓ Элементы с **большим Z** поглощают рентгеновское излучение значительно **сильнее** ($\sim Z^3$), чем с малым Z !

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



Слой половинного ослабления

Для оценки проникающей способности рентгеновского излучения используют понятие **слоя половинного ослабления** $d_{1/2}$ – это толщина слоя вещества, которая ослабляет интенсивность прошедшего излучения **в два раза**:



При $x = d_{1/2}$ будет $I = I_0 / 2$:

$$I_0 / 2 = I_0 e^{-\mu \cdot d_{1/2}}; \quad e^{-\mu \cdot d_{1/2}} = 1/2$$
$$e^{\mu \cdot d_{1/2}} = 2 \quad \Rightarrow \quad \mu \cdot d_{1/2} = \ln 2 = 0,69.$$

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

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

Слой половинного ослабления $d_{1/2}$, существенно зависит как от свойств вещества (ρ и Z), так и от жесткости (длины волны λ) излучения!

Напр.: Для рентгеновского тормозного излучения с энергией кванта $h\nu = 60$ кэВ, слой половинного ослабления $d_{1/2}$ составляет:

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

ФИЗИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИКИ

При просвечивании тела человека рентгеновским излучением на снимке или на мониторе наблюдается **теневое изображение органов**, расположенных **на пути X-лучей!**

Для рентгенодиагностики используется **не жесткое излучение**, для которого взаимодействие с тканями обусловлено в основном **фотоэффектом**.

Мягкие ткани ослабляют R- излучение примерно также, как и вода:

$$H_2O: \quad \mu_m = k\lambda^3(2 \cdot 1^3 + 8^3) = 514 \text{ к}\lambda^3 \quad \text{в}$$

Ослабление R- излучения **костной тканью** определяется содержанием в ней фосфата кальция:

$$Ca_3(PO_4)_2: \quad \mu_m = k\lambda^3(3 \cdot 20^3 + 2 \cdot 15^3 + 8 \cdot 8^3) = 34846 \text{ к}\lambda^3, \quad \text{т.е. больше в } \underline{68 \text{ раз!!}}$$

Поэтому **изображения костей** на R- снимках и экранах **отчетливо видны** на фоне изображения мягких тканей.

Использование рентгеноконтрастных веществ

Изменения в структуре мягкой ткани различаются значительно хуже, чем в кости, т.к. для разных ее участков μ отличаются незначительно.

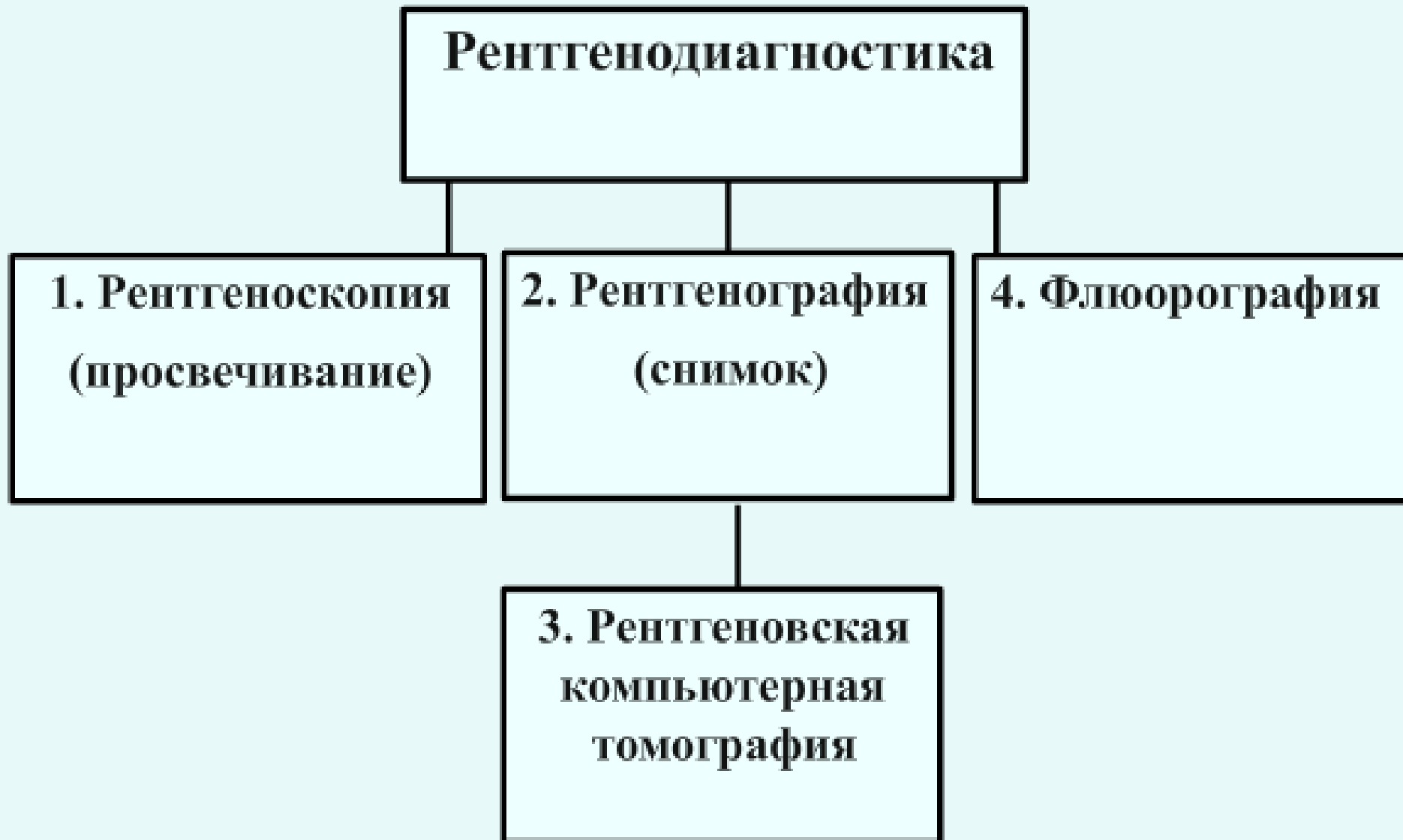
Поэтому перед рентгеновским обследованием в исследуемый орган или ткань вводят **рентгеноконтрастные** вещества, которые сильно ослабляют рентгеновское излучение и благодаря этому делают изображение исследуемых структур **контрастными**, т.е. хорошо различимыми на **R- изображениях**.

В качестве **рентгеноконтрастных** веществ используют не токсичные для организма соединения, содержащие хим. элементы **с большим Z** , **(поскольку $\mu \sim Z^3$)**.

НАПРИМЕР:

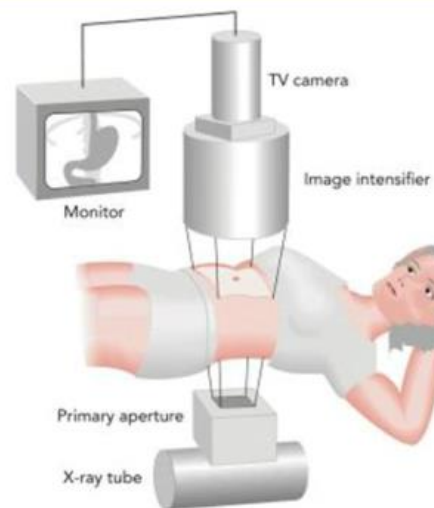
- ✓ При **R – исследовании ЖКТ** применяют **сульфат бария ($Z_{Ba} = 56$)** в виде сметанообразной массы, заполняющей желудок и кишечник .
- ✓ При **R – исследовании сосудистого русла** используют не токсичные для организма соединения **иода ($Z_I = 53$)**.

Виды рентгенодиагностики



Рентгеноскопия

При рентгеноскопии рентгеновская трубка расположена позади пациента. Перед ним располагается флуоресцирующий экран. На экране наблюдается теневое (позитивное) изображение. В каждом отдельном случае подбирается соответствующая жесткость излучения, так чтобы оно проходило через мягкие ткани, но достаточно поглощалось плотными. В противном случае получается однородная тень. На экране сердце, ребра видны темными, легкие – светлыми.



Рентгеноскоп



ВИДЫ РЕНТГЕНОДИАГНОСТИКИ

- **Рентгеноскопия** – изображение достаточно долго рассматривают на люминесцирующем экране.
- Создает **лучевую нагрузку** на организм!

Рентгеноскоп



- **Рентгенография** – изображение формируется на фотопленке.
- Время экспозиции - доли секунды, поэтому лучевая нагрузка в сотни раз меньше

Рентгенограмма органов грудной клетки в прямой проекции.



Рентгеновская компьютерная томография

Метод рентгеновской компьютерной томографии основан на реконструкции изображения определенного сечения (среза) тела пациента путем регистрации большого количества рентгеновских проекций этого сечения, выполненных под разными углами.

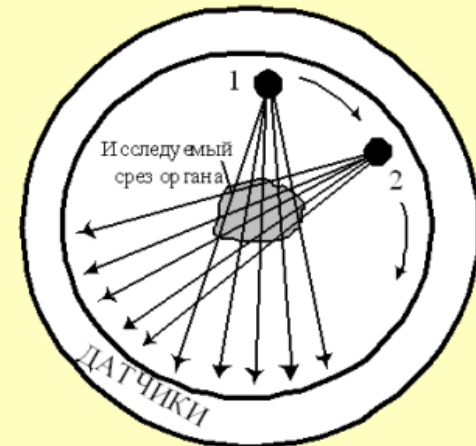


Схема рентгеновского просвечивания среза исследуемого органа (точка 1 и точка 2 – два последовательных положения источника рентгеновского

Рентгеновская компьютерная томография



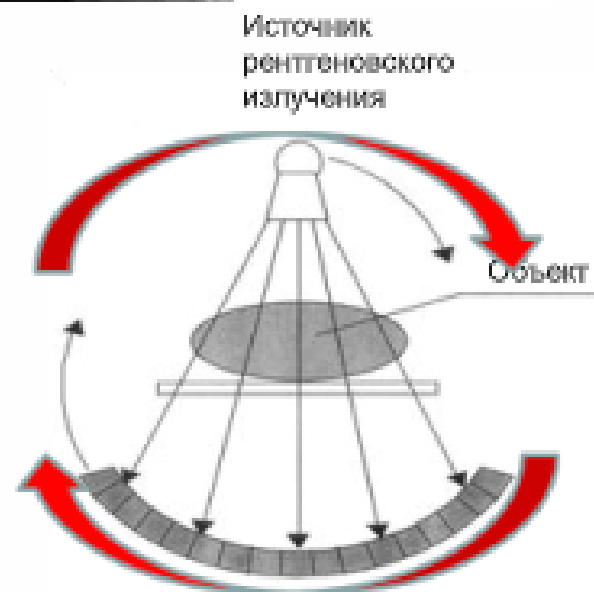
❖ Компьютерная рентгенография (КТ):

- В определенном сечении тела человека получают **несколько десятков R-изображений** под разными углами.
- информация с датчиков поступает в компьютер, который **вычисляет распределение R-плотности** объекта в данном сечении и отображает его на мониторе.
- в сотни раз **увеличивается контраст R-изображения** (шкала Хаунсвилда)
- **Время исследования** для получения изображения одного сечения - **нескольких секунд.**

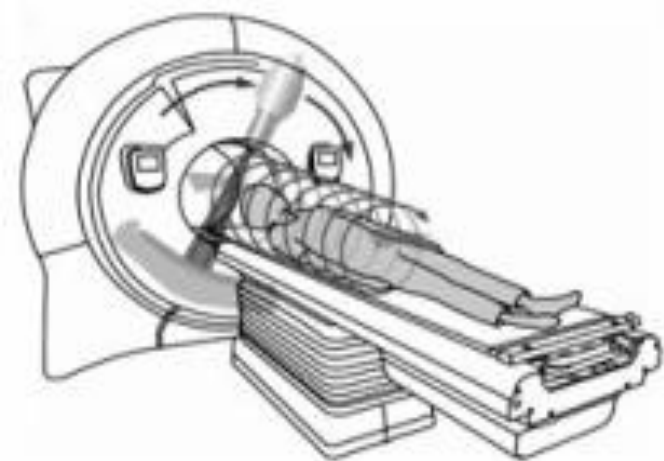
Рентгеновская компьютерная томография (КТ) позволяет различать структуры, различающиеся лишь на **0,1%** по показателю ослабления и размерами деталей не менее **2 мм**.



Рентгенография
пяточной кости



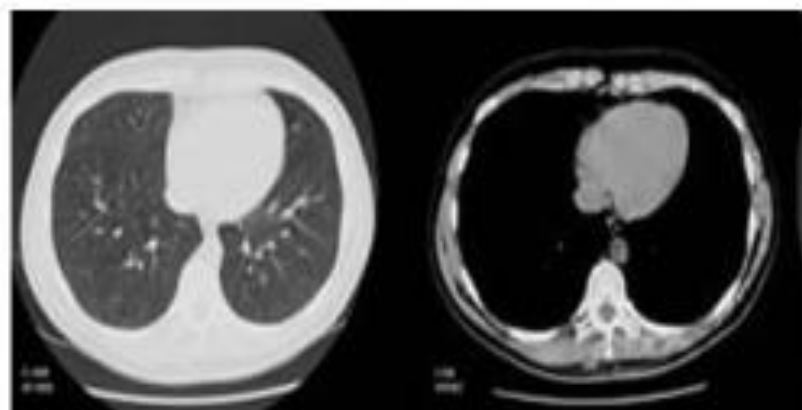
Линейка детекторов, преобразующих R-излучение в электрические сигналы.



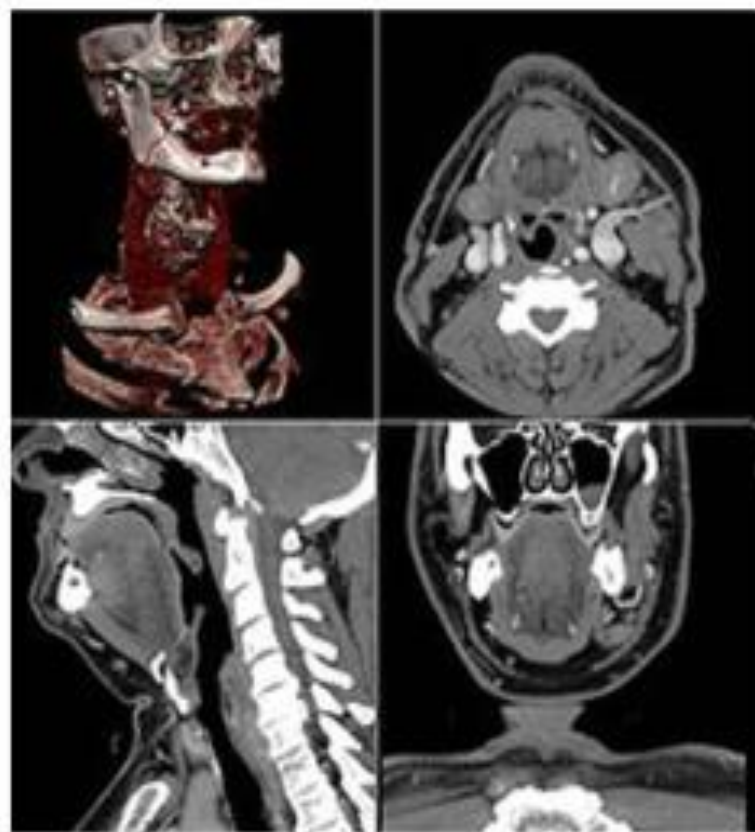
При обследовании пациента **обычно получают КТ - изображения нескольких параллельных сечений исследуемой области тела.**

Для ускорения процедуры применяют **«спиральное сканирование»:** стол с пациентом равномерно движется при одновременном вращении системы «излучатель-датчик»

Схема «спирального» КТ-сканирования.

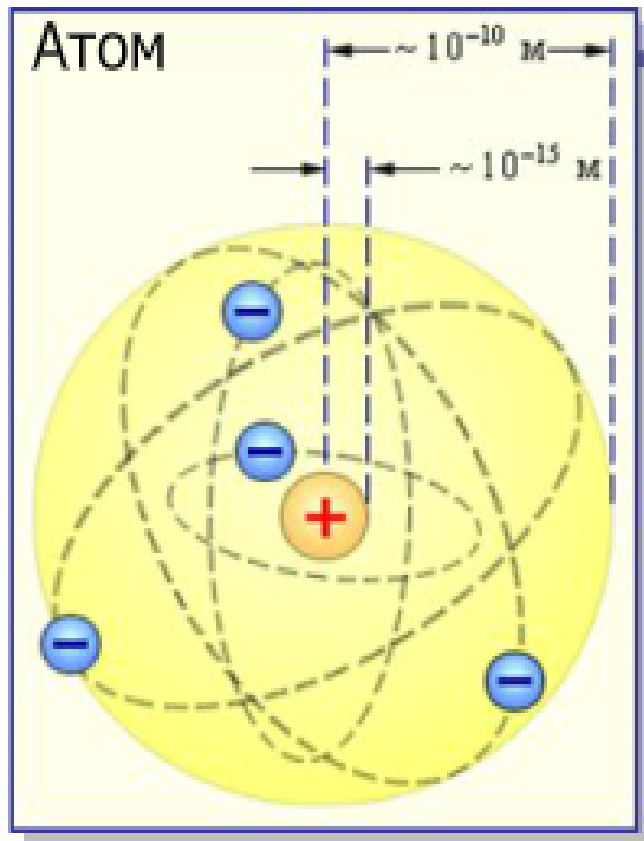


КТ-скан грудной клетки в легочном и мягкотканном окнах



Многослойная («мультиспиральная») компьютерная томография с внутривенным контрастным усилением и трёхмерной реконструкцией изображения.

Строение атомных ядер



- *Атомное ядро* состоит из нуклонов - протонов 1_1p и нейтронов 1_0n .
- *Изотопы* – атомы **одного химического элемента** с одинаковым зарядом Z ядра (одинаковым числом протонов 1_1p) и разным массовым числом A (разным количеством нейтронов 1_0n).



$$R = 1,5 \cdot \sqrt[3]{A} \cdot 10^{-15} \text{ м}$$

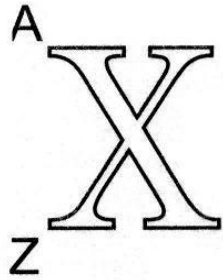
Характеристики атомного ядра

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

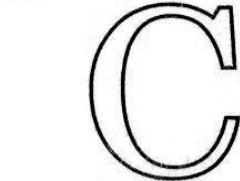
Характеристика	Обозначение	Определение
Зарядовое число	Z	Равно числу протонов в ядре, совпадает с порядковым номером химического элемента в Периодической системе элементов
Массовое число	$A=Z+N$	Равно числу нуклонов в ядре (числу протонов Z и нейтронов N)
Заряд ядра	$+Ze$	Поскольку атом нейтрален, то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

Символически характеристики ядра обозначают

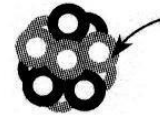
Символическая запись ядер



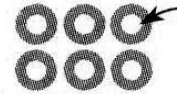
Пример: 12



6



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



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



В ядре 6 нейтронов.

Число нейтронов (N) = A - Z

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

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

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

Нуклоны в ядре удерживаются ядерными силами притяжения!

Свойства ядерных сил:

- **это сильнодействующие силы притяжения** – они в 10^4 раз превышают электромагнитное (кулоновское) отталкивание протонов в ядре;
- **короткодействующие** – действуют на расстояниях $<10^{-14}$ м (размер ядра);
- **Зарядово независимые** – взаимодействие между нуклонами происходит независимо от их электрического заряда;
- **имеют свойство насыщения**, т.е. каждый нуклон взаимодействует только с ограниченным числом (не более **6-8**) окружающих его нуклонов-соседей.

Дефект массы и энергия связи ядра

- Ядро элемента ${}^A_Z X$ состоит из Z протонов и $(A-Z)$ нейтронов;
- **Масса ядра $M_{\text{я}}$ всегда меньше суммы масс составляющих его нуклонов, эту разность называют дефектом массы ΔM :**

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

- По соотношению Эйнштейна $E = mc^2$ масса эквивалентна энергии;

- **ПОЛНАЯ ЭНЕРГИЯ СВЯЗИ НУКЛОНОВ В ЯДРЕ:** $E_{\text{СВ}} = \Delta M \cdot c^2$

- **Удельная энергия связи (на 1 нуклон):** $\epsilon_{\text{уд}} = \frac{E_{\text{СВ}}}{A} = \frac{\Delta M \cdot c^2}{A};$

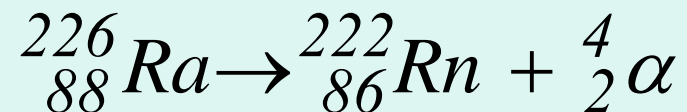
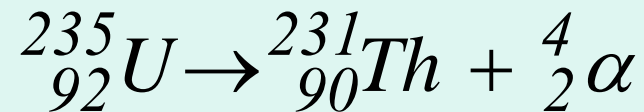
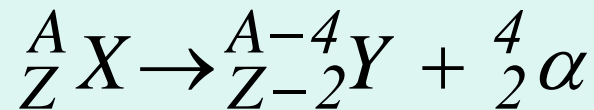
РАДИОАКТИВНОСТЬ

- *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

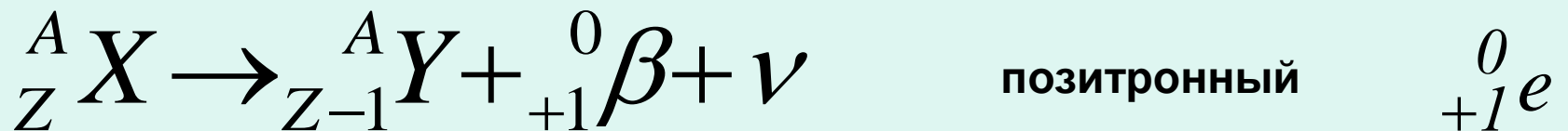
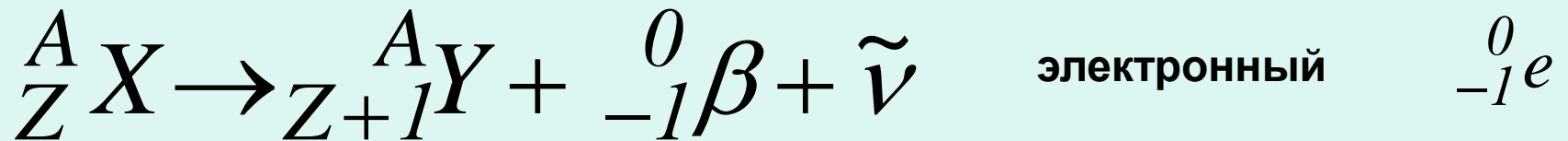
- Отклоняется электрическим и магнитным полями;
- обладает высокой ионизирующей способностью и малой проникающей способностью;
- представляет собой поток ядер гелия ${}^4_2\text{He}$
- заряд α -частицы равен $+2e$;
- масса совпадает с массой ядра изотопа гелия;
- спектр линейчатый.



Виды радиоактивного излучения

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;
- спектр сплошной;
- обозначается β^- или β^+ или (позитрон).



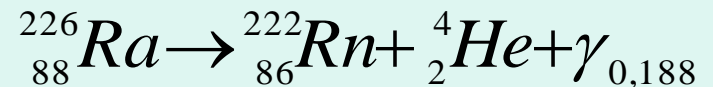
Виды радиоактивного излучения

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 $\lambda < 10^{-10} \text{ м}$

и вследствие этого – *ярко выраженными корпускулярными свойствами*, т. е. является *потоком частиц – γ -квантов (фотонов)*.

- γ - излучение радиоактивных веществ имеет *линейчатый спектр*, содержащий несколько (одну) линий.

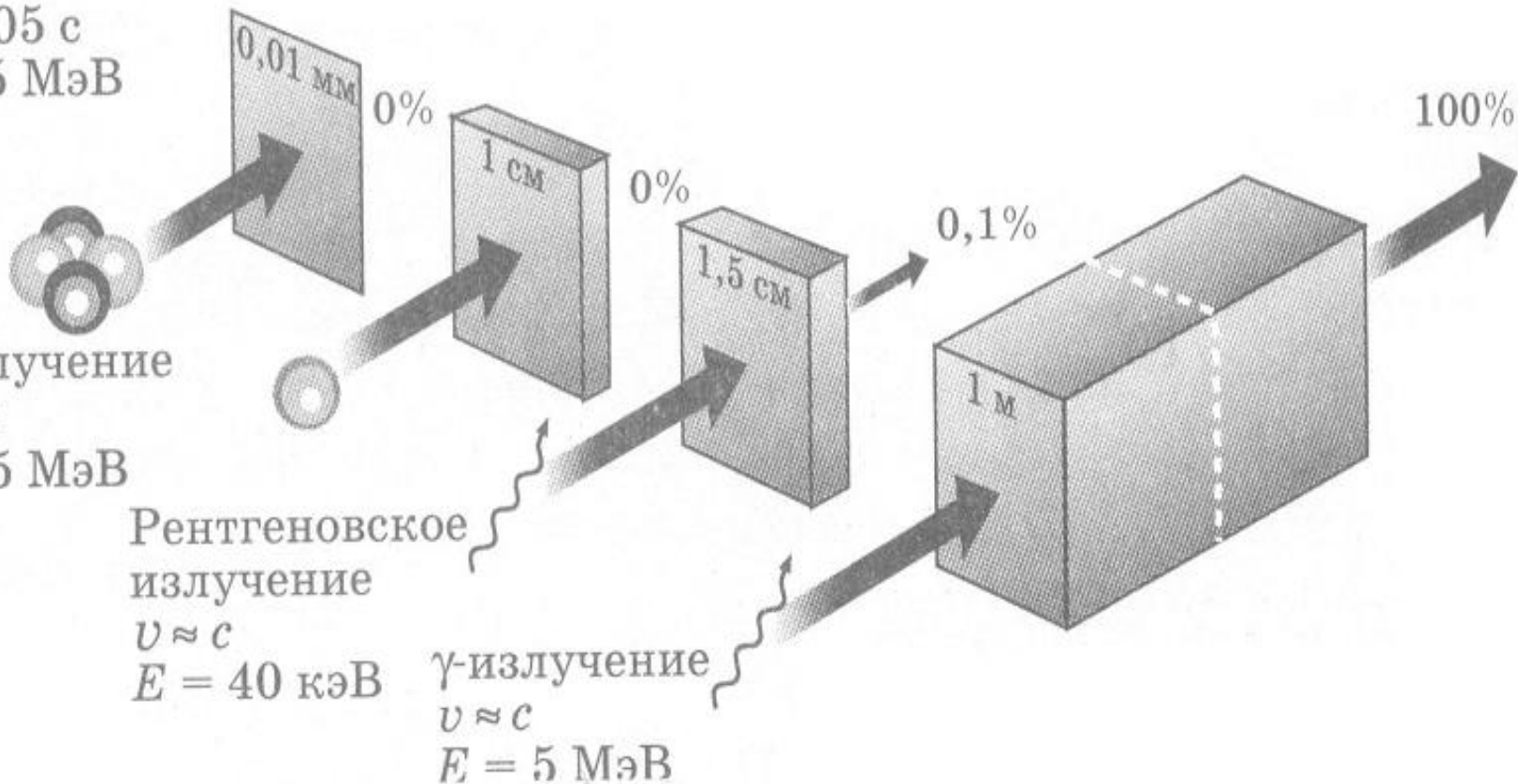


Сравнение проникающей способности α -, β -, γ -излучений и рентгеновского излучения в алюминии

α -излучение

$v \approx 0,05 c$

$E = 5 \text{ МэВ}$



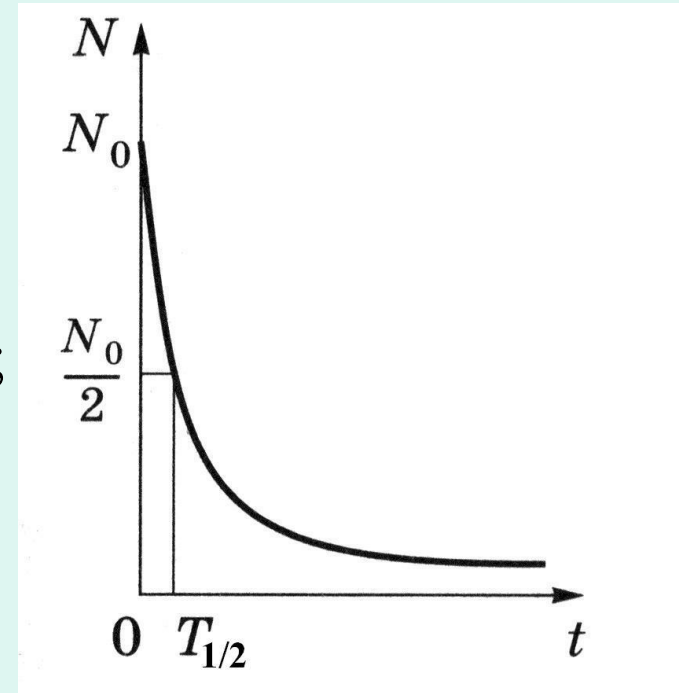
Закон радиоактивного распада

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

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**).

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 10^6 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 До, 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 см³ сухого воздуха (при 0⁰C 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**.

$$P = \frac{\dot{A}}{t}$$

- 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.

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

Между поглощенными и экспозиционными дозами существует следующая связь:

$$D_n = f D_o,$$

где f – переходный коэффициент, зависящий от облучаемого вещества и энергии фотонов. Для воздуха $f=0,88$ и мало зависит от энергии фотонов.

$$D_n = f_{\text{возд.}} D_o = 0,88 D_o$$

Для воды и мягких тканей тела человека $f=1$, следовательно, поглощенная доза в радах численно равна соответствующей дозе в рентгенах. Это и обуславливает удобство и использования внесистемных единиц – рад и рентген.

Предельно допустимой эффективной эквивалентной дозой при профессиональном облучении является *0,02 зиверта за год*.

Летальной дозой от γ -излучений считается 100 Зв смерть наступает в течение 2-3 десятков часов после облучения.

Для источника излучения точечной формы мощность дозы в *рентген/час* прямо пропорциональна активности *A* источника, выраженной в *мкюри*, и обратно пропорциональна квадрату расстояния *r* в *см* от источника излучения до места определения дозы:

$$\frac{D}{t} = \frac{R_{\gamma} A}{r^2}$$

R_{γ} - *гамма-постоянная* радиоактивного изотопа.

Примеры конкретных доз , получаемых по некоторым причинам при облучении всего тела:

Источник излучения

Средняя мощность эквивалентной дозы облучения всего тела (мкЗв/ч):

Полет на самолете на высоте 8 км

- 1,35

Цветной телевизор на расстоянии от экрана:

5см

-100

250 см от экрана

-2,5-10⁻³

Район мощной тепловой

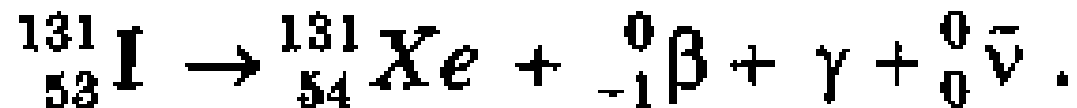
- 0,6-10⁻³

электростанции радиусом 20 км

Ионизирующее излучение оказывает действие на вещество только тогда, когда оно взаимодействует с частицами, входящими в состав этого вещества. Поэтому часть излучения, которая проходит данное вещество (без поглощения) действия на него не оказывает.

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

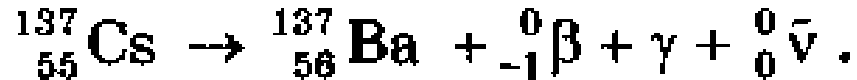


- Поскольку скорость распада йода велика (**за 8 суток распадается примерно половина ядер**), то он имел **наибольшую начальную активность и легко обнаруживался по** интенсивному γ -излучению

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>