

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ И ЕГО ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В МЕДИЦИНЕ

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

- это электромагнитные волны с длиной волны < 10 нм. $E > 10$ эВ.



ионизирующее
излучение

$$E = h\nu = \frac{hc}{\lambda}$$

Рентгеновское излучение может быть:

- Жёстким (относительно высокочастотное, коротковолновое $0,01 \text{ нм}$ - 10^{-5} нм). Обладает большой проникающей способностью, мало поглощается веществом.

- Мягким (относительно низкочастотное, или длинноволновое, 80 нм - $0,01 \text{ нм}$). Хорошо поглощается веществом, обладает малой проникающей способностью.

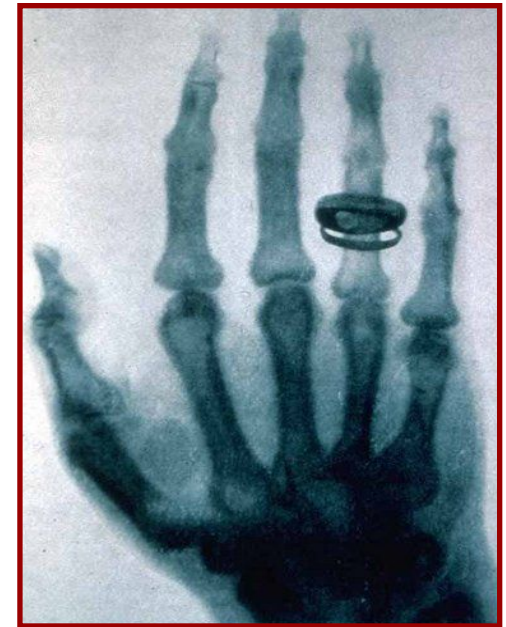
ИСТОРИЯ ОТКРЫТИЯ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



Вильгельм РЕНТГЕН (1845-1923 гг) – автор фундаментальных работ в различных областях экспериментальной физики.

В 1895 г. он открыл новый вид лучей, названных им X-лучами и известных теперь как рентгеновские лучи. Им были произведены первые рентгеновские снимки – собственной руки и руки жены.

Лаборатория В.Рентгена



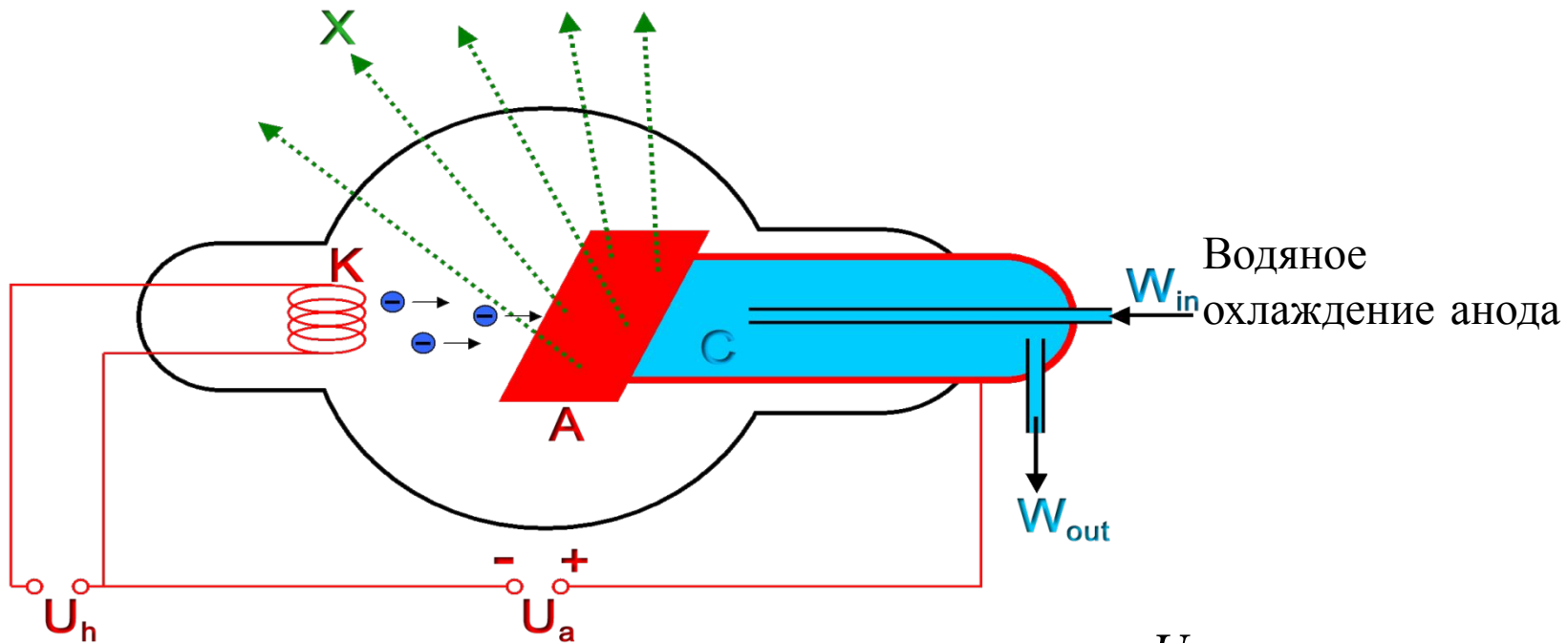
**первый рентгеновский снимок
кисти руки жены В.Рентгена**

СВОЙСТВА РЕНТГЕНОВСКИХ ЛУЧЕЙ.

1. Вызывают свечение люминофора.
2. Проходят через стекло, бумагу, дерево, эбонит (вещество малой атомной массы).
3. Задерживаются свинцом.
4. Засвечивают фотоматериалы.
5. Не отклоняются в магнитном поле.
6. Не заряжены.

Источником рентгеновского излучения является трубка.

КОНСТРУКЦИЯ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ



1. Катод (K) нагревается переменным током () и испускает электроны. Это явление называется термоэлектронной эмиссией
2. Под действием электрического поля () электроны (-) движутся к аноду (+) и тормозятся электромагнитными полями его атомов, в результате чего возникает большая часть потока рентгеновского излучения (Φ):

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

$\uparrow$ сила тока $\uparrow$ напряжение $\leftarrow$ заряд атомов анода

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

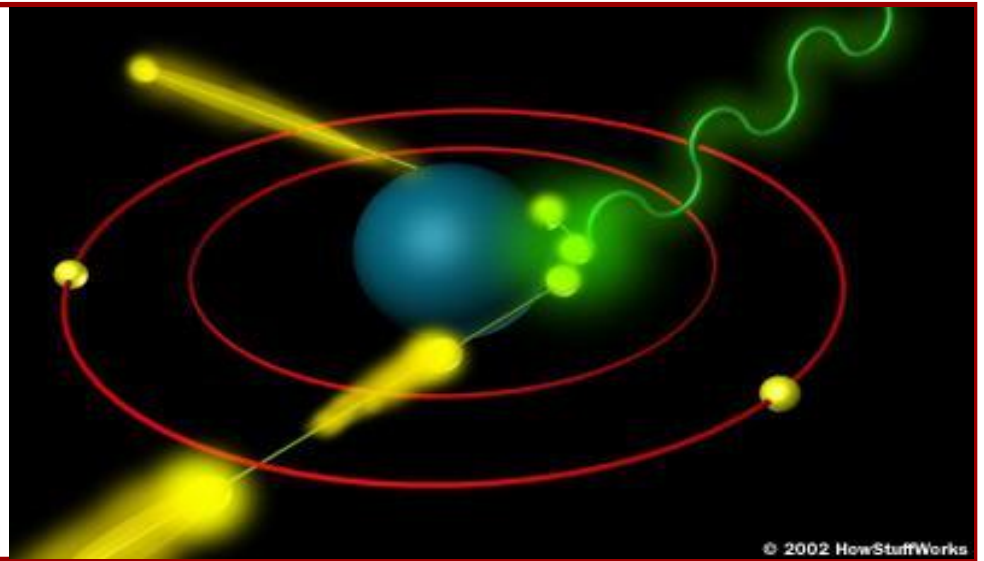
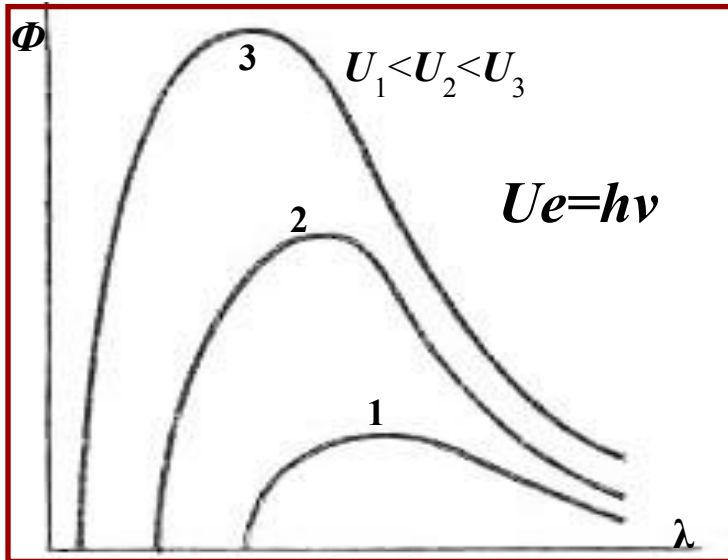


```
graph TD; A[РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ] --> B[ТОРМОЗНОЕ]; A --> C[ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЕ];
```

ТОРМОЗНОЕ

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЕ

ТОРМОЗНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ



1. Тормозное рентгеновское излучение возникает в результате торможения электрона электростатическим полем ядра атомов вещества анода.
2. Лишь часть энергии идет на создание фотона рентгеновского излучения (~1%), другая часть (~99%) расходуется на нагревание анода.
3. При торможении большого количества электронов образуется непрерывный спектр рентгеновского излучения, т.к. соотношение между кинетической энергией электрона, перешедшей в квант рентгеновского излучения и в теплоту, для каждого электрона случайно.

Опасность рентгеновского излучения состоит в том, что короткая длина волны обладает большой проникающей способностью.

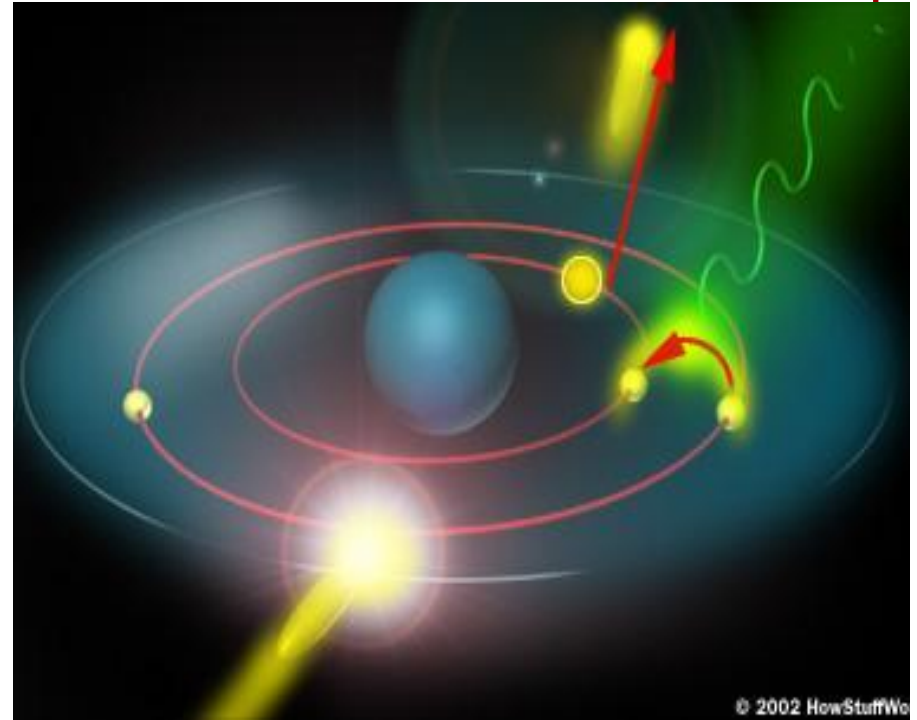
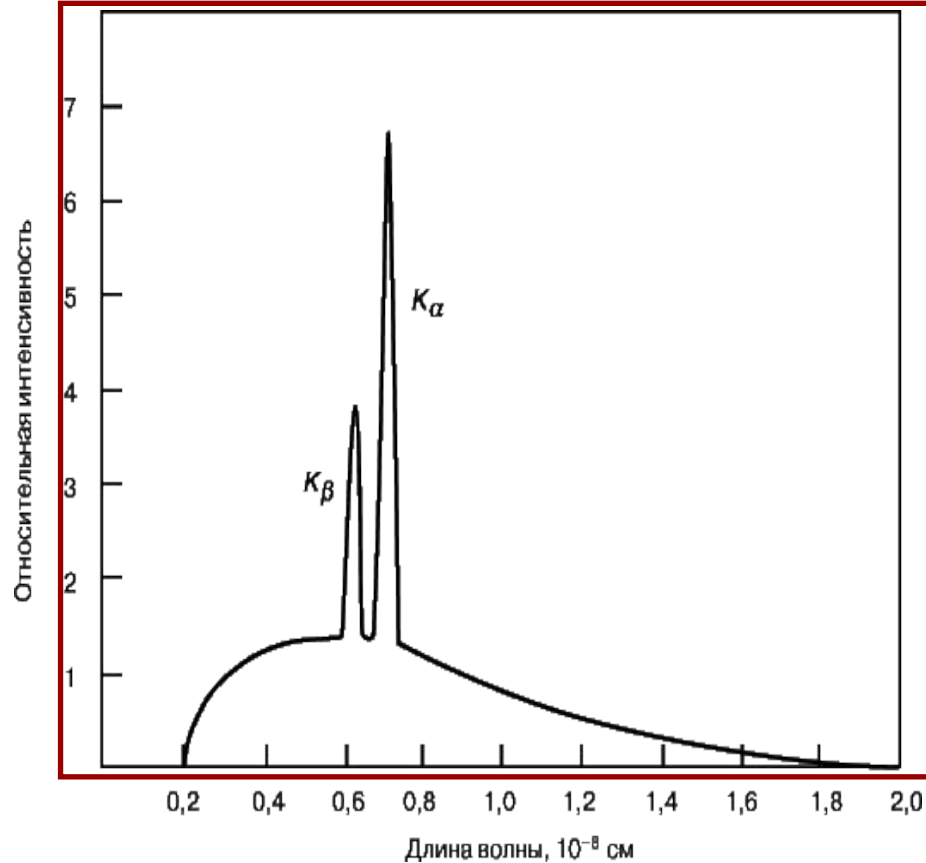
Короткое излучение возникает, когда энергия приобретенная электроном в ускоряющем поле, полностью переходит в энергия фотона:

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

Или $\lambda_{\min} = \frac{12,3}{U} \text{ м.}$ $\lambda_{\min} = 10^{-10}$

Если увеличить температуру накала катода, то возрастет эмиссия электронов и сила тока в трубке. Это приводит к увеличению числа фотонов рентгеновского излучения. Спектральный состав не изменится.

ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ



© 2002 HowStuffWorks

При больших напряжениях на рентгеновской трубке, на фоне сплошного спектра тормозного рентгеновского излучения появляется линейчатый спектр характеристического рентгеновского излучения.

Он возникает, если ускоренные электроны проникают вглубь атома и из внутренних орбиталей выбивают электроны. На свободные места переходят электроны с верхних уровней, в результате, а разность энергий уровней излучается в виде фотонов характеристического рентгеновского излучения.

Характеристический спектр каждого вещества индивидуален и представляет собой спектры.

Характеристическое излучение, частоты определяются законом Мозли:

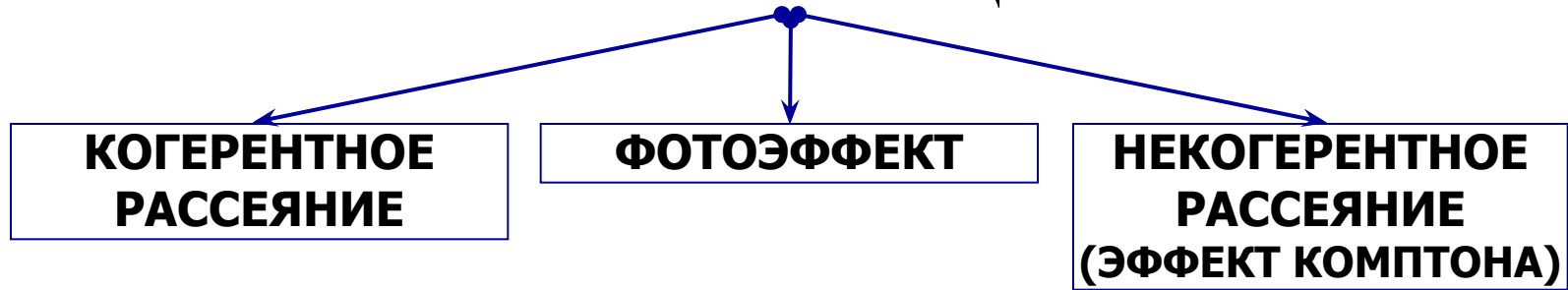
ЗАКОН МОЗЛИ

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

где A , $B = \text{const}$, Z –
порядковый номер
элемента

Характеристические спектры сдвигаются в сторону больших частот с увеличением заряда ядра.

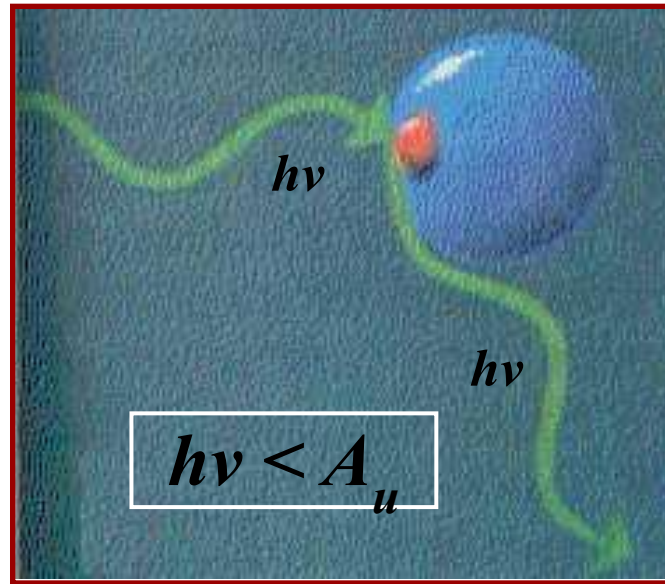
ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ВЕЩЕСТВОМ



При падении на тело рентгеновского излучения оно в незначительной части отражается от его поверхности, но в основном проходит вглубь тела, где, взаимодействуя с электронами атомов вещества, поглощается и рассеивается, и частично проходит через тело насквозь без взаимодействия с ним.

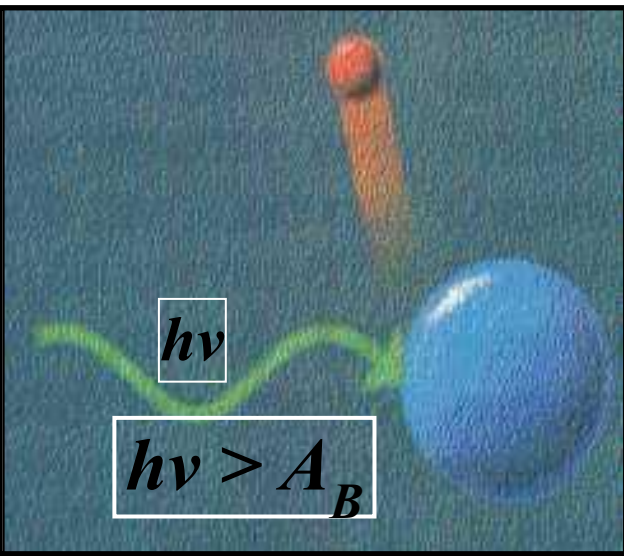
Механизмы поглощения рентгеновского излучения зависят от соотношения между энергией фотона $E=h\nu$ и энергией ионизации A_{ψ} – энергией, которая необходима для удаления внутренних электронов за пределы атома или молекулы.

КОГЕРЕНТНОЕ РАССЕЯНИЕ



При когерентном рассеянии изменяется только направление распространения рентгеновского излучения (фотона).
Используется для рентгеноструктурного анализа – выявления внутренней структуры вещества (расположение атомов и молекул).

ВНУТРЕННИЙ ФОТОЭФФЕКТ



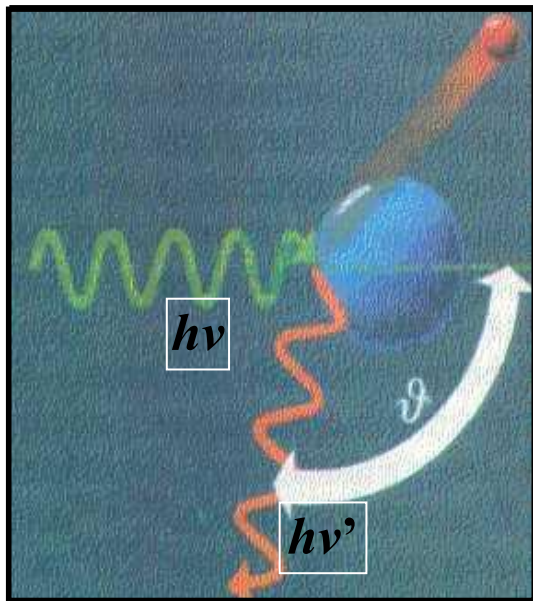
Если энергия фотона $h\nu$ достаточна для совершения работы выхода электрона A_B : $h\nu > A_B$, то при взаимодействии с ним фотон рентгеновского излучения поглощается, а электрон отрывается от атома и происходит ионизация вещества. Оторвавшийся электрон приобретает кинетическую энергию

$$\Rightarrow \frac{mv^2}{2} = h\nu - A_B$$

Если кинетическая энергия электрона значительна, то он ионизирует соседние атомы путем соударения (вторичная ионизация).

Если энергия фотона недостаточна для отрыва электрона, то происходит возбуждение атома или молекулы, которое у некоторых веществ приводит к последующему излучению в области видимого диапазона (рентгенолюминесценция), а в тканях организма, к активации молекул и фотохимическим реакциям.

НЕКОГЕРЕНТНОЕ РАССЕЯНИЕ



Если энергия фотона $h\nu$ значительно превышает работу выхода электрона: $E \gg A_B$, то происходит **комpton-эффект** или **некогерентное рассеяние**.

Электрон отрывается от атома (такие электроны называются электронами отдачи), энергия фотона уменьшается, а длина волны соответственно увеличивается; изменяется также и направление движения фотона. Образующееся при этом излучение с большей длиной волны называется вторичным, оно рассеивается по всевозможным направлениям. Если электроны отдачи имеют достаточную кинетическую энергию, они ионизируют соседние атомы.

ПОГЛОЩЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ ВЕЩЕСТВОМ

В результате взаимодействия с веществом первичный пучок рентгеновского излучения ослабевает. Этот процесс подчиняется **закону Бугера**, согласно которому интенсивность Φ_d рентгеновского излучения, достигающего слоя на глубине d от поверхности однородного вещества, связана с интенсивностью Φ_0 излучения, падающего на поверхность, зависимостью:

$$\Rightarrow \Phi_d = \Phi_0 e^{-\mu d},$$

где μ называют линейным коэффициентом ослабления. Он зависит от природы вещества (от плотности ρ и от атомного номера Z) и от длины волны λ (энергии фотона) излучения. Массовый коэффициент ослабления равен отношению линейного коэффициента ослабления к плотности поглотителя и не зависит от плотности вещества:

$$\Rightarrow \mu = k \cdot \rho \cdot \lambda^3 \cdot Z^3, \quad \mu_m = \frac{\mu}{\rho}$$

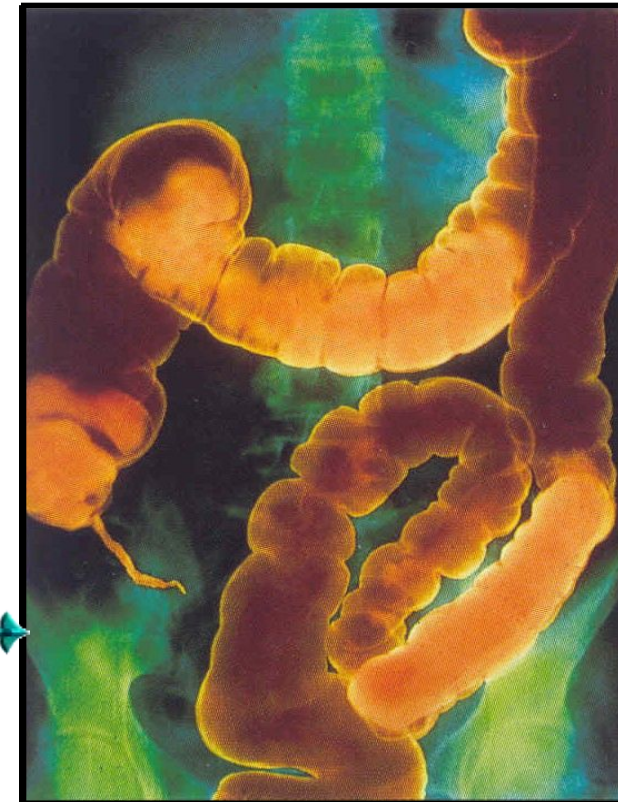
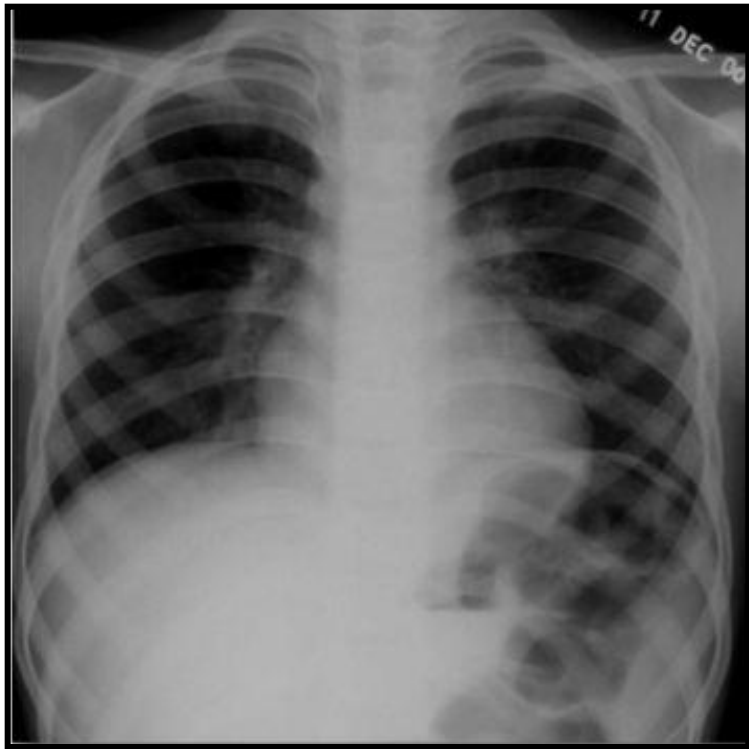
1. **Разные вещества в различной степени поглощают рентгеновское излучение (используется в рентгенодиагностике). Чем больше плотность и атомный номер вещества, тем сильнее оно поглощает излучения (свинец для защиты от излучения, контрастные вещества для увеличения поглощения).**
2. **Жёсткое излучение поглощается хуже, чем мягкое, т.к. поглощение пропорционально λ^3 . Относительно жёсткое излучение применяют в рентгенодиагностике, которая основана на регистрации излучения, прошедшего сквозь тело. Мягкое излучение применяют в рентгенотерапии.**

ПРИРОДА ТЕНЕВОГО ИЗОБРАЖЕНИЯ

Поглощение рентгеновских лучей почти не зависит от того, в каком соединении атом представлен в веществе, поэтому легко можно сравнить массовые коэффициенты ослабления μ_{mk} кости $Ca_3(PO_4)_2$ и μ_{mv} мягкой ткани или воды H_2O . Атомные номера Ca , P , O и H соответственно равны 20, 15, 8 и 1. Поэтому получим отношение коэффициентов ослабления для кости и мягкой ткани:

$$\Rightarrow \frac{\mu_{mk}}{\mu_{mv}} = \frac{3 \cdot 20^3 + 2 \cdot 15^3 + 8 \cdot 8^3}{2 \cdot 1^3 + 8^3} = 68.$$

Кости лучше поглощают рентгеновские лучи, чем вода, из-за разного химического состава



Если исследуемый орган и окружающие ткани примерно одинаково ослабляют рентгеновское излучение, то применяют специальные контрастные вещества. Так, например, наполнив кишечник кашеобразной массой сульфата бария, можно видеть его теневое изображение

РЕНТГЕНОДИАГНОСТИКА

РЕНТГЕНОСКОПИЯ

изображение рассматривают
на люминесцирующем экране

РЕНТГЕНОГРАФИЯ

изображение фиксируется на
фотопленке

РЕНТГЕНОВСКАЯ ТОМОГРАФИЯ

(tomo (греч) – слой) полученное цифровое изображение, позволяет
визуально с помощью компьютера, оценить слой, лежащий на
определенной глубине.

сравнение изображений

области таза

грудной клетки

полученных с помощью теневой проекции (а) и томографии (б)

