

Ионизирующие излучения

- **Ионизирующим излучением** называют потоки частиц и электромагнитных квантов, взаимодействие которых со средой приводит к ионизации ее атомов и молекул.
- Ионизирующим излучением являются рентгеновское и γ -излучения, потоки α -частиц, электронов, позитронов, протонов, нейтронов.

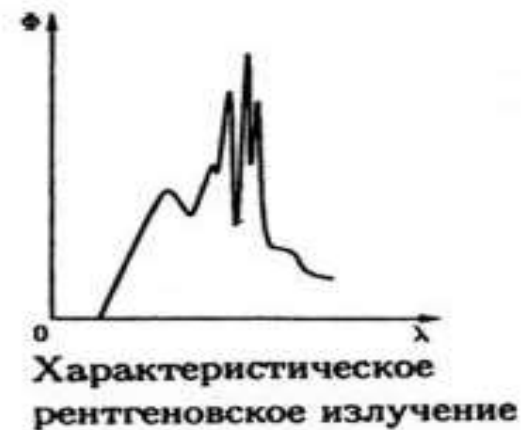


Рентгеновское излучение

- **Рентгеновским излучением** называют электромагнитные волны с длиной волны приблизительно от 80 до 0,00001 нм.
 - Со стороны длинных волн оно граничит с ультрафиолетовым, со стороны коротких волн – в значительной степени перекрывается гамма - излучением.
 - Невидимо для глаза.
- Проходит сквозь многие вещества, непроницаемые для оптического излучения.
- По способу получения рентгеновское излучение подразделяют на тормозное и характеристическое.

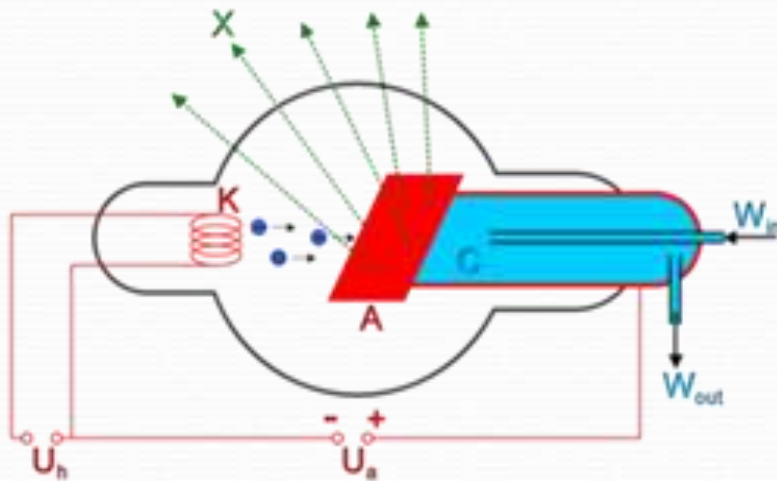
Характеристическое излучение возникает при переходах между энергетическими уровнями электронов внутренних оболочек атомов с высоким порядковым номером.

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



Рентгеновские трубки

- Наиболее распространенным источником рентгеновского излучения является рентгеновская трубка, которая представляет собой двухэлектродный вакуумный прибор.



- X - рентгеновские лучи,

K - катод, A - анод,

C - теплоотвод,

U_h - напряжение накала катода,

U_a - ускоряющее напряжение,

W_{in} - впуск водяного охлаждения,

W_{out} - выпуск водяного охлаждения.

Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом

При падении на тело рентгеновского излучения оно:

- в незначительной части отражается от его поверхности;
- в основном проходит вглубь массы тела, где, взаимодействуя с электронами атомов вещества, поглощается и рассеивается;
- частично может проходить тело насквозь без взаимодействия с ним.
- При этом могут происходить следующие процессы:
когерентное рассеяние, фотоэффект и комптон-эффект.

Когерентное рассеяние.

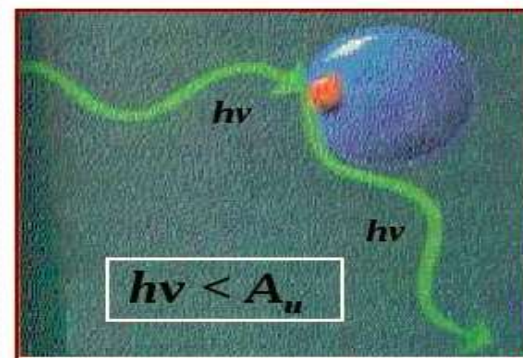
Рассеяние длинноволнового рентгеновского излучения происходит в основном без изменения длины волны (принято называть когерентным).

Возникает, если энергия фотона меньше энергии ионизации: $h\nu < A_{и}$.

Энергия фотона рентгеновского излучения и атома не изменяется - когерентное рассеяние само по себе не вызывает биологического действия.

При создании защиты от рентгеновского излучения следует учитывать возможность изменения направления первичного пучка.

Этот вид взаимодействия имеет значение для рентгеноструктурного анализа.

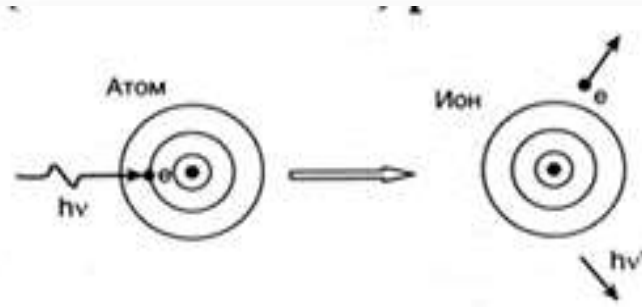


Некогерентное рассеяние (эффект Комптона).

Рассеяние рентгеновского излучения с изменением длины волны принято называть некогерентным, а само явление — эффектом Комптона.

Возникает, если энергия фотона рентгеновского излучения больше энергии связи электрона в атоме (энергии ионизации): $h\nu > A_{\text{и}}$.

В этом явлении наряду с вторичным рентгеновским излучением (энергия $h\nu'$ фотона) появляются электроны отдачи (кинетическая энергия $E_{\text{к}}$ электрона).



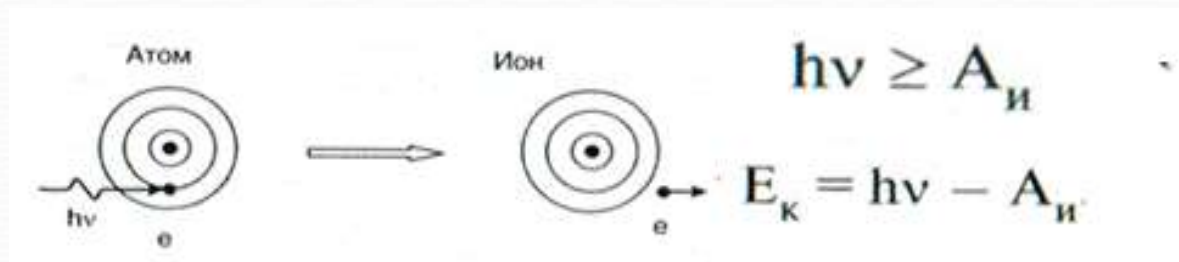
$$h\nu \gg A_{\text{и}}$$

$$h\nu' = h\nu - A_{\text{и}} - E_{\text{к}}$$

Фотоэффект.

При фотоэффекте рентгеновское излучение поглощается атомом, в результате чего вылетают электроны из глубоких оболочек атома. Если энергия фотона недостаточна для ионизации, то фотоэффект может проявляться в возбуждении атомов без вылета электронов.

Может происходить несколько десятков процессов прежде чем энергия рентгеновского фотона перейдет в энергию молекулярно-теплового движения.



Рентгенолюминесценция — свечение ряда веществ при рентгеновском облучении.

Такое свечение платиносинеродистого бария позволило Рентгену открыть лучи.

Используют:

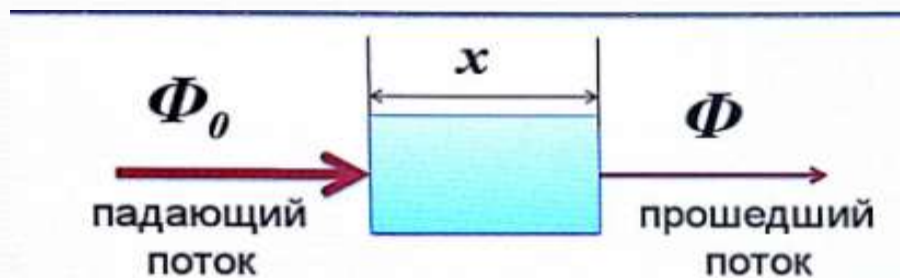
1. для создания специальных светящихся экранов с целью визуального наблюдения рентгеновского излучения,
2. для усиления действия рентгеновских лучей на фотопластинку.

Ионизирующее действие проявляется в увеличении
**электропроводимости под воздействием
рентгеновских лучей.**

В результате многих процессов первичный пучок
рентгеновского излучения ослабляется в соответствии с
законом:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-\mu x}$$

Интенсивность параллельного пучка монохроматического
рентгеновского излучения, достигающего слоя на глубину
 x от поверхности однородного вещества, связана с
интенсивностью излучения, падающего на поверхность.



Одно из наиболее важных медицинских применений рентгеновского излучения — просвечивание внутренних органов с диагностической целью **(рентгенодиагностика)**.

Для диагностики используют фотоны с энергией порядка 60 — 120 кэВ.

При этой энергии массовый коэффициент ослабления в основном определяется фотоэффектом.

Поглощение рентгеновских лучей почти не зависит от того, в каком соединении атом представлен в веществе: можно легко сравнить массовые коэффициенты ослабления кости и мягкой ткани или воды.

Существенное различие поглощения рентгеновского излучения разными тканями позволяет в теневой проекции видеть изображения внутренних органов тела человека.

Рентгенодиагностику используют в двух вариантах:

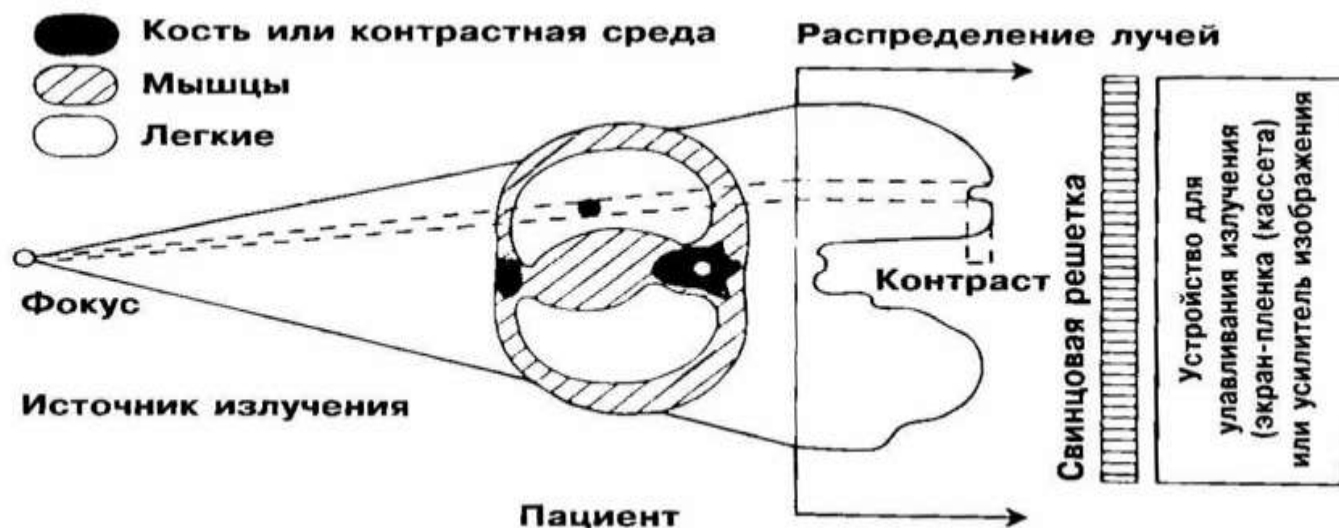
1. **рентгеноскопия** — изображение рассматривают на рентгенолюминесцирующем экране (просвечивание),
2. **рентгенография** — изображение фиксируется на фотопленке (снимок).

Вариант рентгенографии — **флюорография** - на чувствительной малоформатной пленке фиксируется изображение с большого рентгенолюминесцирующего экрана.

Если **исследуемый орган и окружающие ткани примерно одинаково ослабляют рентгеновское излучение**, то применяют специальные **контрастные вещества, хорошо поглощающие рентгеновское излучение**.

Яркость изображения на экране и время экспозиции на фотопленке зависят от интенсивности рентгеновского излучения.

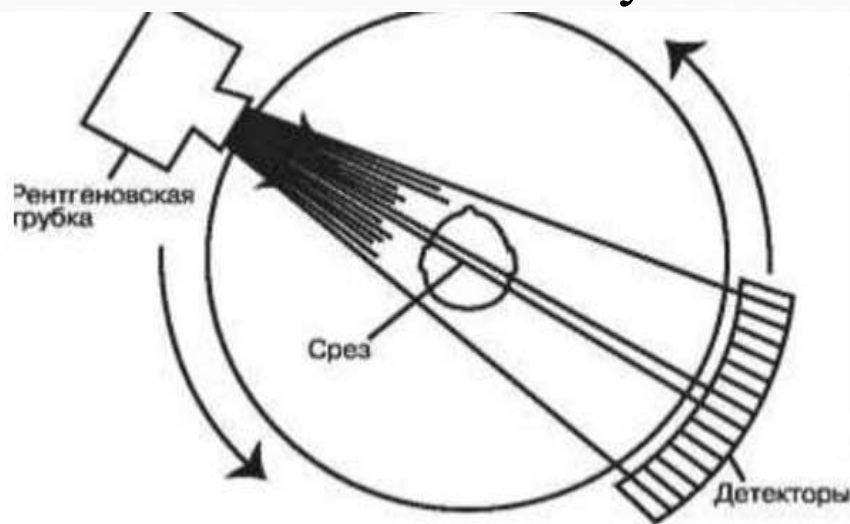
Для диагностики интенсивность не может быть сделана большой, чтобы не вызвать нежелательных биологических последствий.



Вариантом рентгенографии является метод, называемый **рентгеновской томографией**, и его «машинный вариант» — **компьютерная томография**.

Рентгеновское излучение используется для лечебных целей, метод называется **рентгенотерапией**.

Действие излучения нарушает жизнедеятельность клеток, особенно мало дифференцированных и быстро размножающихся. Поэтому рентгенотерапия применяется для борьбы со злокачественными опухолями.



Радиоактивность

- Явление радиоактивности было открыто в 1896 г. А. Беккерелем.
- **Радиоактивность** — способность некоторых атомных ядер самопроизвольно (спонтанно) превращаться в другие ядра с испусканием частиц.
- Характерным признаком радиоактивности является спонтанность распада, который представляет собой **вероятностный процесс**.
- Существуют два вида радиоактивности:
 - 1) **естественная**, которая встречается у природных неустойчивых ядер;
 - 2) **искусственная**, которая встречается у радиоактивных ядер, образованных в результате различных ядерных реакций; источником искусственной радиоактивности могут являться и радиоактивные осадки.
- Оба вида радиоактивности имеют общие закономерности.

Естественная радиоактивность (природная атомная радиация).
Известно пять основных источников природной атомной радиации.

Доля	Источник природного радиоактивного фона
49,5%	Газ радон ^{222}Rn и радиоактивные продукты его распада
15%	Радиоизотоп ^{40}K
15,3%	Космическое излучение
12,2%	Радиевый ряд урана
8%	Ториевый ряд урана

Основные типы радиоактивного распада

- **Альфа-распад** состоит в самопроизвольном превращении ядра с испусканием α -частиц (ядра гелия).
- Альфа-распад сопровождается γ -излучением.
- **Бета-распад** состоит в самопроизвольном превращении ядра с испусканием электронов (или позитронов).
- Различают следующие виды β -распада;
 1. Электронный.
 2. Позитронный.
- **Электронный захват.**
- **Гамма-излучение** имеет электромагнитную природу и представляет собой фотоны с длиной волны $\lambda \leq 10^{-10}$.

Основной закон радиоактивного распада

- **Радиоактивный распад** — явление статистическое. Можно установить вероятность распада одного ядра за определенный промежуток времени.
- За равные промежутки времени распадаются одинаковые доли наличных (то есть еще не распавшихся к началу данного промежутка) ядер данного элемента.
- Число радиоактивных ядер убывает со временем по экспоненциальному закону.

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

- Период полураспада (T) — это время, в течение которого распадается половина радиоактивных ядер.

$$T = \frac{\ln 2}{\lambda}.$$

Скорость радиоактивного распада называется **активностью**.

Активность — число ядер радиоактивного препарата, распадающихся за единицу времени:

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

Единица измерения активности в СИ — беккерель (Бк), что соответствует одному акту распада в секунду.

Зная активность препарата и продукты, образующиеся при распаде одного ядра, можно вычислить, сколько частиц каждого вида испускает препарат за 1 с.

Дозиметрия

- **Дозиметрией** называют раздел ядерной физики и измерительной техники, в котором изучают величины, характеризующие действие ионизирующего излучения на вещество, а также методы и приборы для их измерения.
- Поглощенная доза излучения (D): $D_n = E/m$, (Гр).
- Коэффициент K, показывающий, во сколько раз эффективность биологического действия данного вида излучения больше, чем рентгеновского или γ -излучения, при одинаковой дозе излучения в тканях, называется коэффициентом качества. В радиобиологии его называют также **относительной биологической эффективностью (ОБЭ)**.

- **Эквивалентная доза** учитывает эффективность соответствующего вида излучения:

$$D_{\text{экв}} = D_n \cdot \text{ОБЭ}$$

- Так как ОБЭ - безразмерный коэффициент, то эквивалентная доза излучения имеет ту же размерность, что и поглощенная доза излучения, но называется зивертом (Зв). Внесистемная единица эквивалентной дозы - бэр, $1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{ Зв}$.
- **Экспозиционная доза** (X) характеризует ионизирующее действие рентгеновского и γ -излучения в воздухе, окружающем облучаемое тело. (Кл/кг)

Эквивалентная доза, бэр	Биологический эффект
0-0,1	Угнетение жизнедеятельности (замедленное деление, ухудшение развития)
0,1-0,2	Оптимум жизнедеятельности
0,2-5	Стимуляция жизнедеятельности (стимулирование и развитие, повышение сопротивления неблагоприятным условиям среды)
5-10	Регистрация мутаций
10-25	Для взрослого человека видимых нарушений нет, для эмбриона могут быть поражения мозга
25-50	Временная мужская стерилизация. Возможны изменения в крови
50-100	Обязательно есть изменения в крови, нарушение иммунитета
100-200	Иммунодефицитное состояние
200-400	Потеря трудоспособности, инвалидизация
400-500	Тяжелое поражение костного мозга, 50% смертность
600-1000	Тяжелое поражение слизистой кишок, 100% смертность 3-12 дн.
1000-10 000	Коматозное состояние, смерть через 1-2 часа
$H > 10\ 000$	Смерть под лучом

Ткани органа	Метод обследования		
	Рентгеноскопия	Рентгенография	Флюорография
Легкие	3,5 Р	0,15 Р	1,1 Р
Желудок	25 Р	0,46 Р	-
Пищевод	8,5 Р	0,27 Р	-

Связь между поглощенной и экспозиционной дозами:

$$D = f \cdot X,$$

где f — некоторый коэффициент, зависящий от облучаемого вещества и энергии фотонов. Для костной ткани $f = 1-4,5$, для воды и мягких тканей $f \sim 1$. Поэтому для воды и мягких тканей поглощенная доза излучения в радах численно равна соответствующей экспозиционной дозе в рентгенах

$$(1 \text{ рад} = 1 \text{ Р}).$$

$$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{(-4)} \text{ Кл/кг}.$$

Нормы радиационной безопасности определяется **предельно допустимой эквивалентной дозой за год (ПДД)**:

ПДД для взрослого населения — 0,5 бэр/год;

ПДД для детей, беременных женщин — 0,17 бэр/год;

ПДД для профессионалов — 5,0 бэр/год.

Предельно допустимые мощности экспозиционной дозы:

норма — 0,02 мР/ч;

профессиональная норма — 0,57 мР/ч.

Летальные дозы (ЛД) для облучения всего организма:

ЛД50 - 400 Р; ЛД90 - 800 Р,

где цифры 50, 90 означают 50%, 90% летальных исходов.



Спасибо за внимание!