



# **Рентгеновское излучение. Радиоактивность**

*Ионизирующее излучение* - это потоки элементарных частиц или электромагнитные волны, взаимодействие которых с веществом приводит к его ионизации.

Виды ионизирующего излучения:

- **Корпускулярное** ионизирующее излучение:  **$\alpha$ -излучение** (поток ядер гелия),  **$\beta^-$ -излучение** ( $\beta^-$  - излучение: поток электронов),  **$\beta^+$ -излучение** (поток позитронов), поток **нейтронов**, поток **протонов**.
- **Волновое** ионизирующее излучение: **рентгеновское излучение** и  **$\gamma$ -излучение**.

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

### Виды рентгеновского излучения

- **Тормозное** рентгеновское излучение;
- **Характеристическое** рентгеновское излучение.

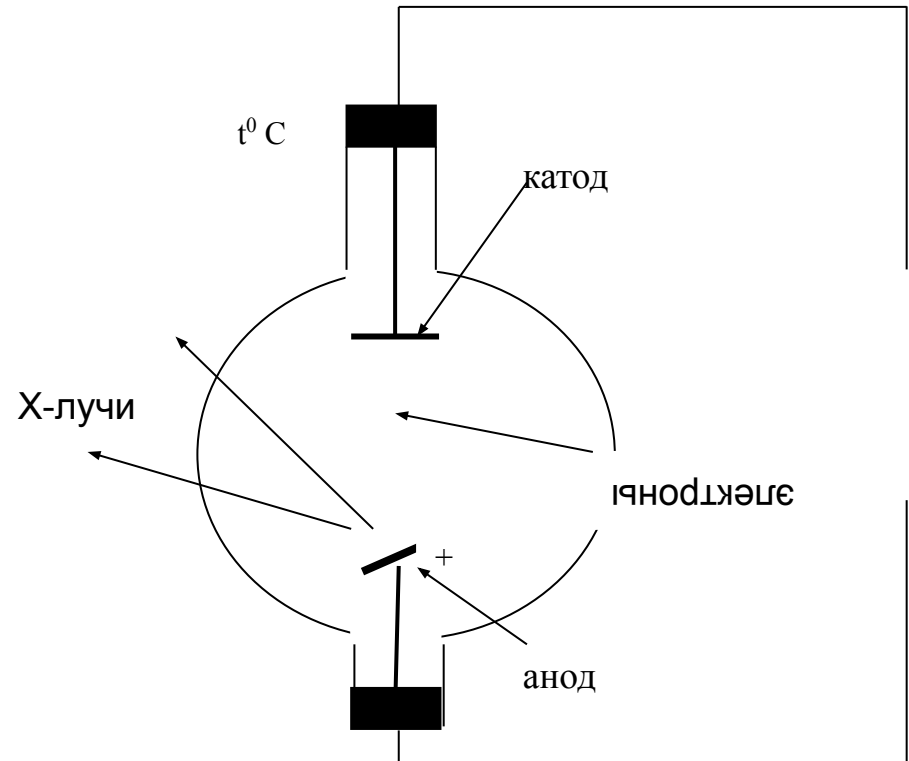


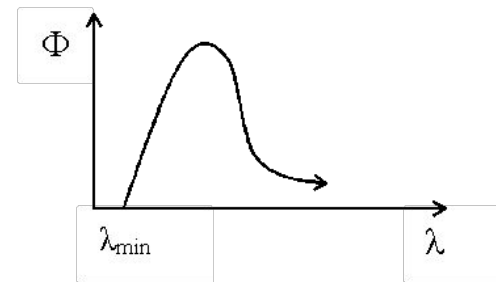
Рис.1 Устройство рентгеновской трубки

## Характеристики тормозного рентгеновского излучения

1. **Поток рентгеновского излучения** – энергия, переносимая волной (рентгеновским излучением) за единицу времени через площадь, перпендикулярную направлению распространения волны.

$\Phi = k \cdot I \cdot U^2 \cdot Z$  (1), где  $I$  – сила тока в рентгеновской трубке,  $U$  – напряжение в рентгеновской трубке,  $Z$  – порядковый номер атома вещества анода,  $k=10^{-9} \text{ В}^{-1}$  – коэффициент пропорциональности.

2. **Спектр тормозного рентгеновского излучения** – график, показывающий зависимость потока рентгеновского излучения от длины волны. Он является сплошным.



**Граница тормозного рентгеновского излучения** ( $\lambda_{\min}$ ) – это минимальная длина волны (максимальная частота  $\nu_{\max}$ ), начиная с которой наблюдается рентгеновские лучи.

$\lambda_{\min} = \frac{12,3}{U}$  (2), где  $[\lambda_{\min}] = 10^{-10} \text{ м}$ ,  $[U] = 10^3 \text{ В}$ .

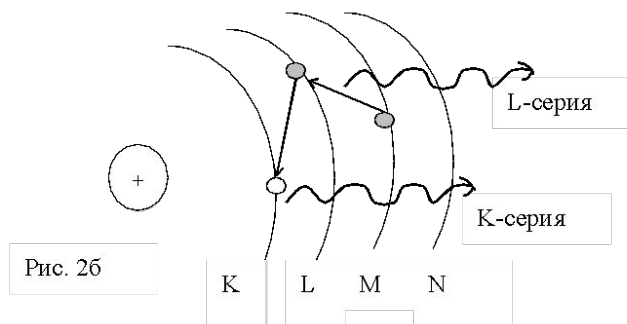
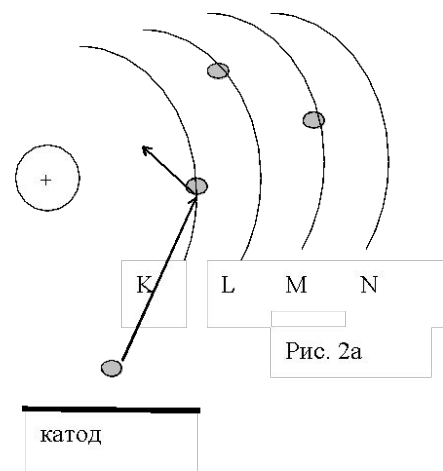
3. **Проникающая способность.** Чем меньше длина волны, тем больше проникающая способность рентгеновских лучей.

4. **Жесткость рентгеновского излучения.** Чем меньше длина волны, тем излучение более жесткое.

# Характеристическое рентгеновское излучение

При увеличении напряжения в рентгеновской трубке электрон, испускаемый катодом, может преодолеть электрическое поле атомов анода и попасть внутрь атома, выбивая электрон с одного из внутренних уровней (рис.2а). На месте выбитого электрона образуется «вакантное место», на которое переходит электрон с более внешнего уровня. При переходе электрона с уровня с большей энергией на уровень с меньшей энергией, атом испускает фотон электромагнитного излучения, в данном случае фотон характеристического рентгеновского излучения (рис. 2б).

Спектр характеристического рентгеновского излучения является линейчатым.



## Взаимодействие рентгеновского излучения с веществом

Закон ослабления рентгеновского излучения:  $\Phi = \Phi_0 e^{-\mu \cdot x}$ ,

где  $\Phi_0$  – падающий на вещество поток рентгеновских лучей,  
 $\Phi$  – выходящий поток рентгеновских лучей,  
 $x$  – толщина слоя вещества,  
 $\mu$  - линейный коэффициент ослабления рентгеновского излучения веществом.

$\mu = k \cdot \lambda^3 \cdot Z^3$ , где  $Z$ - порядковый номер атомов вещества, составляющих биологическую ткань.

Массовый коэффициент ослабления:  $\mu_m = \frac{\mu}{\rho}$ , где  $\rho$  - плотность вещества.

## Применение рентгеновского излучения в медицине

- *Рентгенография* – метод рентгенодиагностики, при котором изображение органа или ткани регистрируется на фотопленке (в основе лежит химическое действие рентгеновских лучей).

**Примеры:** внутриротовая рентгенография, панорамная рентгенография, сиалография (исследование слюнных желез), фистулография (изучение протяженности, направления свищевых ходов), ангиография (исследования сосудов челюстно-лицевой области).

*Цифровая рентгенография (радиовизиография)* – метод рентгенодиагностики, при котором изображение получается на экране монитора. Вместо рентгеновской пленки используются специальные высоко-чувствительные датчики, формирующие цифровое изображение или электронно-оптические преобразователи, создающие аналоговый сигнал, преобразуемый затем в цифровой сигнал.

- *Рентгеноскопия* – метод рентгенодиагностики, при котором осуществляется наблюдение органов и тканей в проходящем рентгеновском излучении при помощи флюоресцирующего экрана.
- *Рентгеновская томография* – метод рентгенодиагностики, основанный на получении послойного изображения внутреннего строения органов человека.

Радиоактивность – **самопроизвольный** распад неустойчивых **ядер** с испусканием других ядер или элементарных частиц.

Закон радиоактивного распада:  $N = N_0 \cdot e^{-\lambda t}$ , где

$N$  – число нераспавшихся ядер,

$N_0$  – первоначальное число радиоактивных ядер,

$t$  – время,

$\lambda$  – постоянная радиоактивного распада (характеризует вероятность распада).

**Формулировка закона:** число радиоактивных ядер, которые еще не распались, убывает со временем по экспоненциальному закону.



**Период полураспада** – это **время**, в течение которого распадается **половина** радиоактивных ядер.

Найдем связь периода полураспада с постоянной распада.  
Подставим в закон радиоактивного распада  $N=N_0$ ,  $t=T$ .

$$\frac{N_0}{2} = N_0 \cdot e^{-\lambda T} \Rightarrow \frac{1}{2} = e^{-\lambda T} .$$

Прологарифмируем последнее выражение:  $\ln 2^{-1} = \ln(e^{-\lambda T})$  или  
 $-\ln 2 = -\lambda \cdot T \cdot \ln e$  (по свойству логарифма  $\log_a x^n = n \log_a x$ ).

Т.к.  $\ln e = 1$ , то  $T = \frac{\ln 2}{\lambda}$

Активность радиоактивного препарата - скорость радиоактивного распада (число ядер, распадающихся за единицу времени).

Активность:  $A = -\frac{dN}{dt}$

Единицы измерения в СИ: [A=1Бк] -1 **беккерель** – активность нуклида в радиоактивном источнике, в котором за 1с проходит один распад.

Внесистемная единица измерения: **кюри**:  $1Ku = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$  .

$$A = -\frac{dN}{dt} = -(N_0 \cdot e^{-\lambda t})' = -N_0 \cdot (e^{-\lambda t})' \cdot (-\lambda \cdot t)' = N_0 \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda t} \cdot (t)' = \lambda \cdot N_0 \cdot e^{-\lambda t}$$

$$A = \lambda \cdot N \quad \text{или} \quad A = \frac{\ln 2}{T} N$$

Удельная массовая активность – величина, равная отношению активности изотопа к его массе.

**Дозиметрия** - это раздел радиационной биофизики, в котором устанавливаются некоторые количественные критерии воздействия ионизирующих излучений на биологические объекты и прежде всего на человеческий организм.

Величина	Формула	Определение	Единицы измерения		Связь между единицами измерения
			СИ	внесистемная единица	
Поглощенная доза излучения	$D = \frac{dE}{dm}$	Отношение энергии E, переданной элементу облученного вещества, к массе этого элемента m	1 Гр (1 грей)	1 рад (1 рад)	$1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$
Экспозиционная доза	$X = \frac{q}{m}$	Отношение суммарного заряда ионов одного знака, образованных в сухом воздухе под действием рентгеновского или $\gamma$ -излучения, к массе воздуха	$1 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$	1 Р (1 рентген)	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$
Эквивалентная доза	$H = K \cdot D$	Характеризует биологическое действие данного вида ионизирующего излучения, равна произведению коэффициента качества на поглощенную дозу	1 Зв (1 зиверт)	1 бэр	$1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{ Зв}$
Мощность поглощенной дозы	$P = \frac{D}{t}$	Это поглощенная доза в единицу времени	1 Гр/с	1 рад/с	$1 \text{ рад/с} = 10^{-2} \text{ Гр/с}$
Эффективная эквивалентная доза	$H_{\text{эфф}} = \sum_{i=1}^n K_{pp} \cdot H_i$	Это мера риска возникновения последствий облучения всего тела человека и отдельных его органов с учетом их радиочувствительности, равна сумме произведений эквивалентной дозы в органах ( $H_i$ ) на коэффициент риска для данного органа ( $K_{pp}$ )	1 Зв (1 зиверт)	1 бэр	$1 \text{ бэр} = 10^{-2} \text{ Зв}$

**Коэффициент качества (К)** – коэффициент, показывающий во сколько раз эффективность биологического действия данного вида излучения больше, чем рентгеновского или  $\beta$ -излучения при одинаковой поглощенной дозе излучения в тканях. (Например, коэффициент качества нейтронов равен 10, альфа-излучения равен 20).

**Связь между мощностью экспозиционной дозы и активностью**

**препарата:**  $\frac{X}{t} = K_{\gamma} \cdot \frac{A}{r^2}$ , где  $K_{\gamma}$  - гамма-постоянная,  $r$  – расстояние

от источника,  $\frac{X}{t}$  - мощность экспозиционной дозы.

**Связь между поглощенной и экспозиционной дозой:**  $D = f \cdot X$ ,

где  $f$  – коэффициент, зависящий от энергии фотонов и от облучаемого вещества.