

РЕНТГЕНОВСКОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ

Рентгеновское

излучение — электромагнитные волны,
энергия фотонов которых лежит на шкале
электромагнитных волн между
ультрафиолетовым
излучением и гамма-излучением

(от ~ 10 эВ до ~ 1 МэВ),

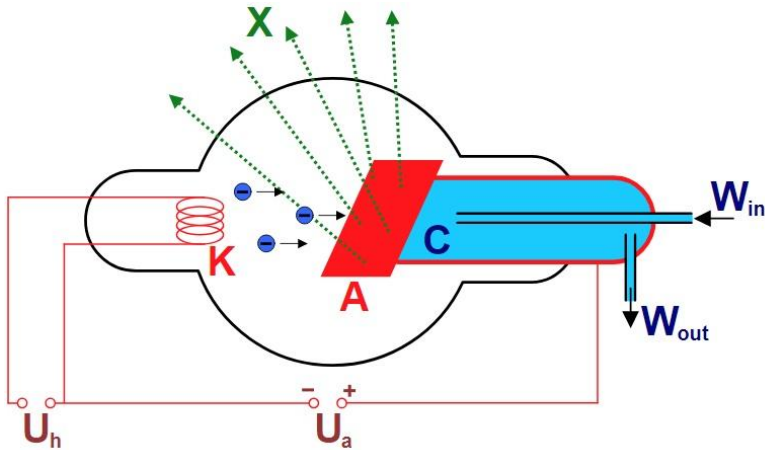
что соответствует длинам волн от $\sim 10^3$ до $\sim 10^{-2}$ Å

(от $\sim 10^{-7}$ до $\sim 10^{-12}$ м)

СВОЙСТВА РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

- Невидимо для визуального восприятия.
- Обладает большой проникающей способностью сквозь органы и ткани живого организма, а также плотные структуры неживой природы, не пропускающие лучи видимого света.
- Вызывает свечение некоторых химических соединений, называемое флюоресценцией.
- Обладает фотохимическим действием: разлагает соединения серебра с галогенами и вызывает почернение фотографических слоёв, формируя изображение на рентгеновском снимке.
- Передает свою энергию атомам и молекулам окружающей среды, через которую оно проходит, проявляя ионизирующее действие.
- Оказывает выраженное биологическое действие в облучённых органах и тканях.

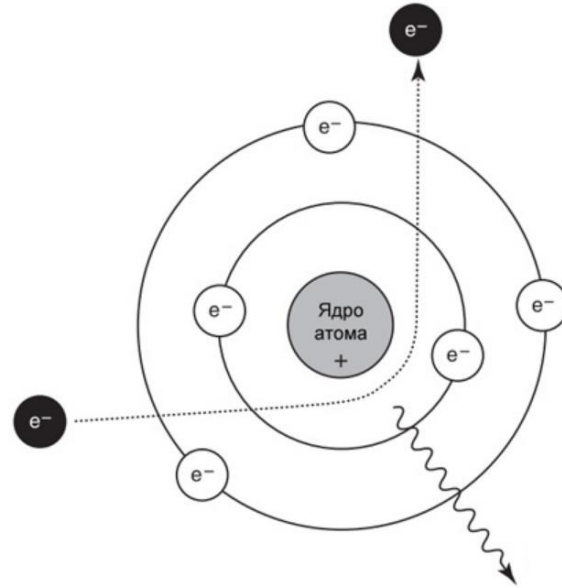
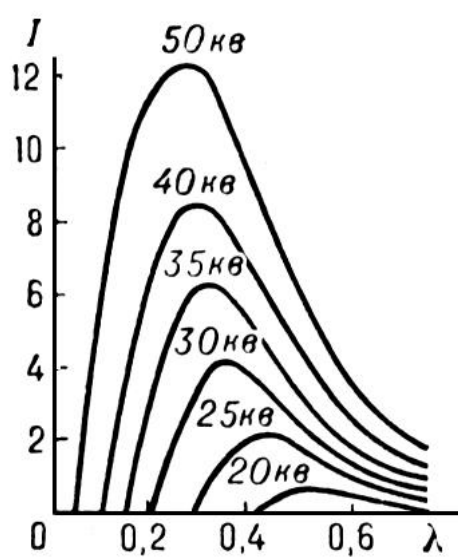
ПОЛУЧЕНИЕ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



Рентгеновская трубка

● Электроны, вылетевшие из катода за счет термоэлектронной эмиссии, разгоняются в электрическом поле между катодом и анодом. При торможении электронов часть их энергии $\frac{mv^2}{2} = eU$ превращается в энергию излучения в виде рентгеновских лучей.

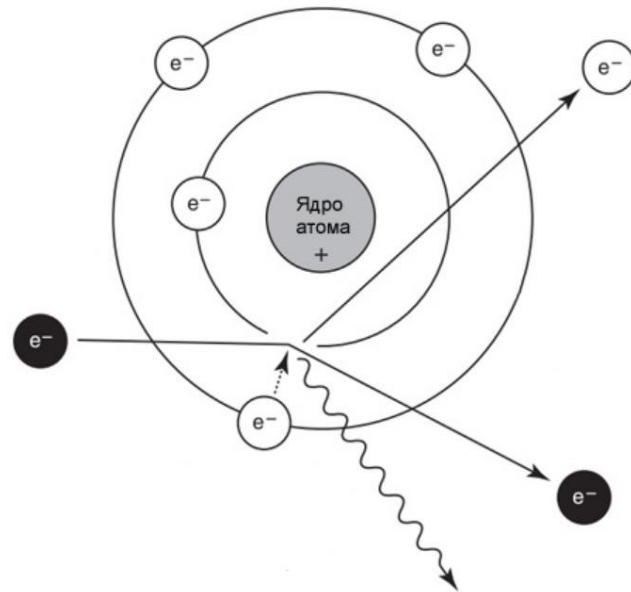
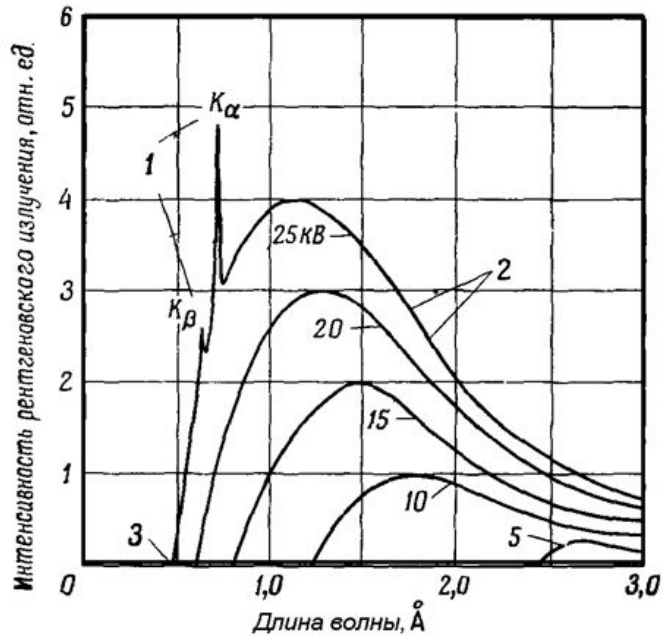
СПЕКТР РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



Тормозное излучение

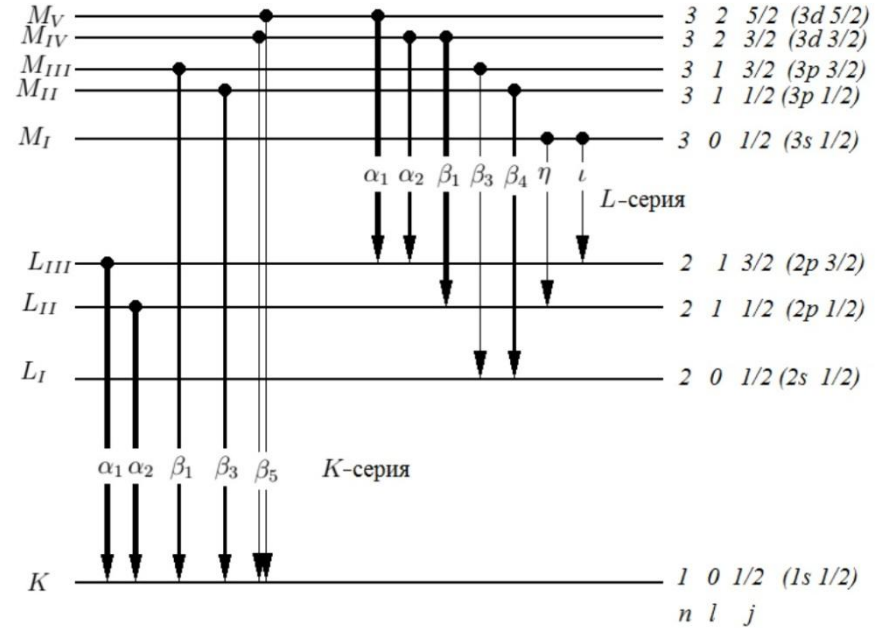
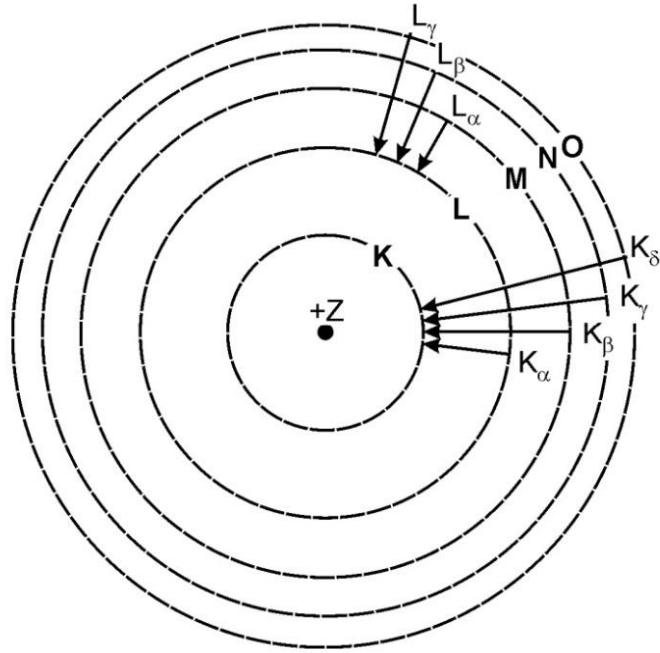
$$E_{max} = h\nu_{max} = \frac{hc}{\lambda_{min}} = eU$$

СПЕКТР РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ



Характеристическое излучение

Характеристическое излучение



Характеристическое излучение

Длины волн линий любой серии определяются по закону Мозли:

$$\frac{1}{\lambda} = R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

где R - постоянная Ридберга, σ - постоянная экранирования (для К-серии $\sigma=1$); n_1 и n_2 - главные квантовые числа, характеризующие энергетические уровни, между которыми происходит переход (для К-серии $n_1=1$, $n_2=2,3, \dots$, для L-серии $n_1=2$, $n_2=3,4, \dots$).

Задача 1

Рентгеновская трубка работает под напряжением 40 кВ.

Найти коротковолновую границу рентгеновского спектра.

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Задача 1 - Решение

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

$$\lambda_{min} = \frac{hc}{eU} = \frac{6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^4} = 0.31 \cdot 10^{-10} \text{ м} = 0.31 \text{ \AA}$$

Ответ: $\lambda_{min} = 0.31 \text{ \AA}$

Задача 2

Определить наибольшую скорость электронов, которые тормозятся на антикатоде рентгеновской трубки, если наименьшая длина волны сплошного спектра рентгеновского излучения равна $5 \cdot 10^{-10}$ м.

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

Задача 2 - Решение

- $$E_{max} = \frac{mv_{max}^2}{2} = \frac{hc}{\lambda_{min}} = eU$$

$$v_{max} = \sqrt{\frac{2hc}{m\lambda_{min}}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{9.1 \cdot 10^{-31} \cdot 5 \cdot 10^{-10}}} = 2.96 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

Ответ: $v_{max} = 2.96 \cdot 10^7 \text{ м/с}$

Задача 3

Из какого вещества изготовлен антикатод рентгеновской трубки, если длина волны K_{α} -линии характеристического спектра равна 0,073 нм?

$$R=1,09 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

Задача 3 - Решение

- $$\frac{1}{\lambda} = R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

Для К-серии $\sigma=1$, $n_1=1$. Для линий K_α $n_2=2$.

$$\frac{1}{\lambda_{K_\alpha}} = R(Z - 1)^2 \left(1 - \frac{1}{4} \right) = \frac{3}{4} R(Z - 1)^2$$

$$Z = 1 + \sqrt{\frac{4}{3\lambda_{K_\alpha} R}} = 1 + \sqrt{\frac{4}{3 \cdot 0.73 \cdot 10^{-10} \cdot 1.09 \cdot 10^7}} = 41$$

Ответ: $Z = 41$ (ниобий)

Задача 4

Вычислить наибольшую длину волны в К-серии характеристического излучения скандия ($Z=21$).

$$R=1,09 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

Задача 4 - Решение

- $$\frac{1}{\lambda_{K_\alpha}} = R(Z - 1)^2 \left(1 - \frac{1}{4}\right) = \frac{3}{4}R(Z - 1)^2$$

$$\lambda_{K_\alpha} = \frac{4}{3R(Z - 1)^2} = \frac{4}{3 \cdot 1.09 \cdot 10^7 \cdot (21 - 1)^2} = 3.05 \cdot 10^{-10} \text{ м}$$

Ответ: $\lambda_{K_\alpha} = 3.05 \cdot 10^{-10} \text{ м}$

Задача 5

● Определить энергию фотона, соответствующего линии K_α в характеристическом спектре марганца ($Z=25$).

$$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$R = 1,09 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

Задача 5 - Решение

- $$E = \frac{hc}{\lambda_{K\alpha}}; \quad \frac{1}{\lambda_{K\alpha}} = R(Z - 1)^2 \left(1 - \frac{1}{4}\right) = \frac{3}{4}R(Z - 1)^2$$

$$E = \frac{hc}{\lambda_{K\alpha}} = hc \frac{3}{4}R(Z - 1)^2$$

$$\begin{aligned} E &= 6.63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8 \cdot \frac{3}{4} \cdot 1.09 \cdot 10^7 \cdot (25 - 1)^2 = \\ &= 9.365 \cdot 10^{-16} \text{ Дж} = 5.8 \text{ кэВ} \end{aligned}$$

Ответ: $E = 9.365 \cdot 10^{-16} \text{ Дж} = 5.8 \text{ кэВ}$

Задача 5 - Решение

- $$E = \frac{hc}{\lambda_{K\alpha}} = hc \frac{3}{4} R(Z - 1)^2 = E_1 \frac{3}{4} (Z - 1)^2$$

$$E = 13.6 \cdot \frac{3}{4} \cdot (25 - 1)^2 = 5.8 \text{ кэВ}$$

Задача 6

Найти постоянную экранирования L-серии рентгеновских лучей, если известно, что при переходе электрона в атоме вольфрама ($Z=74$) с M на L слой испускаются рентгеновские лучи с длиной волны 143 пм.

$$n_1=2$$

$$n_2=3$$

$$R=1,09 \cdot 10^7 \text{ м}^{-1}$$

Задача 6 - Решение

- $$\frac{1}{\lambda} = R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{n_1^2} - \frac{1}{n_2^2} \right)$$

$$\frac{1}{\lambda_{L\alpha}} = R(Z - \sigma)^2 \left(\frac{1}{2^2} - \frac{1}{3^2} \right) = \frac{5}{36} R(Z - \sigma)^2$$

$$\sigma = Z - \frac{6}{\sqrt{5R\lambda_{L\alpha}}} = 74 - \frac{6}{\sqrt{5 \cdot 1.09 \cdot 10^7 \cdot 1.43 \cdot 10^{-10}}} = 6$$

Ответ: $\sigma = 6$