

1 Взаимодействие γ - квантов с веществом

3 основных эффекта:

- Фотоэлектрический эффект
- Комптоновское рассеяние
- Рождение (e^+e^-) пар (см. соотв. раздел)

1.1 Фотоэффект

Атом может поглотить всю энергию γ - кванта (фотона), с передачей практически всей энергии электрону и его вылетом из атома с кинетической энергией $T_e = E_\gamma - E_i$, где E_i - потенциал ионизации i -ой оболочки. (Для фотоэффекта в твердом теле $T_e = E_\gamma - E_i - A$, где A - работа выхода). При этом ядро играет роль третьего тела, принимающего импульс отдачи. Ввиду близости к ядру наиболее вероятен фотоэффект с наиболее связанной - К - оболочки. Его сечение (при $E_K \lesssim E_\gamma \ll m_e$) (вне линий поглощения)

$$\sigma_{ph.e}^K = 4\sqrt{2}\alpha^4 Z^5 \phi_0 \epsilon^{-7/2} \quad \epsilon = \frac{E_\gamma}{m_e}$$

с $\phi_0 = 8/3\pi r_e^2 = 0.66$ барн - Томсоновское сечение. При этом $\frac{\sigma_L}{\sigma_K} \approx \frac{1}{5}$; $\frac{\sigma^M}{\sigma^L} \approx \frac{1}{4}$. Вообще:

- $\sigma_{ph.e} \propto Z^n$ $n = 4 \div 5$
- $\sigma_{ph.e} \propto E_\gamma^{-3.5}$ ($\lesssim 0.2$ МэВ)
- и $\propto E_\gamma^{-1}$ ($\gtrsim 0.5$ МэВ)

Явления при фотоэффекте (на примере К и L оболочек):

- характеристическое γ - излучение $E_\gamma = E_K - E_L$
- вылет Оже-электрона $T_e = E_K - 2E_L$

1.2 Комптоновское рассеяние

Рассеяние γ - кванта на угол θ на (квази)свободном электроне, вылетающем с

$$T_e = E_\gamma - E'_\gamma,$$
$$\operatorname{ctg}\phi = (1 + \epsilon) \operatorname{tg} \frac{\theta}{2}, \quad \phi \leq \frac{\pi}{2}$$

(ϵ - как в фотоэффекте).

$$E'_\gamma = \frac{E_\gamma}{1 + \kappa}, \quad \kappa = \epsilon(1 - \cos \theta).$$

Углу $\theta = \pi$ (рассеяние назад) соответствует

$$E'_\gamma = E'_{min} = \frac{E_\gamma}{1 + 2\epsilon} \xrightarrow{\epsilon \gg 1} \frac{m_e}{2}.$$

Для полноты: дифференциальное сечение эффекта Комптона (Клейн-Нишина-Тамм) для неполяризованных фотонов:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{r_e^2}{2} \frac{1 + \cos^2 \theta}{1 + \kappa} \left(1 + \frac{\kappa^2}{(1 + \cos^2 \theta)(1 + \kappa)} \right),$$

в другой форме

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{r_e^2}{2} \frac{E_\gamma'^2}{E_\gamma^2} \left(\frac{E'_\gamma}{E_\gamma} + \frac{E_\gamma}{E'_\gamma} - \sin^2 \theta \right).$$

Н.В. Для поляризованных фотонов с азимутальным углом рассеяния ϕ относительно вектора поляризации

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{r_e^2}{2} \frac{E_\gamma'^2}{E_\gamma^2} \left(\frac{E'_\gamma}{E_\gamma} + \frac{E_\gamma}{E'_\gamma} - 2 \sin^2 \theta \cos^2 \phi \right).$$

Полное сечение (на один электрон)

$$\sigma_C = \phi_0(1 - 2\epsilon) \quad \epsilon \ll 1,$$

$$\sigma_C = \frac{3}{8} \frac{\phi_0}{\epsilon} \left(\ln 2\epsilon + \frac{1}{2} \right) \quad \epsilon \rightarrow \infty.$$

Н.В. При очень малых E_γ комптоновское сечение падает из-за связанности электрона. Но растет сечение когерентного ($E'_\gamma = E_\gamma$) (Рэлеевского) рассеяния на атоме.

Полное сечение *на атом* взаимодействия γ -квантов

$$\sigma = \sigma_{ph.e} + Z\sigma_C + \sigma_{e^+e^-}.$$

Коэффициент (линейный) "поглощения"

$$\tau = n_a \sigma = \rho \frac{N_A}{A} \sigma, \quad N_\gamma \propto e^{-\tau x}$$

.

Энергия E_γ , при которой $\sigma_{ph.e} = Z\sigma_C$: для C - 20 кэВ , для Pb - 530 кэВ.