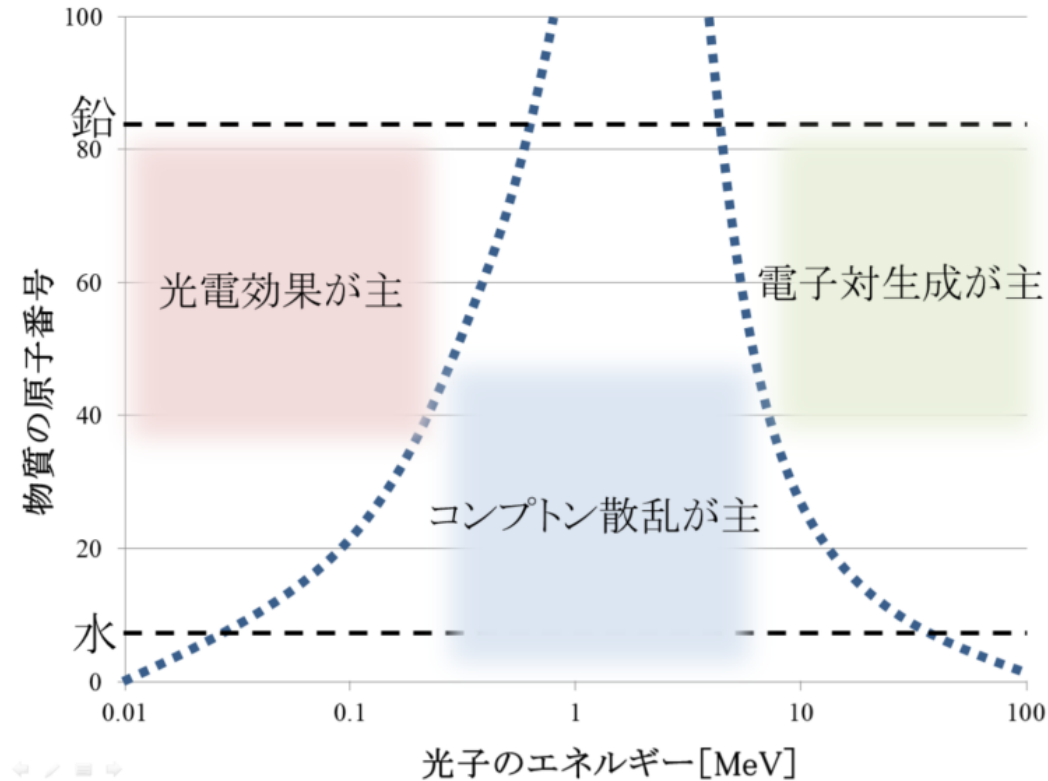


2.7 光子の相互作用

光子（X線、 γ 線）の物質中での反応は、電荷がないため、荷電粒子とは異なる反応。X線、 γ 線の主な反応は、

- 1) 光電効果
- 2) コンプトン散乱
- 3) 電子対生成



光核反応(nuclear dissociation reactions)もある。e.g. (γ, n)反応 (あまり一般的ではないが、可能な反応) ここでは、無視する。

X線、 γ 線の主な性質

1) 荷電粒子よりも物質中を透過する。

反応の断面積が、荷電粒子の際の散乱断面積よりも小さいため。

2) 物質中で光子のビームのエネルギーは減衰せず、強度だけ減衰する。

吸収や散乱によって、反応した光子は光子ビームから取り除かれ、ほかの光子は影響を及ぼされない。そのため、光子ビームのエネルギーは変わらないが、強度(光子の数)は減衰。

光子の数の減衰は \exp で書ける。

$$I(x) = I_0 \exp(-\mu x) \quad (-dI(x) = \mu I(x) dx)$$

μ : 吸収係数

吸収係数は、吸収物質の性質と反応の全断面積に関係するもの。

γ 線検出器を議論する際に重要。

2.7.1 光電効果

光電効果は、原子の束縛電子によって光子が吸収され、原子から電子が放出される現象。

放出される光電子のエネルギー

$$E = h\nu - \text{B. E.}$$

B.E. は電子の束縛エネルギー

運動量保存より、
自由電子は光電効果を起こさない。

$$\left(\begin{array}{l} h\nu = \frac{1}{2}mv^2 \\ \frac{h\nu}{c} = mv \end{array} \Rightarrow v = 2c \right)$$

反跳運動量を受け取る原子核をもつ束縛電子で光電効果は起こる。

光子のエネルギーと光電効果の反応断面積

光子のエネルギーがK殻の束縛エネルギーより大きい領域では断面積は比較的小さい。

K殻の束縛エネルギーに近くなると断面積は急激に上昇。

K殻の束縛エネルギーより小さくなる点で、断面積は急激に下がる(K-EDGE)。K殻の電子が光電効果を起こさなくなるから。

さらに低くなると、再び断面積は上昇し、同様にL-EDGES、M-EDGEが存在。

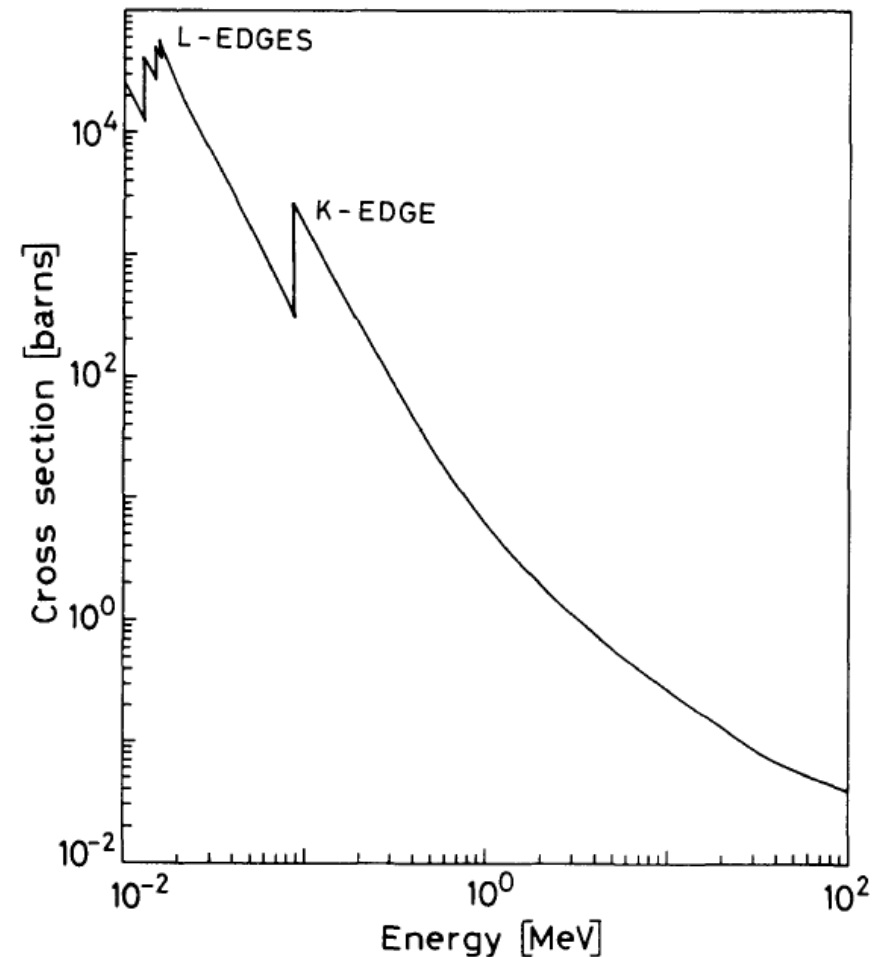


Fig. 2.21

光電効果の断面積を厳密に計算するのは困難。

光子のエネルギーがK殻の束縛エネルギーより大きいとき、ほとんどがK殻電子との反応と近似し、非相対論的近似($h\nu \ll m_e c^2$)とBorn近似によって断面積 Φ が計算できる。

$$\Phi = 4\alpha^4 \sqrt{2} Z^5 \phi_0 \left(\frac{m_e c^2}{h\nu} \right)^{\frac{7}{2}} \quad \text{per atom}$$

$$\left(\phi_0 = \frac{8\pi r_e^2}{3} = 6.651 \times 10^{-25} \text{ cm}^2; \alpha = \frac{1}{137} \right)$$

K殻吸収端近くでは、

$$\Phi = \phi_0 \frac{2^7 \pi (137)^3}{Z^2} \left[\frac{\nu_k}{\nu} \right]^4 \frac{\exp(-4\xi \cot^{-1} \xi)}{1 - \exp(-2\pi\xi)} \quad \text{per atom}$$

$$\left(h\nu_k = (Z - 0.03)^2 m_e c^2 \frac{\alpha^2}{2}, \xi = \sqrt{\frac{\nu_k}{\nu - \nu_k}} \right)$$

ν が ν_k にととても近いとき、 $\xi^{-1} \gg 1$ であり、断面積はさらに簡単になる。

$$\Phi = \frac{6,3 \times 10^{-18}}{Z^2} \left(\frac{\nu_k}{\nu} \right)^{\frac{8}{3}}$$

L、M殻についても計算されているが、上記よりもさらに複雑。

断面積は、光子のエネルギーだけでなく、原子番号にも依存していて、MeVエネルギーでは、Zの4~5乗に依存する。

原子番号の大きい方が光電効果を引き起こしやすい。

これも γ 線検出器を議論する際に重要。