

2.7 光子の相互作用

光子は電荷を持たないために荷電粒子とは異なる反応が起こる。主な反応は

- 1) 光電効果
- 2) Compton 散乱
- 3) 対生成

γ線や X線の主要な性質

- (1) 荷電粒子よりも物質を透過する

電子の衝突の断面積よりも、これらの反応の断面積は小さい。

- (2) 物質中で光子のビームのエネルギーは減衰せず、強度のみが減衰する

吸収や散乱によって光子をビームから完全に除外してしまう。一方で透過した光子は相互作用の影響を全く受けないので、エネルギーは保ったままになる。しかし、光子の数は反応の数だけ減っていく。その減衰は \exp で書ける。

$$I(x) = I_0 \exp(-\mu x) \quad (2.101)$$

吸収係数 μ は吸収物質の性質と反応の全断面積に関する量である。光子の検出器を考える際に重要。

2.7.1 光電効果

光電効果は、光子が原子の軌道の電子に吸収され、原子から電子が放出される現象である。放出される電子のエネルギーは

$$E = h\nu - \text{B.E.} \quad (2.102)$$

B.E. は電子の束縛エネルギー。運動量の保存が成り立たないために、自由電子と光電効果は起こらない。反跳運動量を吸収してくれる原子核が必要。

入射光子のエネルギーが K 殻の束縛エネルギーより大きな領域では断面積は小さくなる (Compton 散乱が起こるから?)。しかし K 殻の束縛エネルギーより小さくなった点で断面積が鋭く落ちる。これは K 殻の電子と反応できなくなるからである (K-edge)。同様に L-edge、M-edge も存在。

断面積の計算は難しいので、近似を行う。K-殻の束縛エネルギー以上では K 殻電子との反応が支配的なのでこれだけを考え、非相対論的近似 $h\nu \ll m_e^2$ と Born 近似を用いれば計算できる。結果

$$\Phi_{\text{photon}} = 4\alpha^4 \sqrt{2} Z^5 \phi_0 \left(\frac{m_e c^2}{h\nu} \right)^{\frac{7}{2}} \text{ per atom} \quad (2.103)$$

($\phi_0 = \frac{8\pi r_e^2}{3} = 6.651 \times 10^{-25}$) となる (らしい)。K-edge 付近では

$$\Phi_{\text{photon}} = \phi_0 \frac{2^7 \pi (137)^3}{Z^2} \left[\frac{\nu_k}{\nu} \right]^4 \frac{\exp(-4\xi \cot^{-1} \xi)}{1 - \exp(-2\pi\xi)} \text{ per atom} \quad (2.104)$$

但し、 $h\nu_k = \frac{1}{2}(Z - 0.03)^2 m_e c^2 \alpha^2$, $\xi = \sqrt{\frac{\nu_k}{\nu - \nu_k}}$ である。 $\nu \approx \nu_k$, $\xi^{-1} \gg 1$ ではさらに簡単になる

$$\Phi_{\text{photon}} = \frac{6.3 \times 10^{-18}}{Z^2} \left(\frac{\nu_k}{\nu} \right)^{\frac{8}{3}} \quad (2.105)$$

断面積はエネルギーにも依存するが、MeV 程度のエネルギーでは $Z^4 \sim Z^5$ に比例する。つまり Z の大きい物質は光電吸収を起こしやすい。これは γ 線検出器を考える際に重要。