

第5回授業の概要 22221280 渡辺悠斗

前回の続きから

- ① 荷電粒子線(電荷をもつ放射線)→ ・ 重い粒子: α 線(He 原子核)、陽子など
・ 軽い粒子: β 線(電子線)

☆重い粒子線×物質

電離や励起によってエネルギーを失った重い荷電粒子の阻止能 S は、

$S \propto \frac{Z}{A} \frac{\rho z_i^2}{v^2}$ の特性を持つ。この特性について、 S が $\frac{1}{v^2}$ に比例することについて考察する。

$E = \frac{1}{2} M v^2$ より、 $\frac{1}{v^2} = \frac{M}{2E}$ より、 $S \propto \frac{1}{v^2} \propto \frac{M}{E}$ (荷電粒子質量 M , 運動エネルギーを E とする。)

→運動エネルギー E が大きいほど阻止能が小さく、質量 M が大きいほど阻止能が大きい。

→運動エネルギーが大きい荷電粒子線ほど物質原子を電離・励起させにくく、重い荷電粒子ほど物質中で止まりやすい。

具体例

同じエネルギーの場合、軽い電子線(α 線の $1/7300$ の質量)と、重い α 線を比べると、前者はアルミ 10mm で止まるが、後者はアルミ 21 μ m で止まる。

計算方法

・ ベーテ・ブロッホの式の近似式

※条件: 荷電粒子速度 $v \ll c$ (真空中光速) かつ、荷電粒子質量 $M \gg$ 電子質量 m_e のとき

$$\text{阻止能 } S \cong K \frac{Z}{A} \frac{\rho z_i^2}{\beta^2} \log_e \left(\frac{2m_e c^2 \beta}{I} \right) [\text{MeV/cm}]$$

$$K = 4\pi N_A r_e^2 m_e c^2 = 0.307 \text{ MeV} \cdot \text{cm/mol} \quad r_e = \text{古典電子半径 } 2.82 \times 10^{-15} \text{ m} \quad N_A: \text{アボガドロ定数}$$

Z : 物質の原子番号 A : 物質モル質量 荷電粒子の電荷 $z_i e$

$$\beta = \frac{v}{c} \quad I: \text{物質原子 1 個を電離・励起させるのに必要なエネルギー平均} \cong 12Z + 7 [\text{eV}]$$

条件を満たさない場合

$$\text{阻止能 } S = K \frac{Z}{A} \frac{\rho z_t^2}{\beta^2} \left(\frac{1}{2} \log_e \left(\frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 r_{\max}}{I^2} \right) - \beta^2 - \frac{\delta}{2} \right) [\text{MeV/cm}]$$

$$\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\beta^2}} \quad \frac{\delta}{2}: \text{物質の密度の違いの影響を補正する } (v \approx c \text{ 以外の場合は無視})$$

各荷電粒子の阻止能の比較のグラフから、今まで学んだ、阻止能の特性の復習

- ・荷電粒子の v が大きくなるほど阻止能 S は小さくなる。 $(v \ll c)$

しかし、 v が c に近づくと、 S は増加に転じる。

- ・質量が増えると、 S は増加する。

☆軽い粒子線(β 線)×物質

主な作用→電離と励起

しかし、質量が小さいので S は小さく α 線より長く進む。また、軌道電子や原子核からのクーロン力によって散乱する。特に陽子がたくさんあり強い電場を発生させている原子核周辺で大きく散乱する。

- ・制動放射：電荷粒子が大きく散乱する際、電磁波を放出し、エネルギーを失う。

◎電離・励起および制動放射でエネルギーを失い、物質中を進みながらたえず散乱し、曲がりくねる。

飛程について (軽い粒子線(β 線)×物質)

β 線は物質中で曲がりくねる。また、 β 崩壊による発生 β 線エネルギーは0から最大値まで連続分布しているので同核種でも個々で飛程は異なる。

→飛程は定義不可→最も遠くまで到達した β 線の飛距離(直線)を最大飛程 R_{\max} として定義する。測定は実験やシミュレーションで行う。 β 線を遮蔽する際などの時で必要になる。