

一般に中性子は原子炉 ( 中の核分裂 ) など で発生した直後は非常に高速である。核分裂をより起きやすくするためには中性子を大幅に減速させる必要がある。原子炉または核分裂がおこる装置から中性子が外部に漏洩する場合には危険である。次のような手順で中性子を減速する方法を考える。

1. 質量  $m_1$  の粒子 1 が静止している質量  $m_2$  の粒子 2 に真正面から弾性衝突 ( 弾性散乱 ) するとする。粒子 1 の衝突前の運動エネルギー  $K_{1i}$ 、衝突後のそれを  $K_{1f}$  とすれば次の式が成立することを示せ。

$$K_{1f} = \left( \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right)^2 K_{1i}. \quad (1)$$

2. 前問の結果を用いて、中性子を減速するためには水素原子を多く含む物質 ( 水、パラフィンなど ) を用いることが有効である理由を述べよ。

(解答例)

1. 運動量保存則より

$$m_1 v_1 = m_1 v'_1 + m_2 v'_2. \quad (2)$$

この式を、粒子ごとに左辺と右辺に整理すると

$$m_1 (v_1 - v'_1) = m_2 v'_2 \quad (3)$$

となる。さらに、弾性衝突 ( 弾性散乱 ) の場合、運動エネルギーの和が保存するので

$$\frac{1}{2} m_1 v_1^2 = \frac{1}{2} m_1 (v'_1)^2 + \frac{1}{2} m_2 (v'_2)^2. \quad (4)$$

この式を粒子ごとに左辺と右辺に整理すると

$$\begin{aligned} \frac{1}{2} m_1 [(v_1)^2 - (v'_1)^2] &= \frac{1}{2} m_2 (v'_2)^2 \\ \rightarrow m_1 (v_1 + v'_1)(v_1 - v'_1) &= m_2 (v'_2)^2 \end{aligned} \quad (5)$$

となる。式 (5) を (3) で割ると

$$v'_2 = v_1 + v'_1. \quad (6)$$

式 (6) を (2) に代入して  $v'_1$  について解くと

$$\begin{aligned} m_1 v_1 &= m_1 v'_1 + m_2 (v_1 + v'_1) \\ &= m_2 v_1 + (m_1 + m_2) v'_1 \\ \rightarrow v'_1 &= \left( \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \right) v_1. \end{aligned} \quad (7)$$

ここで、粒子1の衝突後の運動エネルギーを求めると

$$K_{1f} \equiv \frac{1}{2}m_1(v'_1)^2 \quad (8)$$

$$= \left(\frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)^2 K_{1i} \quad (K_{1i} \equiv \frac{1}{2}m_1v_1^2) \quad (9)$$

となる。

2. 前問の結果より、衝突による運動エネルギーの減少率は質量の差の2乗に比例する。したがって、中性子とほぼ等しい質量を持つ水素原子を多く含む物質（水、パラフィンなど）を用いることは中性子の減速に有効である。（参考：通常の原子炉（軽水炉）に水が使用される理由は冷却材（＝原子炉で発生した熱の運搬材）と減速材として水が優れているからである。また、なんらかの原因で中性子が発生した場合に、中性子がエネルギーを低下させるために水素原子を多く含む物質が使用されることがある。）