

2016/6/30 Y.Takeuchi

1. 2体→2体の粒子衝突において, 入射粒子(粒子1)の標的粒子(粒子2)に対するフラックス $F$ は, 粒子1,2の相対速度を $v_{12}$ とすると  $F = 2E_1 \cdot 2E_2 \cdot v_{12}$  となる. (但し  $\vec{p}_1 \parallel \vec{p}_2$ )

$$v_{12} = \left| \frac{\vec{p}_1}{E_1} - \frac{\vec{p}_2}{E_2} \right|$$

を使い,

$$F = 4\sqrt{(p_1 \cdot p_2)^2 - m_1^2 m_2^2}$$

を示せ. 更に粒子1,2の重心系において, 粒子1,2の運動量の大きさを $p$ とすると,

$$F = 4p\sqrt{s}$$

となることを示せ.

また, 質量 $m$ の粒子の二体崩壊のdLIPSが, 重心系において

$$d\Phi_2(m; p_3, p_4) = \frac{1}{4(2\pi)^2} \frac{p_3}{m} d\Omega_3$$

と書けることから, 2体→2体の粒子衝突の断面積が

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{64\pi^2 s} \frac{p_f}{p_i} |\mathcal{M}|^2$$

となることを示せ.

2. 荷電カレントによる $\nu e$ 散乱( $\nu_e + e \rightarrow \nu_e + e$ )の断面積は,

$$\sigma = \frac{G_F^2 (s - m_e^2 - m_\nu^2)^2}{\pi s}$$

で与えられる. 静止している電子標的に高エネルギー $E_\nu$  ( $E_\nu \gg m_e \gg m_\nu$ )の $\nu_e$ が衝突するとき,

$$\sigma \sim 1.7 \times 10^{-41} E_\nu \text{ cm}^2 \quad E_\nu \text{ in GeV}$$

となることを示せ. ただし  $G_F \sim 1.17 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$ ,  $\hbar c \sim 197 \text{ MeV} \cdot \text{fm}$  を仮定せよ.

また, 低速ニュートリノの場合どうか?

例えばニュートリノ (relic neutrino,  $T = 1.95K$ )の運動量を  $p_\nu = 5.2 \times 10^{-4} \text{ eV}$ , ニュートリノ質量を  $m_\nu = 50 \text{ meV}$  とした場合, このニュートリノと静止している電子標的との散乱断面積を求めよ.

1. In a two-body-to-two-body reaction, the flux  $F$  of the incident particle (particle1) to the target particle (particle2) is to be written as  $F = 2E_1 \cdot 2E_2 \cdot v_{12}$ , where  $v_{12}$  denotes the relative velocity of the particle 1 w.r.t. the particle 2, and  $\vec{p}_1 \parallel \vec{p}_2$  is supposed. By using the relation

$$v_{12} = \left| \frac{\vec{p}_1}{E_1} - \frac{\vec{p}_2}{E_2} \right| ,$$

show

$$F = 4\sqrt{(p_1 \cdot p_2)^2 - m_1^2 m_2^2} .$$

And if we let  $p$  be the magnitude of the momentum of the particle 1 or 2 in the center of mass system of the particle 1 and 2, show

$$F = 4p\sqrt{s} .$$

The dLIPS of a two-body decay of a particle with mass  $m$  in the center of mass system can be described as follows:

$$d\Phi_2(m; p_3, p_4) = \frac{1}{4(2\pi)^2} \frac{p_3}{m} d\Omega_3 .$$

Using this, show that a cross-section of a two-body-to-two-body reaction can be described as below:

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{1}{64\pi^2 s} \frac{p_f}{p_i} |\mathcal{M}|^2 .$$

2. The cross-section of the  $\nu e$  scattering via charged current is calculated to be

$$\sigma = \frac{G_F^2}{\pi} \frac{(s - m_e^2 - m_\nu^2)^2}{s}$$

In case that a  $\nu_e$  with high enrgy  $E_\nu$  ( $E_\nu \gg m_e \gg m_\nu$ ) collides with an electron target at rest, show the following:

$$\sigma \sim 1.7 \times 10^{-41} E_\nu \text{ cm}^2 \quad E_\nu \text{ in GeV}$$

by using  $G_F \sim 1.17 \times 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$ , where we suppose  $\hbar c \sim 197 \text{ MeV} \cdot \text{fm}$

Next, consider a slow neutrino, for example, in the case of a neutrino with the momentum of  $p_\nu = 5.2 \times 10^{-4} \text{ eV}$  and the mass of  $m_\nu = 50 \text{ meV}$ , calculate the cross-section of the neutrino with an electron target at rest.