

素粒子物理学 I レポート No.4 (提出期限 7月8日)

1. レプトン数保存を使って、以下の崩壊や反応が禁止されていることを示せ。
 - (ア) $2n \rightarrow 2p + 2e^-$ (ニュートリノレス 2重ベータ崩壊)
 - (イ) $\nu_\mu + p \rightarrow \mu^+ + n$ (ニュートリノ・陽子散乱)
 - (ウ) $K^0 \rightarrow \mu^+ + e^-$ (K 中間子稀崩壊)

2. 式(4.3)で $g=e$, $G \cong 10^{-5}/m_N^2$, $m_N=0.939.6\text{GeV}/c^2$ とすると、弱い相互作用のゲージボソンの質量 M はいくらと求まるか? $g \sim 2$ は電磁相互作用と弱い相互作用の統一を示唆する。

3. 弱い相互作用においてベータ崩壊、 μ 粒子崩壊、 π 崩壊の崩壊幅(寿命の逆数)を計算すると常にフェルミ定数 (G) の二乗かけるエネルギーの 5 乗に比例している。この理由を次元の考察から説明せよ。また反応断面積は式(4.13)にあるようにフェルミ定数 (G) の二乗かけるエネルギーの 2 乗に比例している。この理由も次元の考察から説明せよ。

4. 質量 140MeV の π 中間子の寿命は $2.6 \times 10^{-8}\text{sec}$ である。質量 500MeV の荷電 K^+ 中間子も主崩壊モードが $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$ であると仮定する。 K^+ の寿命を求めたい。
 - (ア) $\pi^+ \rightarrow \mu^+ \nu$ 崩壊はクォークレベルでは $u + \bar{d} \rightarrow \mu^+ \nu$, $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu$ 崩壊はクォークレベルでは $u + \bar{s} \rightarrow \mu^+ \nu$ である。カビボ角による K^+ 崩壊の抑制効果は

$$\frac{\Gamma(K \rightarrow \mu \nu)}{\Gamma(\pi \rightarrow \mu \nu)} \propto \frac{\sin^2 \theta_c}{\cos^2 \theta_c} = \tan^2 \theta_c \sim 0.05$$
 となることを示せ。
 - (イ) $f_K = m_K$ と仮定して、 π^+ の寿命から K^+ の寿命を求めよ。実際の荷電 K^+ 中間子の寿命は $1.2 \times 10^{-8}\text{sec}$ である。
 - (ウ) $\frac{\Gamma(K \rightarrow e \nu)}{\Gamma(K \rightarrow \mu \nu)}$ を求めよ。この値が $\frac{\Gamma(\pi \rightarrow e \nu)}{\Gamma(\pi \rightarrow \mu \nu)}$ よりも小さくなっていることについて考察せよ。

5. 式(4.14)を導く時に用いた $t \approx -s/2 \cdot (1 - \cos\theta)$ を確かめよ。またヘリシティ保存から反ニュートリノ散乱で前方散乱が抑制されることを説明せよ。