

素粒子物理学基礎 第2回 レポート

C3SM2016 木村佑斗

2023年8月1日

1 問題 [1]

$$(1)p = |uud\rangle, (2)K^+ = |u\bar{s}\rangle, (3)\rho^0 = \frac{|u\bar{u}\rangle + |d\bar{d}\rangle}{\sqrt{2}}, (4)\Sigma^+ = |uus\rangle, (5)\Omega^- = |sss\rangle, (6)\omega = \frac{|u\bar{u}\rangle + |d\bar{d}\rangle}{\sqrt{2}}$$
$$(7)K_L = \frac{|d\bar{s}\rangle + |\bar{d}s\rangle}{\sqrt{2}}, (8)\eta = \frac{|u\bar{u}\rangle + |d\bar{d}\rangle + 2|s\bar{s}\rangle}{\sqrt{6}}, (9)\Lambda = |uds\rangle, (10)J/\Psi = |c\bar{c}\rangle$$

2 問題 [2]

[(1)~(8)の考え方] ニュートリノを伴う反応やフレーバーが変わる (例えば $s \rightarrow u$ など) 反応は弱い相互作用、 γ とカップルするのは電磁相互作用、それ以外は強い相互作用となる。

[(9),(10)の考え方] s チャンネルのみで、中間状態として γ と Z がある。この場合、散乱振幅 $i\mathcal{M}$ は

$$i\mathcal{M} = i\mathcal{M}_{EM} + i\mathcal{M}_{weak}$$

というように電磁相互作用 (EM) と弱い相互作用 (weak) の寄与がある。断面積 σ は

$$\sigma \propto |\mathcal{M}_{EM} + \mathcal{M}_{weak}|^2 = |\mathcal{M}_{EM}|^2 + |\mathcal{M}_{weak}|^2 + 2\text{Re}(\mathcal{M}_{EM}\mathcal{M}_{weak}^*)$$

となる。EM 項と weak 項の大きさを比較する。EM 項は α^2/s に、weak 項は G^2s に比例する。ここで $\alpha \simeq 1/137$ は電磁相互作用の結合定数、 $G \simeq 10^{-5}\text{GeV}^{-2}$ はフェルミ結合定数であり弱い相互作用の結合定数と考えて良い。 s は重心系エネルギーの 2 乗である。weak 項が EM 項より大きくなるような \sqrt{s} を概算する。すなわち

$$G^2s > \frac{\alpha^2}{s} \Leftrightarrow s > \frac{\alpha}{G} \simeq 10^3\text{GeV}^2 \Leftrightarrow \sqrt{s} > 33\text{GeV}$$

となる。以上より、 \sqrt{s} が 33GeV より大きい時、 γ より Z の寄与が大きくなる [1]。

以上より、以下の表 1 のように分類できる。

表 1 反応の相互作用による分類

| 電磁相互作用 (EM) | 弱い相互作用 (W) | 強い相互作用 (S) |
|-------------|------------|------------|
| 2) | 1) | 3) |
| 7) | 4) | 5) |
| 9) | 8) | 6) |
| | 10) | |

3 問題 [3]

図1の通り。

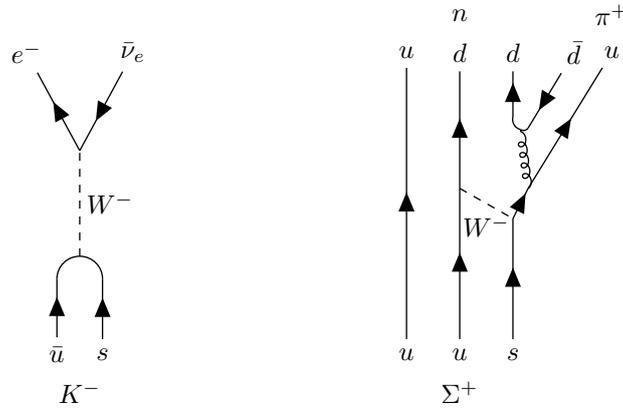


図1 左が (a) の答え、右が (b) の答え

4 問題 [4]

P 変換によって $q \rightarrow q$, $\vec{E} \rightarrow -\vec{E}$, $\vec{B} \rightarrow \vec{B}$, $\vec{v} \rightarrow -\vec{v}$, C 変換によって $q \rightarrow -q$, $\vec{E} \rightarrow -\vec{E}$, $\vec{B} \rightarrow -\vec{B}$, $\vec{v} \rightarrow \vec{v}$ と変換される。よって、 $\vec{F} = q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) + \epsilon q(\vec{B} + \vec{v} \times \vec{E})$ は次のように変換される。

(a) パリティ反転 (P)

$$\begin{aligned} \vec{F} \rightarrow \vec{F}^{(P)} &= q(-\vec{E} + ((-\vec{v}) \times \vec{B})) + \epsilon q(\vec{B} + (-\vec{v} \times (-\vec{E}))) \\ &= -q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) + \epsilon q(\vec{B} + \vec{v} \times \vec{E}) \end{aligned}$$

(b) 荷電反転 (C)

$$\begin{aligned} \vec{F} \rightarrow \vec{F}^{(C)} &= -q(-\vec{E} + (\vec{v} \times (-\vec{B}))) + \epsilon(-q(-\vec{B} + (\vec{v} \times (-\vec{E})))) \\ &= q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) + \epsilon q(\vec{B} + \vec{v} \times \vec{E}) \\ &= \vec{F} \end{aligned}$$

(c) CP 反転

$$\begin{aligned} \vec{F} \rightarrow \vec{F}^{(CP)} &= -q(\vec{E} + ((-\vec{v}) \times (-\vec{B}))) + \epsilon(-q(-\vec{B} + ((-\vec{v}) \times \vec{E}))) \\ &= -q(\vec{E} + \vec{v} \times \vec{B}) + \epsilon q(\vec{B} + \vec{v} \times \vec{E}) \end{aligned}$$

参考文献

[1] 『パリティ物理学コース 高エネルギー物理学実験』 真木 昌弘 著