

**素粒子物理学 I レポート No.3 (提出期限 6月23日)**

1. マンデルシュタム変数の関係式  $s+t+u = m_a^2 + m_b^2 + m_c^2 + m_d^2$  を示しなさい。また、 $p_a \rightarrow -p_d$  の置き換えでマンデルシュタム変数  $s$  と  $t$  が入れ代わることを示せ。

2. (2.25) について重心系で粒子の質量が無視できる場合、

$$s \sim 2p_a \cdot p_b = 4p_a^2$$

$$t \sim -2p_a \cdot p_c = -2p_a^2(1 - \cos\theta)$$

$$u \sim -2p_a \cdot p_d = -2p_a^2(1 + \cos\theta)$$

となることを示しなさい。ただし、 $\theta$  は重心系での散乱角である。

3. 現在日本の B ファクトリー実験は重心系エネルギー 10 GeV で  $\bar{B}B$  中間子を大量生成し実験を行っている。

(ア)  $\sigma(e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-)$  は何 pb か? pb は  $10^{-12} \times b (10^{-24} \text{cm}^2) = 10^{-36} \text{cm}^2$  である。また現在 B ファクトリーは  $10^{34} \text{cm}^{-2} \text{s}^{-1}$  という高ルミノシティで実験を行っている。毎秒何個の  $\mu^+\mu^-$  対が生成されているか?

(イ)  $\sigma(e^+ + e^- \rightarrow b + \bar{b})$  は何 pb か?

4.  $\pi^\pm p(n)$  反応でアイソスピン 3/2 の  $\Delta$  (1232) [電荷は ++, +, 0, - がある] を生成し、終状態が  $\pi^+ p$ ,  $\pi^+ n$ ,  $\pi^0 p$ ,  $\pi^0 n$ ,  $\pi^- p$  となる反応を考える。

(ア) アイソスピン 1/2 ( $p$ ) と 1 ( $\pi$ ) の合成から、アイソスピン 3/2 の成分 { $\Delta$  (1232)} は次のようになることを確かめよ (レポートに書く必要はない。各自この問いを理解するだけでよい)。

$$\left| \frac{3}{2}, \frac{3}{2} \right\rangle = \pi^+ p, \quad \left| \frac{3}{2}, \frac{1}{2} \right\rangle = \sqrt{\frac{1}{3}} \pi^+ n + \sqrt{\frac{2}{3}} \pi^0 p, \quad \left| \frac{3}{2}, -\frac{1}{2} \right\rangle = \sqrt{\frac{2}{3}} \pi^0 n + \sqrt{\frac{1}{3}} \pi^- p, \quad \left| \frac{3}{2}, -\frac{3}{2} \right\rangle = \pi^- n$$

(イ)  $\pi^\pm p(n)$  反応で次の反応断面積の比  $x_1 : x_2 : x_3 : x_4 : x_5 : x_6$  を求めよ。

$$\sigma(\pi^+ p(\rightarrow \Delta) \rightarrow \pi^+ p) : \sigma(\pi^+ n(\rightarrow \Delta) \rightarrow \pi^+ n) : \sigma(\pi^+ n(\rightarrow \Delta) \rightarrow \pi^0 p) : \sigma(\pi^- p(\rightarrow \Delta) \rightarrow \pi^0 n) : \sigma(\pi^- p(\rightarrow \Delta) \rightarrow \pi^- p) : \sigma(\pi^- n(\rightarrow \Delta) \rightarrow \pi^- n) = x_1 : x_2 : x_3 : x_4 : x_5 : x_6$$

(参考) 実験値は

$$\sigma(\pi^+ p(\rightarrow \Delta) \rightarrow \pi^+ p) = 210 \text{mb}, \quad \sigma(\pi^- p(\rightarrow \Delta) \rightarrow \pi^- p) = 24 \text{mb}, \\ \sigma(\pi^- p(\rightarrow \Delta) \rightarrow \pi^0 n) = 48 \text{mb} \quad \text{となっている。}$$

(ウ)  $\Delta^{++}$ ,  $\Delta^+$ ,  $\Delta^0$ ,  $\Delta^-$  をクォークの状態で記述せよ。

5.  $c\bar{c}$ 状態 (チャーモニウム) と  $e^+e^-$ 状態 (ポジトロニウム) のポテンシャルを考える。  
 (ア) クーロンポテンシャルによるエネルギーレベル (水素原子の順位) が

$$E_n = -\frac{\alpha^2 m_e}{2 n^2} : n \text{ は主量子数}$$

と現せるとして、ポジトロニウムの 2S と 1S 間のエネルギー準位を導け。{注：水素原子のモデルをポジトロニウムに変えるときに実効質量を考えること。}

- (イ) ポジトロニウムの 2S と 1S 間のエネルギー準位は 5eV である。チャーモニウムにおいてもポテンシャルがクーロン型で、2S と 1S 間のエネルギー準位は 600MeV である (後の図参照)。電子の質量を 0.5MeV、c クォークの質量を 1800MeV とした場合、強い相互作用の結合定数  $\alpha_s$  は電磁相互作用の結合定数  $\alpha$  の何倍と推定できるか？

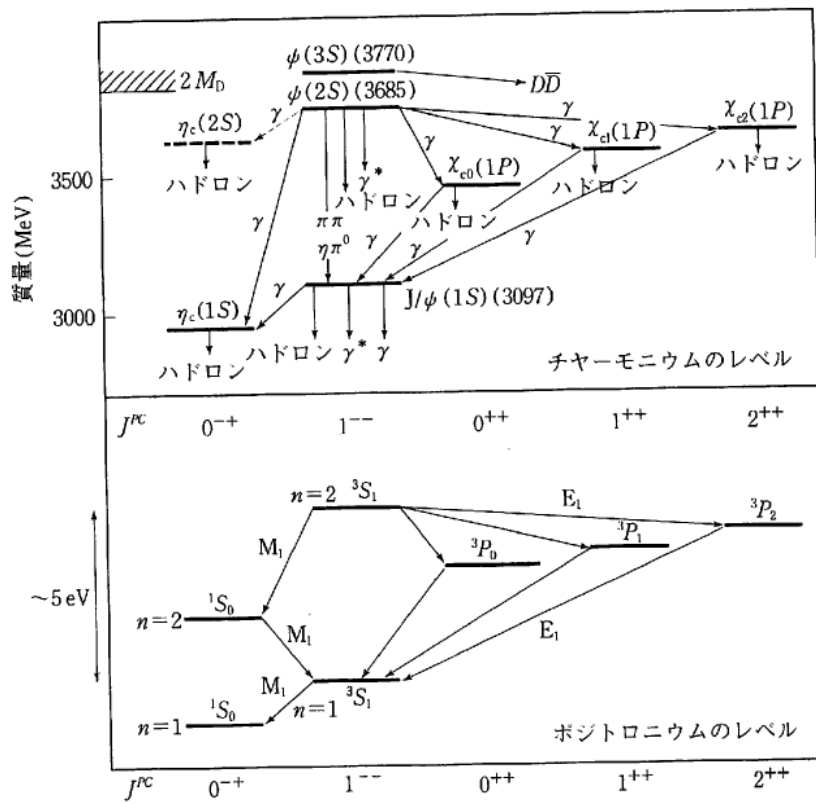


図 9.11 チャーモニウムレベルとポジトロニウムのレベルの比較<sup>24)</sup>