

# Übungen Moderne Experimentalphysik III (Kerne und Teilchen) Sommersemester 2011

## Übungsblatt Nr. 9

Bearbeitung bis 30.06.2011

### Aufgabe 1: $K^0$ -Erzeugung

(2 Punkte)

Mit einem  $\pi^-$ -Strahl, der auf ein stationäres Protontarget geschossen wird, sollen durch starke Wechselwirkung neutrale  $K$ -Mesonen erzeugt werden. In einem gewissen Bereich des Pion-Impulses können nur  $K^0$ -Mesonen jedoch keine  $\bar{K}^0$ -Mesonen erzeugt werden.

- Welchen Impuls müssen die Pionen mindestens haben, um  $K^0$ -Mesonen erzeugen zu können, und wie sieht in diesem Fall die Reaktionsgleichung aus?
- Ab welchem Pion-Impuls können auch  $\bar{K}^0$ -Mesonen erzeugt werden und über welche Reaktion?

### Aufgabe 2: $K^0$ -Oszillation

(2 Punkte)

Zum Zeitpunkt  $t = 0$  werden am Ort  $x = 0$   $N_0 = 10000$   $K^0$ -Mesonen erzeugt, die sich mit einem Impuls von  $p = p_x = 1$  GeV/c durch Vakuum bewegen. Durch Prozesse zweiter Ordnung der schwachen Wechselwirkung wird aus dem reinen  $K^0$ -Strahl für Zeiten  $t > 0$  eine Mischung aus  $K^0$ - und  $\bar{K}^0$ -Mesonen. Im Folgenden soll die CP-Verletzung vernachlässigt werden, d.h.  $|K_S^0\rangle \equiv |K_1^0\rangle$  und  $|K_L^0\rangle \equiv |K_2^0\rangle$ .

- Zeigen Sie, dass die Anzahl von  $K_S^0$ -,  $K_L^0$ -,  $K^0$ - und  $\bar{K}^0$ -Mesonen als Funktion der Zeit  $t$  im Kaon-Ruhesystem gegeben ist durch ( $\hbar = c = 1$ ):

$$\begin{aligned}N_{K_S^0}(t) &= \frac{N_0}{2} e^{-\Gamma_S t} \\N_{K_L^0}(t) &= \frac{N_0}{2} e^{-\Gamma_L t} \\N_{K^0}(t) &= \frac{N_0}{4} [e^{-\Gamma_S t} + e^{-\Gamma_L t} + 2 \cos(\Delta m t) e^{-\Gamma t}] \\N_{\bar{K}^0}(t) &= \frac{N_0}{4} [e^{-\Gamma_S t} + e^{-\Gamma_L t} - 2 \cos(\Delta m t) e^{-\Gamma t}]\end{aligned}$$

mit

$$\Delta m = |m_S - m_L| \quad , \quad \Gamma_{S/L} = \frac{1}{\tau_{S/L}} \quad , \quad \Gamma = \frac{\Gamma_S + \Gamma_L}{2}$$

Dabei ist  $m_{S/L}$  die Masse und  $\tau_{S/L}$  die Lebensdauer von  $K_S^0$ - bzw.  $K_L^0$ -Mesonen. Verwenden Sie für die Herleitung folgenden Ansatz für die Wellenfunktion von  $K_S^0$ - bzw.  $K_L^0$ -Mesonen

$$|K_{S/L}^0\rangle(t) = A_{S/L} \cdot e^{-im_{S/L}t} \cdot e^{-\Gamma_{S/L}t/2}$$

mit  $A_{S/L}$  als konstantem Normierungs- und Phasenfaktor.

- b) Stellen Sie die Anzahl von  $K_S^0$ -,  $K_L^0$ -,  $K^0$ - und  $\bar{K}^0$ -Mesonen graphisch dar für das Zeitintervall von 0 bis  $2 \cdot 10^{-9}$  s. Welcher Strecke entspricht dieser Zeitraum? Verwenden Sie  $\Delta m = 5.3 \cdot 10^9 \text{ s}^{-1}$ .

### Aufgabe 3: $K^0$ -Regeneration

(2 Punkte)

Der in Aufgabe 2 beschriebene Kaon-Strahl trifft nach einer Strecke von 100 cm auf ein dünnes Target mit  $10^{26}$  Nukleonen/cm<sup>2</sup>. Der Wirkungsquerschnitt für die Absorption von Kaonen beträgt bei einem Impuls von 1 GeV/c  $\sigma(K^0N) = 20$  mb bzw.  $\sigma(\bar{K}^0N) = 50$  mb. Berechnen Sie die Anzahl von  $K_S^0$ -,  $K_L^0$ -,  $K^0$ - und  $\bar{K}^0$ -Mesonen direkt vor dem Target. Welche Näherung kann man hier machen? Wieviele  $K_S^0$ -,  $K_L^0$ -,  $K^0$ - und  $\bar{K}^0$ -Mesonen erwarten Sie direkt hinter dem Absorber?

### Aufgabe 4: $B^0$ -Oszillation

(3 Punkte)

- a) Wie  $K^0$ -Mesonen können auch  $B^0$ - und  $B_s^0$ -Mesonen über die schwache Wechselwirkung in ihre Antiteilchen oszillieren. Zeichnen Sie die Feynmandiagramme für  $B^0$ - und  $B_s^0$ -Oszillation.
- b) Für  $B^0$ - und  $B_s^0$ -Mesonen ist näherungsweise  $\tau := \tau_S = \tau_L = 1.5 \cdot 10^{-12}$  s. Geben Sie die Anzahl von  $B^0$ - und  $\bar{B}^0$ - bzw.  $B_s^0$ - und  $\bar{B}_s^0$ -Mesonen sowie die Asymmetrie

$$A(t) = \frac{N_{B^0}(t) - N_{\bar{B}^0}(t)}{N_{B^0}(t) + N_{\bar{B}^0}(t)}$$

als Funktion der Zeit  $t$  an. Nehmen Sie dabei an, dass zum Zeitpunkt  $t = 0$  eine Anzahl von  $N_0$   $B^0$ - bzw.  $B_s^0$ -Mesonen erzeugt wurden.

- c) Im  $B^0$ -System ist  $\Delta m = 0.5 \cdot 10^{12} \text{ s}^{-1}$ . Im  $B_s^0$ -System wurde ein  $\Delta m$ -Wert (hier  $\Delta m_s$  genannt) von  $17.8 \cdot 10^{12} \text{ s}^{-1}$  gemessen. Skizzieren Sie die Anzahl von  $B^0$ -,  $\bar{B}^0$ -,  $B_s^0$ - und  $\bar{B}_s^0$ -Mesonen für  $N_0 = 10000$  sowie die Asymmetrie in beiden Systemen für den Zeitraum  $0 \leq t \leq 10^{-11}$  s. Welcher Strecke entspricht die Periodendauer einer  $B^0$ - bzw.  $B_s^0$ -Oszillation bei einem Impuls von 5 GeV/c?