

Übungen Physik VI (Kerne und Teilchen)

Sommersemester 2009

Übungsblatt Nr. 9

Bearbeitung bis 09.07.2008

Aufgabe 1: K^0 -Erzeugung

(2 Punkte)

Mit einem π^- -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 ($\hbar = c = 1$):

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

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/cm². 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 $t = 0$ $N_0 = 10000$ 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 Δm -Wert (hier Δm_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 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?