Abgabe: 06.12.2007

Übungen zu „Kern- und Teilchenphysik I“

(M.P. Heyn, H.-E. Mahnke, R. Püttner)

Übung 7:

Aufgabe 22:

Die neutralen Kaonen K° und $\overline{K}^\circ$ können schwach in 2 und 3 Pionen zerfallen:

$$K^\circ, \overline{K}^\circ \rightarrow \pi^\circ\pi^\circ,\ \pi^+\pi^-,\ \pi^+\pi^-\pi^\circ,\ \pi^\circ\pi^\circ\pi^\circ$$

Zeigen Sie, dass bei diesen Zerfällen

a) der 2-Pionenzustand ein Eigenzustand von CP mit Eigenwert +1 ist.

b) der 3-Pionenzustand ein Eigenzustand von CP mit Eigenwert -1 ist.

Hinweis: im Endergebnis für den Zerfall in $\pi^+\pi^-\pi^\circ$ erscheint der relative Bahndrehimpuls ℓ_{12} der geladenen Pionen. Machen Sie die berechtigte Annahme $\ell_{12} = 0$.

(4 Punkte)

Aufgabe 23:

Neutron-Antineutron-Oszillationen. Wenn die Baryonenzahl erhalten ist, sind die Übergänge $n \leftrightarrow \overline{n}$ (Neutronoszillationen) verboten. Die experimentelle Untergrenze für die Zeitskala solcher Oszillationen ist $\tau_{n\leftrightarrow\overline{n}}$ = 3 x 10^6s. Sei H_o der Hamiltonoperator ohne Wechselwirkungen, die n und $\overline{n}$ mischen. Dann gilt

$$H_o|n\rangle = m_n c^2 |n\rangle \quad bzw. \quad H_o|\overline{n}\rangle = m_n c^2 |\overline{n}\rangle$$

für Zustände der Teilchen in Ruhe. Sei H' der Wechselwirkungs-Operator, der Übergänge zwischen n und $\overline{n}$, erlaubt, d.h.

$$H'|n\rangle = \varepsilon|\overline{n}\rangle \quad bzw. \quad H'|\overline{n}\rangle = \varepsilon|n\rangle$$

ε ist eine reale Größe und H' lässt den Spin unverändert. Berechnen Sie die Wahrscheinlichkeit, zum Zeitpunkt t um ein Antineutron zu beobachten, wenn das Teilchen zum Zeitpunkt t = 0 ein Neutron war. Wir nennen die Zeit, bei der diese Wahrscheinlichkeit erstmals 50% beträgt, $\tau_{n\leftrightarrow\overline{n}}$. Wandeln Sie damit die experimentelle Untergrenze für $\tau_{n\leftrightarrow\overline{n}}$ in eine Obergrenze für ε um.

(4 Punkte)

Aufgabe 24:

Ein Elektron (E, $\vec{p}$) streut an einem Teilchen (Kern, Proton) der Masse M, das vor dem Stoß in Ruhe ist. Nach der elastischen Streuung hat das unter dem Winkel θ gestreute Elektron die Energie E′. Verwenden Sie 4-Vektoren, um zu zeigen, dass für relativistischen Elektronen gilt

$$E' = \frac{E}{1 + \frac{E}{Mc^2}\left(1 - \cos\theta\right)}$$

Elektronen mit E = 10 GeV werden an Protonen gestreut. Berechnen Sie E′ für θ = 0° und θ = 180°. Skizzieren Sie E′/E als Funktion von θ für $E/Mc^2 = ½$ und $E/Mc^2 = 10$. Die Energie des gestreuten Elektrons hängt also entscheidend von diesem Verhältnis ab.

(3 Punkte)

Aufgabe 25:

Ein Strahl von zwei Teilchentypen mit Massen m_1 und m_2 und gemeinsamen Impuls p, durchläuft eine Strecke L zwischen zwei Szintillationszählern. Zeigen Sie, dass der Unterschied der Flugzeiten dieser zwei Teilchentypen für große Impulse mit p^{-2} abnimmt. Berechnen Sie den minimalen erforderlichen Flugweg um Pionen von Kaonen unterscheiden zu können, wenn die Teilchen einen Impuls von 3 GeV/c haben und die Flugzeit mit einer Genauigkeit von 200 ps gemessen werden kann.

(3 Punkte)