



Übungsblatt 13

Ausgabe am 29.1.2015

Besprechung am 4/5.2.2015, 15:15-16:00

Kurzreferat (15 min): Der EMC-Effekt (EMC= European Muon Collaboration)

Literatur:

[Povh Kap. 7.4](#)

[Phys. Blätter 1984](#)

[CERN Courier 2013](#)

Gruppe 1:

Gruppe 2:

Gruppe 3: Peter Zwissler

Gruppe 4:

Aufgabe 1: Parität und Drehimpuls I

Die Reaktion $\pi^+ p \rightarrow \pi^+ p$ verläuft bei einer Schwerpunktsenergie von 1232 MeV praktisch vollständig über die Bildung eines resonanten Zwischenzustandes, der Deltaresonanz

$\Delta^{++}(1232)$ mit Spin $J^P = 3/2^+$ und einer Zerfallsbreite von 120 MeV, ab.

- Bei welchem Impuls des einlaufenden Pions liegt das Maximum der Resonanz, wenn das Proton im Laborsystem ruht? Welche Lebensdauer hat die Deltaresonanz?
- Bei welchem Bahndrehimpuls des $\pi^+ p$ -Systems tritt die Resonanz auf?

Lösung 1:

- die Resonanzenergie entspricht der Schwerpunktsenergie, d.h. mit

$$P_p = (m_p, 0) \text{ und } P_\pi = (E_\pi, \vec{p}_\pi)$$

und

$$s = (P_\pi + P_p)^2 = (m_p + E_\pi)^2 - p_\pi^2 = \left(m_p + \sqrt{p_\pi^2 + m_\pi^2}\right)^2 - p_\pi^2 = (1232 \text{ MeV})^2$$

folgt ($c = 1$)

$$p_\pi = \sqrt{\frac{(s - m_p^2 - m_\pi^2)^2}{4m_p^2}} - m_\pi^2 = 298.3 \text{ MeV}$$

Die Lebensdauer τ ergibt sich aus der Zerfallsbreite Γ :

$$\tau = \hbar \frac{1}{\Gamma} = \frac{1}{c} \cdot \frac{\hbar c}{\Gamma} = \frac{1}{c} \cdot \frac{197 \text{ MeV fm}}{120 \text{ MeV}} = 1.64 \text{ fm}/c = 5.5 \cdot 10^{-24} \text{ s}$$

- Das Pion hat Spin und Parität $J^P = 0^-$, Proton hat Spin und Parität $J^P = 1/2^+$

Der Gesamtspin des $p\pi$ -Systems ist also $\vec{j} = \vec{1}/2$.

Um auf den Spin $\vec{3}/2$ der Δ -Resonanz zu kommen hat man zwei Möglichkeiten:

$$\vec{j} = \vec{j} + \vec{L}$$



mit $\vec{L} = \vec{1}$ oder $\vec{2}$.

Um zwischen den beiden Möglichkeiten zu Unterscheiden wird die Parität betrachtet.
Für den Parität des $p\pi$ -Systems gilt:

$$P_{p\pi} = P_p \cdot P_\pi \cdot (-1)^L = +1 \cdot -1 \cdot (-1)^L = (-1)^{L+1}$$

d.h. da die Δ -Resonanz positive Parität hat und da die Parität in der starken Wechselwirkung erhalten bleibt, kommt nur $L = 1$ in Frage.

Aufgabe 2: Parität und Drehimpuls II

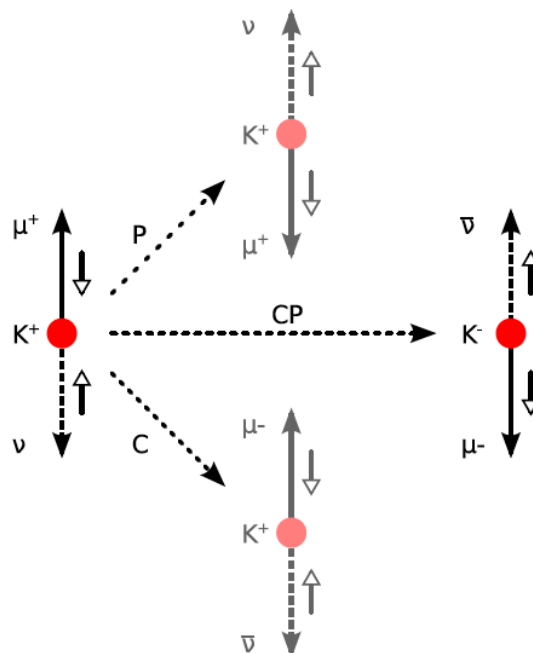
Das K^+ -Meson hat Spin 0 und zerfällt hauptsächlich durch die Reaktion $K^+ \rightarrow \mu^+ \nu_\mu$.

Skizzieren Sie die Richtung des Impulses und des Spins von Myon und Neutrino im Ruhesystem des Kaons. Wenden Sie auf diesen Zerfallsprozess nun jeweils den Paritätsoperator P , den C-Paritätsoperator C sowie die Kombination beider Operatoren CP an und skizzieren Sie die daraus resultierenden Impulse und Spins.

Welche dieser drei resultierenden Reaktionen treten nicht auf und warum?

Lösung 2:

Da das Kaon Spin 0 hat, müssen die Spins von Muon und Neutrino antiparallel sein. Außerdem muss der Spin des Neutrinos antiparallel zu seinem Impuls sein, da es linkshändig und masselos ist. Damit erhält man folgendes Bild für die Impulse (gefüllte Pfeilspitzen) und Spins (offen Pfeilspitzen):



Der Paritätsoperator ändert die Impulsrichtung der Teilchen, nicht jedoch deren Spinausrichtung. Dadurch erhält man ein rechtshändiges Neutrino, das es laut Standardmodell nicht gibt.

Der C-Operator wandelt Teilchen in ihre Antiteilchen um, ändert somit die Impulse, die Spins aber nicht. Somit hat man ein Antineutrino mit negativer Helizität, was experimentell nicht beobachtet wird. Die Anwendung von P- und C-Operator zusammen ergibt jedoch wieder eine erlaubte Reaktion.



Kern- und Teilchenphysik

WiSe 2013/14

Aufgabe 3: C-Parität (Ladungskonjugationssymmetrie)

In der Vorlesung wurde die Ladungskonjugations-Symmetrie besprochen. Dieser Symmetrie korrespondiert in der Quantenmechanik ein unitären Operator C mit den Eigenwerten $+1$ oder -1 , der einen Zustand in den ladungskonjugierten überführt, d.h. alle ladungsartigen Quantenzahlen ändern dabei ihr Vorzeichen.

Welche der folgenden Zustände sind Eigenzustände des C -Operators?

- i. $|\pi^0\rangle$
- ii. $|\pi^+\rangle$
- iii. $|\gamma\rangle$
- iv. $|\Delta^0\rangle$
- v. $(|K^0\rangle - |\bar{K}^0\rangle)/\sqrt{2}$
- vi. $|\nu_e\rangle$

Begründen Sie ihre Antwort durch Anwenden des Operators. Falls ein Eigenzustand vorliegt, was ist der Eigenwert?

Lösung 3:

Der Ladungskonjugations-Operator, C , wandelt Teilchen in das entsprechende Anti-Teilchen um und ändert damit das Vorzeichen der ladungsartigen Quantenzahlen.

Gilt die Relation

$$C\Psi = c\Psi$$

so ist Ψ Eigenfunktion von C mit dem Eigenwert c .

- i. $C|\pi^0\rangle = C|(u\bar{u} + d\bar{d})/\sqrt{2}\rangle = |(\bar{u}u + \bar{d}d)/\sqrt{2}\rangle = +1|\pi^0\rangle, c = +1$
- ii. $C|\pi^+\rangle = C|u\bar{d}\rangle = |\bar{u}d\rangle = |\pi^-\rangle$
- iii. $C|\gamma\rangle = -1|\gamma\rangle, c = -1$
- iv. $C|\Delta^0\rangle = C|udd\rangle = |\bar{u}\bar{d}\bar{d}\rangle = |\bar{\Delta}^0\rangle$
- v. $C((|K^0\rangle - |\bar{K}^0\rangle)/\sqrt{2}) =$
 $(|\bar{K}^0\rangle - |K^0\rangle)/\sqrt{2} = (-1)(|K^0\rangle - |\bar{K}^0\rangle)/\sqrt{2}, c = -1$
- vi. $C|\nu_e\rangle = |\bar{\nu}_e\rangle$