

Kern- und Teilchenphysik, Monobachelor Physik

Humboldt-Universität zu Berlin, Wintersemester 2017/2018,
Prof. Dr. H. Lacker, Dr. J. Dietrich, Dr. S. Mergelmeyer

Präsenzübung 12

Aufgabe 1: $\pi^0 \rightarrow \gamma\gamma$

Das π^0 zerfällt dominant in zwei Photonen. Das Photon hat die Quantenzahlen $J^{PC}(\gamma) = 1^{--}$. Das Quarkmodell sagt voraus: $J^{PC}(\pi^0) = 0^{-+}$. Sowohl C als auch P sind multiplikative Quantenzahlen, also gilt: $C(2\gamma) = (-1)^2 = +1$, $P(2\gamma) = (-1)^2 = +1$.

Der Zerfall scheint P -verletzend zu sein. Wie muß die Zweiphoton-Wellenfunktion im Endzustand aussehen, um sicherzustellen, dass sowohl C als auch P erhalten sind?

Tipp: Der Endzustand besteht aus zwei identischen Bosonen. Reelle Photonen kommen nur in den Spinkomponenten $S_z = \pm 1$ vor, wenn man die Flugrichtung eines als Quantisierungsachse nimmt. Berücksichtigen Sie bei der Drehimpuls- und Paritätserhaltung auch den relativen Bahndrehimpuls zwischen den beiden Photonen und beachten Sie dabei, dass dieser nur senkrecht zur Photonflugrichtung stehen kann.

Aufgabe 2: Bestimmung des Flavour-Inhalts von Mesonen

Der elektromagnetische Zerfall $\omega \rightarrow \pi^0\gamma$ läuft auf dem Quarkniveau über einen magnetischen Dipolübergang (M1) statt, bei dem durch Abstrahlung eines Photons ein Quarkspin umgeklappt wird ("Spin-Flip"). Ein Spin-Flip wird über den Leiteroperator $(\sigma_-) = \frac{1}{2}(\sigma_x - i\sigma_y)$ erzeugt, wobei $(\sigma_-)_1$ auf den ersten (Quark-)Spin und $(\sigma_-)_2$ auf den zweiten (Antiquark-)Spin wirkt: $(\sigma_-)_1 |\uparrow\uparrow\rangle = |\downarrow\uparrow\rangle$, $(\sigma_-)_2 |\uparrow\uparrow\rangle = |\uparrow\downarrow\rangle$.

Die Zerfallsamplitude wird dann gegeben durch: $-\sqrt{2} \sum_{i=1,2} \langle \pi^0 | \mu_i (\sigma_-)_i | \omega (S_z = +1) \rangle$, wobei $\mu_i = \frac{Q_i e}{2m_i}$ das magnetische Moment des Quarks bzw. Antiquarks ist.

1. Zeichnen Sie mögliche Feynman-Diagramme!
2. Zeigen Sie, dass $-\sqrt{2} \sum_{i=1,2} \langle \pi^0 | \mu_i (\sigma_-)_i | \omega (S_z = +1) \rangle = \mu_d - \mu_u$.
3. Die Zerfallsrate skaliert mit der 3. Potenz des Photonimpulses.
Zeigen Sie, dass dann in guter Näherung gilt:
$$\frac{\Gamma(\omega \rightarrow \pi^0 \gamma)}{\Gamma(\rho^0 \rightarrow \pi^0 \gamma)} = \left(\frac{\mu_d - \mu_u}{\mu_d + \mu_u} \right)^2 = \frac{9}{1}$$
. Nehmen Sie dabei an, dass $m_u = m_d$ (Isospininvarianz) gilt, und beachten Sie, dass $\mu_q = -\mu_{\bar{q}}$.
4. Wie vergleicht sich diese Vorhersage mit dem Experiment (siehe PDG Booklet) und was schliessen Sie daraus?
5. Was erwarten Sie für die Zerfallsrate $\phi \rightarrow \pi^0 \gamma$?
Vergleichen Sie mit dem Experiment! Was schliessen Sie daraus?
6. Wenn ein Vektormeson in ein pseudoskalares Meson und ein Photon auf diese Weise zerfallen kann, dann kann umgekehrt auch ein pseudoskalares Meson in ein Vektormeson und ein Photon zerfallen, sofern die Zerfälle kinematisch erlaubt sind.
Welche der Quarkonia π^0, η, η' bzw. ρ^0, ω, ϕ können auf diese Art ineinander zerfallen?