

# Kern- und Teilchenphysik, Monobachelor Physik

Humboldt-Universität zu Berlin, Wintersemester 2018/2019,

Prof. Dr. H. Lacker, Dr. C. Scharf, J. Krieg

## Hausaufgabenblatt 14

### Aufgabe 1: $P$ -Verletzung in der schwachen Wechselwirkung

Das  $K^+$ -Meson, das den Spin  $J = 0$  trägt, kann sowohl in zwei als auch drei Pionen, die ebenfalls  $J = 0$  tragen, zerfallen. Warum hat man damit  $P$ -Verletzung in der schwachen Wechselwirkung nachgewiesen, auch wenn man die Parität des Kaons noch nicht kennt? Betrachten Sie dazu zum einen die Eigenparitäten der Pionen als auch die Drehimpulserhaltung und insbesondere die möglichen Bahndrehimpulse zwischen den Pionen im Endzustand.

- (a) Betrachten Sie zunächst den Zweipionenzustand und bestimmen Sie, welche Parität das Kaon hätte, wenn  $P$  im Zerfall erhalten wäre. (1 Punkt)
- (b) Wiederholen Sie die Betrachtungen für den Dreipionenzustand. Dazu müssen Sie einen relativen Bahndrehimpuls  $\ell$  für ein Pionpaar betrachten, und dann den relativen Bahndrehimpuls  $\ell'$  des dritten Pions bezüglich des Pionpaars. Bei der Berechnung der Parität liefert das jeweils den Faktor  $(-1)^\ell$  und  $(-1)^{\ell'}$ . (2 Punkte)
- (c) Versuchen Sie mit folgenden Überlegungen abzuschätzen, wie groß  $\ell^{(\prime)}$  typischerweise ist: Der Bahndrehimpuls steht senkrecht auf der Zerfallsebene, die durch die drei Pionimpulse aufgespannt wird. Der maximal mögliche Bahndrehimpuls ist gegeben durch  $r \cdot p$ . Der Bahndrehimpuls ist quantisiert. Die Pionen werden aus dem Raumgebiet emittiert, das der Ausdehnung des Kaons von  $r = \mathcal{O}(1 \text{ fm})$  entspricht. Der maximale Impuls  $p$ , den ein Pion im Kaonzerfall in drei Pionen haben kann, ist im Particle Data Booklet angegeben. (2 Punkte)

### Aufgabe 2: Das System neutraler $K$ -Mesonen

1. Zeigen Sie mit Aufgabe 1, dass der  $CP$ -Eigenwert für  $\pi^0\pi^0$  im neutralen Kaonzerfall den Wert  $+1$  hat. (1 Punkt)
2. In der Vorlesung wurde gezeigt, dass die  $C$ -Operation auf ein Fermion-Antifermion-System einer Punktspiegelung am Ursprung und einer anschließenden Vertauschung der Spinkoordinaten entspricht. Da Pionen den Spin 0 haben, gilt einfach  $C(\pi^+\pi^-) = (-1)^\ell$ . Zeigen Sie damit und mit Aufgabe 1), dass der  $CP$ -Eigenwert für  $\pi^+\pi^-$  im neutralen Kaonzerfall den Wert  $+1$  hat. (1 Punkt)
3. Zeigen Sie für den Endzustand  $\pi^0\pi^0\pi^0$  im neutralen Kaonzerfall, dass der  $CP$ -Eigenwert  $-1$  beträgt. (1 Punkt)
4. Für den Endzustand  $\pi^+\pi^-\pi^0$  sind beide  $CP$ -Eigenwerte möglich, abhängig vom relativen Bahndrehimpuls  $\ell(\pi^+\pi^-)$ .  
Welchen  $CP$ -Eigenwert hat der  $\pi^+\pi^-\pi^0$ -Endzustand im Zerfall neutraler Kaonen in Abhängigkeit von  $\ell(\pi^+\pi^-)$ ? (1 Punkt)

Bitte wenden!

### Aufgabe 3: Zeitabhängige Oszillationen und $CP$ -Verletzung

1. Zeigen Sie, dass für die  $CP$ -Eigenzustände  $K_1$  und  $K_2$  wegen der Orthonormalität der Flavourzustände  $|K^0\rangle$  und  $|\bar{K}^0\rangle$  gilt:  $\langle K_1|K_2\rangle = 0$ , aber für die physikalisch beobachteten Zustände aufgrund der beobachteten  $CP$ -Verletzung in der Mischung ( $\delta_L = 3,32 \cdot 10^{-3}$ ) gilt:  $\langle K_S|K_L\rangle \neq 0$ . (2 Punkte)
- (b) Zeigen Sie, dass für große Zeiten, wenn also ein Strahl neutraler Kaonen in extrem guter Näherung in einen reinen  $K_L$ -Strahl übergegangen ist, gilt:

$$\frac{R(K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e) - R(K_L \rightarrow \pi^+ e^- \bar{\nu}_e)}{R(K_L \rightarrow \pi^- e^+ \nu_e) + R(K_L \rightarrow \pi^+ e^- \bar{\nu}_e)} = \frac{|p|^2 - |q|^2}{|p|^2 + |q|^2} \text{ (siehe Vorlesung). (2 Punkte)}$$

Hinweis: Die Raten sind durch die Wahrscheinlichkeit bestimmt, ein Kaon im  $K_L$ -Strahl zu finden, das in den genannten Endzustand zerfallen kann.

### Aufgabe 4: Verzweigungsverhältnisse von $D$ -Meson-Zerfällen

Was erwarten Sie für das Verhältnis  $\frac{BF(D^0 \rightarrow \pi^- K^+)}{BF(D^0 \rightarrow K^- \pi^+)}$ ? (Wegen gleicher Teilchenmassen sind Phasenraumfaktoren für beide Zerfälle gleich.) (2 Punkte)

Was findet man experimentell (siehe Particle Data Booklet)? (1 Punkt)

**Abgabe: 04.02.2019 bis 13:00 vor Raum NEW 15 1'413/414**