

# Moderne Experimentalphysik III (Teilchenphysik) (SS 18)

<http://ekpwww.physik.uni-karlsruhe.de/~rwolf/teaching/ss18-teilchen.html>

## Übungsblatt 7

Name des Übungsgruppenleiters und Gruppenbuchstabe:

Namen der bearbeitenden Gruppe:

#### Aufgabe 14: Diskrete Symmetrien

(5 Punkte)

Geben Sie an, wie sich die folgenden physikalischen Größen unter der Paritätsoperation  $\hat{P}$  (Punktspiegelung am Ursprung) und der Zeitumkehroperation  $\hat{T}$  verhalten:

a)

Ortsvektor,  $\vec{r}$ .

b)

Impulsvektor,  $\vec{p}$ .

c)

Drehimpulsvektor,  $\vec{L}$ .

d)

Spin,  $\vec{s}$ .

e)

Statisches elektrisches Feld,  $\vec{E}$ .

f)

Statisches magnetisches Feld,  $\vec{B}$ .

g)

Potentielle Energie eines elektrischen Dipols aufgrund von Teilchenspin in einem statischen elektrischen Feld,  $\vec{s} \cdot \vec{E}$ .

h)

Potentielle Energie eines magnetischen Dipols aufgrund von Teilchenspin in einem statischen magnetischen Feld,  $\vec{s} \cdot \vec{B}$ .

#### Aufgabe 15: Erhaltungssätze und Wechselwirkungen

(5 Punkte)

Für welche der drei Wechselwirkungen, elektromagnetische, schwache und starke Wechselwirkung gelten die folgenden Erhaltungssätze:

a)

Leptonenzahlerhaltung.

b)

Erhaltung des starken Isospins,  $T_3$ .

c)

Erhaltung der Strangeness,  $S$ .

d)

Paritätserhaltung.

e)

$CP$ -Erhaltung.

#### Bonusfrage:

Was bedeutet maximale Paritätsverletzung beim Austausch eines  $W$  Bosons? Ist der Austausch eines  $Z$  Bosons paritätsverletzend? Wenn ja ist er maximal paritätsverletzend?

**Aufgabe 16:  $e^+e^-$  Collider****(5 Punkte)**

Elektronen und Positronen kollidieren in einem Speicherring frontal mit einer Strahlenergie  $E_e$  von jeweils 4 GeV. Der differentielle Wirkungsquerschnitt für den Prozess  $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$  ist gegeben durch

$$\frac{d\sigma}{d\Omega}(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-) = \frac{(\alpha \hbar c)^2}{4s} (1 + \cos^2 \theta)$$

wobei  $\theta$  dem Polarwinkel (im Schwerpunktsystem) und  $s$  der Mandelstam-Variablen aus Aufgabe 1 entspricht.

**a)**

Zeigen Sie, dass der totale Wirkungsquerschnitt gegeben ist durch:

$$\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-) = \frac{4\pi(\alpha \hbar c)^2}{3s}$$

**b)**

Welche Produktionsrate von  $\mu^+\mu^-$ -Paaren erwartet man bei einer Luminosität von  $10^{32} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ ?

**c)**

Welche Produktionsrate für Ereignisse mit hadronischem Endzustand erwartet man?

**d)**

Am geplanten International Linear Collider sollen Elektronen und Positronen mit einer Schwerpunktsenergie von 500 GeV frontal zur Kollision gebracht werden. Wie groß müsste die Luminosität sein, damit man den Wirkungsquerschnitt für Ereignisse mit hadronischem Endzustand innerhalb von 2 Stunden mit einer statistischen Unsicherheit von 10% messen kann? Nehmen Sie an, dass der Detektor alle Hadronen mit einer Effizienz von 100% nachweisen kann.

**Aufgabe 17: Quarkmodell****(5 Punkte)**

Hadronen werden im Quarkmodell als gebundene Zustände elementarer stark wechselwirkender Spin-1/2 Fermionen beschrieben, die als Quarks bezeichnet werden. Die Mesonen und Baryonen mit der geringsten Masse sind gebundene Zustände der u-, d- und s-Quarks und formen ein Triplet unter der SU(3)-Flavor Symmetriegruppe.

**a)**

Was ist die physikalische Bedeutung der (globalen) SU(3)-Flavor Symmetrie der starken Wechselwirkung? Vergleichen Sie das Konzept mit dem starken Isospin ( $T$  und  $T_3$ ). Wo liegen Unterschiede und Gemeinsamkeiten?

**b)**

Geben Sie das  $J^P = 3/2^+$  Dekuplett der Baryonen an. Charakterisieren Sie die Zustände durch die Quantenzahlen des starken Isospins ( $T$  und  $T_3$ ), die Strangeness ( $S$ ) und die Baryonenzahl ( $B$ ). Zeigen Sie, dass Sie die Ladung des entsprechenden Zustandes aus der Gell-Mann-Nishijima Formel erhalten können. Die SU(3)-Flavor Symmetrie ist in dem Dekuplett nur näherungsweise erfüllt. Wodurch ist sie gebrochen? Erklären Sie, wie die Parität  $\hat{P} = +1$  zustandekommt.

**c)**

Basierend auf den Vorhersagen des Quarkmodells wurde eine weitere Quantenzahl, "Farbe", eingeführt. Diskutieren Sie die physikalische Evidenz von "Farbe" am Beispiel des  $\Delta^{++}$  Baryons im  $J^P = 3/2^+$  SU(3)-Flavor Dekuplett.

**d)**

Analog zum Fall des  $\Delta^{++}$  aus Teilaufgabe c) könnte man für das  $J^P = 0^-$  Meson-Oktett

argumentieren, dass die Gesamtwellenfunktion symmetrisch sein sollte. Untersuchen Sie die Orts-, Spin-, Flavor- und Farbanteile der Wellenfunktion. Tun Sie das gleiche für das  $J^P = 1^-$  Vektormeson-Oktett. Worin liegt der Fehler in der Argumentation?

**Anmerkung**

Die Farbwellenfunktion eines Quark-Antiquarksystems ist:

$$\frac{1}{\sqrt{3}} (|r\bar{r}\rangle + |g\bar{g}\rangle + |b\bar{b}\rangle)$$