

Übungen zu Physik V: Kerne und Teilchen (13)

Abgabetermin: bis 28.01.2025, 10:00 Uhr

Hinweis: Auf diesem Zettel gibt es insgesamt 43 Punkte (LA: 23 Punkte). Dabei handelt es sich bei 3 Punkten um Zusatzpunkte. Für die Klausurzulassung werden insgesamt 260 Punkte (LA: 130) aus 13 Zetteln benötigt.

Aufgabe 1: Z^0 -Zerfälle

(14 Punkte)

1. Erstellen Sie eine Liste aller möglichen Z^0 -Zerfälle, die über Feynman-Graphen niedrigster Ordnung ablaufen können. (1 Punkt)
2. Berechnen Sie für die Fermionen Ihrer Liste die links- und rechtshändigen Kopplungen \hat{g}_L^2 und \hat{g}_R^2 . Bilden Sie jeweils Gruppen mit gleicher Kopplung und berechnen Sie die Partialbreiten

$$\Gamma_f = \Gamma_0(\hat{g}_L^2 + \hat{g}_R^2) \quad (\text{mit } \Gamma_0 = \frac{G_F}{3\pi\sqrt{2}} M_{Z^0}^3 \approx 663 \text{ MeV}).$$

Welche Fermionen koppeln am stärksten an das Z^0 ? Erklären Sie, warum.

(2 Punkte)

3. Berechnen Sie die Gesamtbreite Γ_{tot} des Z^0 . (1 Punkt)
4. Berechnen Sie die Breite Γ_{tot} des Z^0 für die beiden hypothetischen Fälle, dass nur links- und nur rechtshändige Fermionen existieren. (2 Punkte)
5. Am e^+e^- -Collider LEP wurde das Z^0 resonant erzeugt. Welche Strahlenergie war hierzu nötig? (1 Punkt)
6. Berechnen Sie das Verhältnis

$$R = \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow \text{Hadronen})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)}$$

auf der Z^0 -Resonanz. Vernachlässigen sie Photon-Austausch und alle Prozesse höherer Ordnung. (4 Punkte)

7. Berechnen Sie das Verhältnis aus Teilaufgabe 6 für reinen Photon-Austausch. (3 Punkte)

Aufgabe 2: Neutrino-Streuung

[LA: komplette Aufgabe] (12 Punkte)

1. Zeichnen Sie alle möglichen Feynman-Graphen niedrigster Ordnung für elastische Streuung von:

a) $\nu_\tau e^-$

c) $\nu_\mu e^-$

e) $\nu_e e^-$

b) $\bar{\nu}_\tau e^-$

d) $\bar{\nu}_\mu e^-$

f) $\bar{\nu}_e e^-$

(8 Punkte)

2. Der Neutrinofluss der Sonne beträgt auf der Erde ca. $\Phi_\nu = 7 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$. Der Absorptions-Wirkungsquerschnitt für diese Neutrinos in Eisen liegt in der Größenordnung von $\sigma = 10^{-43} \text{ cm}^2$. Nehmen Sie an, die Erde würde komplett aus Eisen bestehen, und die Neutrinos müssten nachts den kompletten Erddurchmesser durchqueren um zu Ihrem Detektor zu gelangen. Um wie viel ist dann nachts der Neutrinofluss am Detektor reduziert?
Hinweis: Betrachten Sie bei Ihrer Rechnung die Erde als dünnes Target. Ist diese Annahme gerechtfertigt? (4 Punkte)

Aufgabe 3: Neutrino-Detektoren

[LA: nur Teilaufgaben 1&2] (8 Punkte)

Atmosphärische Myon-Neutrinos können z.B. mit dem Kamiokande-Detektor, bei dem Wasser als Cherenkov-Medium verwendet wird, detektiert werden. Ein ν_μ wechselwirkt dabei mit dem Wasser, und es entsteht u.a. ein μ^- .

1. Wie sieht die vollständige Reaktion aus, bei der das μ^- entsteht? Zeichnen Sie ein Feynman-Diagramm. (2 Punkte)
2. Welche Energie muss das erzeugte Myon mindestens haben, damit im Wasser Cherenkov-Licht erzeugt wird? (1 Punkt)
3. Berechnen sie den Öffnungswinkel des Cherenkov-Lichtkegels, der von einem Myon mit einer Energie von 1 GeV emittiert wird. (2 Punkte)
4. Auf seinem Weg durch das Detektorvolumen verliert das μ^- Energie durch Ionisation. Berechnen Sie, wie groß der Öffnungswinkel des Cherenkov-Lichtkegels nach einer Strecke von 4 m noch ist.
Hinweis: Nehmen Sie das μ^- als minimalionisierendes Teilchen an. Ist diese Annahme gerechtfertigt? (3 Punkte)

Aufgabe 4: Erhaltungssätze

[LA: nur Teilaufgaben 1–8] (9 Punkte)

Geben Sie für die folgenden Teilchenzerfälle oder Reaktionen an, ob diese für *freie* Teilchen erlaubt oder verboten sind. Geben Sie außerdem an, über welche Wechselwirkung die Reaktion abläuft. Falls mehrere Wechselwirkungen möglich sind, geben Sie immer nur die wahrscheinlichste an. Falls eine Reaktion nicht möglich ist, geben Sie einen Erhaltungssatz an, der die Reaktion verbietet.

- | | | |
|------------------------------------|--------------------------------------|--|
| 1. $\mu^- \rightarrow e^- \pi^0$ | 4. $J/\psi \rightarrow \gamma\gamma$ | 7. $\Xi^- \rightarrow n K^-$ |
| 2. $p \rightarrow \pi^0 e^+ \nu_e$ | 5. $\Delta^+ \rightarrow p \pi^0$ | 8. $e^+ e^- \rightarrow \nu_e \bar{\nu}_e$ |
| 3. $n \rightarrow p e^- \nu_e$ | 6. $\Xi^- \rightarrow \Lambda \pi^-$ | 9. $K^+ p \rightarrow \Sigma^+ \pi^+$ |