

Klausur Moderne Experimentalphysik III

Zu verwendende Konstanten: $m(\pi^\pm) = 140 \text{ MeV}/c^2$, $m(\pi^0) = 135 \text{ MeV}/c^2$, $m(K^\pm, 0) = 495 \text{ MeV}/c^2$, $m(p) = m(n) = 940 \text{ MeV}/c^2$, $m(\Lambda^0[uds]) = 1115 \text{ MeV}/c^2$

Aufgabe 1: ^{14}C -Methode

(3 Punkte)

In lebendem Gewebe hat das Isotop ^{14}C eine konstante Konzentration und führt zu einer Aktivität von 0.255 Bq pro Gramm Kohlenstoff. Beim Zerfall von ^{14}C entsteht $^{14}_7\text{N}$. Um welche Art von Zerfall handelt es sich? Zeichnen Sie das entsprechende Feynman-Diagramm der beteiligten Nukleonen auf Quark-Niveau. Die Halbwertszeit von ^{14}C beträgt 5730 Jahre. Wie alt ist eine Probe von 40 g Kohlenstoff, bei der eine Aktivität von 5.1 Bq gemessen wird?

Aufgabe 2: K^0 -Mesonen

(3 Punkte)

Zeichnen Sie die beiden Feynman-Diagramme führender Ordnung für die Oszillation von K^0 -Mesonen ($\bar{s}d$). Das Verhalten unter der CP -Operation sei gegeben durch $CP(|K^0\rangle) = (-1)|\bar{K}^0\rangle$ und $CP(|\bar{K}^0\rangle) = (-1)|K^0\rangle$. Geben Sie die Linearkombination von $|K^0\rangle$ und $|\bar{K}^0\rangle$ für die Eigenzustände des CP -Operators an, wobei $|K_1\rangle$ CP -gerade und $|K_2\rangle$ CP -ungerade sein soll. In welche Kombinationen von Pionen zerfallen K_1 und K_2 jeweils überwiegend? Welcher der beiden Zustände hat eine längere Lebensdauer und warum? Durch welche Beobachtung wurde die Verletzung der CP -Symmetrie bei K^0 -Mesonen nachgewiesen?

Aufgabe 3: Σ -Teilchen

(4 Punkte)

Σ -Teilchen sind Baryonen mit Strangeness -1 und Isospin 1. Wieviele Arten von Σ -Teilchen gibt es demnach und aus welchen Valenzquarks sind sie aufgebaut und welche Ladung haben sie? Begründen Sie Ihre Schlussfolgerung.

Σ -Baryonen haben eine Masse von etwa $1190 \text{ MeV}/c^2$. Bestimmen und begründen Sie für jede Art von Σ -Baryonen, welches die dominanten Zerfallskanäle sind und über welche Wechselwirkung der Zerfall erfolgt. Welches der Σ -Teilchen hat die kürzeste Lebensdauer und weshalb?

Aufgabe 4: Teilchenreaktionen

(5 Punkte)

Überprüfen Sie, ob folgende Reaktionen möglich sind. Falls nicht, geben Sie den Grund an. Falls ja, benennen sie die dominante Wechselwirkung.

- $K^0 \rightarrow \pi^0\pi^0$
- $\pi^0 \rightarrow \gamma$
- $Z^0 \rightarrow \mu^+e^-$

- d) $p\bar{p} \rightarrow \Lambda^0 K^+ \pi^- \bar{n}$
- e) $\Lambda^0 + \pi^+ \rightarrow K^+ \pi^0$
- f) $\Lambda^0 \rightarrow p\pi^- \pi^0 \pi^0$
- g) $\pi^+ \pi^- \rightarrow J/\psi p\bar{n}$
- h) $\tau^- \nu_\mu \rightarrow \nu_\tau \mu^-$
- i) $\mu^+ \mu^- \rightarrow J/\psi$
- j) $J/\psi \rightarrow \nu_e \bar{\nu}_e$

Aufgabe 5: Tief inelastische ep -Streuung

(3 Punkte)

Welche anschauliche Bedeutung hat die Bjorkensche Skalenvariable x näherungsweise? Warum werden zwei Strukturfunktionen, $F_1(x)$ und $F_2(x)$, benötigt, um die Struktur des Protons zu beschreiben? In den ersten Messungen der Strukturfunktionen hatte man festgestellt, dass diese praktisch nicht von Q^2 abhängen. Was konnte man daraus folgern?

Aufgabe 6: Relativistische Kinematik

(3 Punkte)

Betrachten Sie die Kollision zweier Teilchen mit gleicher Masse m und Impulsen \vec{p}_1 und \vec{p}_2 . Leiten Sie unter Verwendung der Viererimpulse eine Formel für die Schwerpunktsenergie \sqrt{s} als Funktion der Masse m , der Impulsbeträge $p_1 = |\vec{p}_1|$, $p_2 = |\vec{p}_2|$ und des Winkels zwischen den Impulsen $\alpha = \angle(\vec{p}_1, \vec{p}_2)$ her. Für welchen Winkel ist die Schwerpunktsenergie bei gegebenen Impulsbeträgen maximal? Geben Sie nun für diesen Winkel eine Näherung für den Fall, dass beide Teilchen hoch-relativistisch sind, an.

Aufgabe 7: Luminosität und Wirkungsquerschnitt

(3 Punkte)

Geben Sie die Beziehung zwischen Luminosität \mathcal{L} , Wirkungsquerschnitt σ und Reaktionsrate \dot{N} an. In einem Speicherring werden zwei Pakete im N_1 bzw. N_2 Teilchen aufeinander geschossen. Wie hängt die Luminosität von N_1 und N_2 ab? Welche weiteren Größen beeinflussen die Luminosität und in welcher Weise? Nehmen Sie an, dass die Teilchen harte Kugeln mit Radius R_1 bzw. R_2 sind, die nur bei Berührung über elastische Stöße wechselwirken. Wie groß ist der Wirkungsquerschnitt für die Reaktion zweier Kugeln?

Aufgabe 8: Detektoren

(3 Punkte)

Ordnen Sie folgende Komponenten des Detektors eines Kollider-Experiments von innen nach außen an. Geben Sie außerdem für jede Komponente an, welche Arten von Teilchen damit (hauptsächlich) nachgewiesen werden und welche Eigenschaften der Teilchen damit gemessen werden.

- Hadronisches Kalorimeter
- Driftkammer
- Myon-Detektor
- Elektromagnetisches Kalorimeter
- Halbleiter-Detektor
- Flugzeit-Detektor
- Magnetspule

Aufgabe 9: Schalenmodell und Kern-Deformationen (3 Punkte)

Welchen Gesamtspin haben gg-Kerne und warum? Begründen Sie anhand der Reihenfolge, in der die Zustände im Schalenmodell besetzt werden, weshalb es zu Deformationen von einer kugelsymmetrischen Verteilung kommen kann. Wie lässt sich eine solche Deformation experimentell nachweisen?

Aufgabe 10: Neutrinos (3 Punkte)

Erläutern Sie kurz den experimentellen Aufbau des Super-Kamiokande-Experiments. Welche Reaktionen wurden mit diesem Detektor nachgewiesen? Was ist das Resultat des Experiments und welche Erkenntnis konnte man daraus gewinnen?