

Angaben

Massen:

- $m(\Lambda^0) = 1115 \text{ MeV}/c^2$
- $m(\Sigma^0) = 1189 \text{ MeV}/c^2$
- $m(t) = 172.9 \text{ GeV}/c^2$
- $m(p)m(\pi^0) = 938 \text{ MeV}/c^2 \cdot 135 \text{ MeV}/c^2 = 126630 \text{ MeV}^2/c^4$

Spins:

- Spin von Δ^{++} ist $3/2$
- Spin von p ist $1/2$
- Spin von π^+ ist 0

Paritäten:

- $P(p) = 1$
 - $P(\Delta^{++}) = 1$
 - $P(\pi^+) = -1$
-

Aufgabe 1: Erhaltungsgrößen

(4 Punkte)

Erstellen Sie eine Tabelle, in welcher für die Größen B (Baryonenzahl), L (Leptonenzahl), I (Isospin), S (Stangeness), C (Ladungs-Parität), P (Parität), T (Zeitumkehr), p (Impuls), E (Energie) und J (Gesamtdrehimpuls) angegeben ist, in welcher Wechselwirkung diese erhalten bleiben.

Aufgabe 2: Paritätsverletzung in der schwachen Wechselwirkung

(4 Punkte)

Skizzieren und erklären Sie das Experiment von Wu, mit dem 1956 die Paritätsverletzung in der schwachen Wechselwirkung erstmals nachgewiesen wurde.

Aufgabe 3: Σ Baryonen

(5 Punkte)

Das Σ^0 Baryon hat $S = -1$, $I = 1$, $I_3 = 0$, Ladung $q = 0$ und Spin $1/2$.

- Wie ist die (Valenz-) Quarkzusammensetzung des Σ^0 Baryons?
- Wie ist die Quarkzusammensetzung und die Quantenzahlen der zwei anderen Baryonen dieses Isospin-Tripletts?
- Welches ist das weitere Baryon des zugehörigen Isospin Singletts?
- Das Σ^0 zerfällt hauptsächlich durch $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda^0 + \gamma$. Welche Wechselwirkung ist dafür verantwortlich?
- Warum kann das Σ^0 nicht durch die starke Wechselwirkung zerfallen?

Aufgabe 4: Protonstruktur und tiefinelastische Streuung

(5 Punkte)

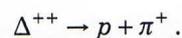
Skizzieren Sie die Parton-Impulsverteilungen in Protonen sowie die Feynman Diagramme für tiefinelastische Streuung von Elektronen an Protonen für die Fälle:

- Das Proton ist ein elementares Teilchen
- Das Proton besteht nur aus Valenzquarks
- Das Proton besteht aus Valenzquarks, welche stark miteinander wechselwirken
- Das Proton besteht aus Valenzquarks und Seequarks, welche alle stark miteinander wechselwirken
- Skizzieren Sie für den vorherigen Fall auch noch ein mögliches Feynman Diagramm, das der tiefinelastischen Streuung von Elektronen mit einem der Gluonen des Protons entspricht.

Aufgabe 5: Erhaltung von J^P

(4 Punkte)

Betrachten Sie die Reaktion



Welche Werte sind für die Drehimpulsquantenzahl L im Endzustand möglich? Wie ist das Ergebnis, wenn die Paritäten im Anfangs- und Endzustand berücksichtigt werden?

Aufgabe 6: Teilchenreaktionen

(8 Punkte)

Überprüfen Sie ob folgende Reaktionen möglich sind und, falls nötig, geben Sie an unter welchen Bedingungen. Geben Sie die Gründe für Ihre Entscheidung an sowie die Wechselwirkung, welche dominierend ist. Geben Sie auch ein Feynman Diagramm, sowie die Quark-Zusammensetzung der beteiligten Baryonen und Mesonen an.

a) $n \rightarrow p + \tau^- + \bar{\nu}_\tau$

b) $p \rightarrow n + e^+ + \nu_e$

c) $Y \rightarrow \nu_e + \bar{\nu}_e$

d) $J/\Psi \rightarrow t + \bar{t}$

e) $\gamma \rightarrow e^+ + e^-$

f) $\pi^0 \rightarrow \gamma + \gamma$

g) $p\bar{p} \rightarrow nn$

h) $Z^0 \rightarrow \mu^+ + e^-$

Aufgabe 7: Kernmodelle

(6 Punkte)

- Welche Terme der Weizsäcker-Massenformel sind relevant (d.h. ändern sich) beim β -Zerfall in Kernen?
- Betrachten Sie nun die Spaltung eines Kernes in zwei gleich grosse Tochterkerne. Schreiben Sie dazu zuerst schematisch auf, wie sich die totale Energien vor und nach der Spaltung verhalten müssen, um diesen Prozess zu ermöglichen. Welche Terme in der Weizsäcker-Massenformel sind relevant bei der Kernspaltung?
- Skizzieren Sie die Ladungsdichte-Verteilung in leichten (z.B. Lithium) und schweren Kernen (z.B. Blei).
- Experimentell findet man, dass der Radius der Ladungsdichte-Verteilung $R = aA^{1/3}$ ist. Was bedeutet dies für die Nukleonen-Dichte in Kernen als Funktion der Kernmasse A ?

Begründen Sie Ihre Antworten ausreichend.

Aufgabe 8: Solare Kernfusion

(6 Punkte)

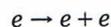
- Skizzieren Sie die Hauptreiehe der Sternentwicklung im Hertzsprung-Russel Diagramm. Verwenden Sie dazu die Gößen und Einheiten, welche Ihnen am Besten liegen.
- Wo befindet sich die Sonne in diesem Diagramm? Was zeichnet Sterne aus, welche in der Nähe der Sonne liegen?

- c) Wie wird sich die Sonne im Laufe der Zeit in diesem Diagramm bewegen? Welches sind die drei typischen Stadien der Sternentwicklung in diesem Prozess? Tragen Sie dazu stichpunktartig im Hertzsprung-Russel Diagramm die dabei relevanten Prozesse ein, und skizzieren Sie damit den normalen Lebenslauf eines Sternes.
- d) Bis zu welchem Element entstehen Kerne durch die Fusion im Inneren von Sternen, und warum ist dies so?
- e) Wie entstehen die noch schwereren Kerne?

Begründen Sie alle Ihre Antworten plausibel und ausreichend.

Aufgabe 9: Luftschauer der kosmischen Strahlung, Heitler Model (6 Punkte)

Im Heitler Model geht man davon aus, dass es nur eine Sorte *elektromagnetischer* Teilchen gibt, welche e genannt werden. Diese wechselwirken gemäß



mit der Wechselwirkungslänge X_0 . Wie ist die mittlere Strecke λ , nach welcher eine Wechselwirkung auftritt? Gehen Sie im Folgenden davon aus, dass alle Teilchen e nach exakt der Strecke λ wechselwirken.

Skizzieren Sie wie sich ein Schauer aus solchen Teilchen entwickelt, wenn er mit einem einzelnen hochenergetischen Teilchen e beginnt. Wie ist die Anzahl N_i sowie die Energie E_i der Teilchen nach i Wechselwirkungsschritten λ ?

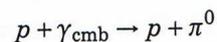
Eine physikalische Abbruchbedingung für solche Schauer ist gegeben wenn X_0 (welches der Strahlungslänge entspricht) größer als die Ionisationslänge wird, und dadurch die Teilchen nicht mehr die Reaktion $e \rightarrow e + e$ durchführen können. Dies geschieht, wenn ein Teilchen e unter die *kritische* Energie E_c , fällt.

Wie groß kann damit die maximale Anzahl N_{\max} von Teilchen e in einem Schauer werden, wenn die Energie des ersten Teilchens E_0 ist?

Nach welcher Gesamtstrecke X_{\max} wird diese maximale Anzahl von Teilchen im Schauer erreicht?

Aufgabe 10: Photo-Pion Produktion, Greisen-Zatsepin-Kuzmin Effekt (4 Punkte)

In Reaktionen vom Typ



können sehr hochenergetische Protonen der kosmischen Strahlung durch Wechselwirkung mit den Photonen der 3K Hintergrundstrahlung Energie verlieren. Dies ist der Greisen-Zatsepin-Kuzmin (GZK) Effekt. Verwenden Sie als mittlere Wellenlänge der Photonen $\lambda_{\text{cmb}} \approx 0.15 \text{ mm}$, für die Planck Konstante $h \approx 5 \cdot 10^{-16} \text{ eVs}$, sowie für die Lichtgeschwindigkeit $c \approx 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$. Wie groß ist dann die mittlere Energie der Photonen E_{cmb} ?

Ab welcher Schwellenenergie E_{GZK} der Protonen kann mit Photonen der Energie E_{cmb} der GZK Effekt stattfinden? Berechnen Sie E_{GZK} .