

# Kern- und Teilchenphysik II (SS18), Übungsblatt 6

Abgabe bis Freitag, 15. Juni 2018  
im Kasten „Kernphysik“ vor Raum NB 2/131

---

## 1. Aufgabe: Neutrinos: Detektoren (23 Punkte)

- (a) Benennen Sie die drei Reaktionen, mit denen das Sudbury Neutrino Observatory Neutrinos nachweist. Zeichnen Sie für jede Reaktion ein Feynman-Diagramm und erklären Sie den jeweiligen Nachweisprozess.
- (b) In der Vorlesung haben Sie verschiedene Experimente kennen gelernt, die die radiochemischen Methode verwenden, um Neutrinos zu detektieren. Die von diesen Experimenten detektierten Neutrinos stammen zu unterschiedlichen Anteilen aus den verschiedenen in der Sonne statt findenden Fusionsprozessen. In dem Diagramm, das den Fluss bei der jeweiligen Neutrino-Energie darstellt, sind Neutrino-Energiebereiche den verschiedenen für die radiochemische Methode verwendeten Substanzen zugeordnet. Welche Eigenschaft der Substanz bestimmt den zugänglichen Neutrino-Energiebereich? Ermitteln Sie die entsprechenden Energien.

## 2. Aufgabe: Neutrinos: Detektionswahrscheinlichkeit (9 Punkte)

Berechnen Sie die minimale Wassermenge, die benötigt wird, um mindestens ein solares Neutron pro Tag nachweisen zu können. Nehmen Sie an, dass die Nachweisschwelle von  $E_\nu \approx 10 \text{ MeV}$  den beobachtbaren Neutrinofluss um den Faktor  $10^4$  senkt. Der Wirkungsquerschnitt  $\sigma_{\nu e}$  beträgt etwa  $10^{-45} \frac{E_\nu}{\text{MeV}} \text{ cm}^2$ .

## 3. Aufgabe: Neutrinos: Oszillation (5 Punkte)

- (a) Die Wahrscheinlichkeit der Oszillation von  $\nu_e$  nach  $\nu_\tau$  ist

$$P(\nu_e \rightarrow \nu_\tau) = \sin^2(2\theta_{13}) \sin^2 \left( 1.27 (\text{MeV m})^{-1} \Delta m_{13} \frac{L}{E} \right)$$

Erklären Sie die Parameter.

- (b) Im Daya Bay Experiment soll der Winkel  $\theta_{13}$  mit Hilfe von Antineutrinos mit einer Energie von  $4 \text{ MeV}$  bestimmt werden. Berechnen Sie die Entfernung, bei der das erste Maximum der Oszillationswahrscheinlichkeit auftritt, unter Verwendung von  $\Delta m_{13} = 2.5 \cdot 10^{-3} \text{ eV}^2$

**4. Aufgabe:** Neutrinos: Abschätzung der Masse (14 Punkte)

- (a) Von der Supernova 1987A (Entfernung  $1.7 \cdot 10^5$  Lichtjahre zur Erde) kamen Neutrinos in zwei Gruppen an. Teilchen der ersten Gruppe wiesen eine Energie von 35 MeV und Teilchen der zweiten Gruppe wiesen eine Energie von 13 MeV auf, wobei die zweite Gruppe 9 s nach der ersten die Erde erreicht hat. Nehmen Sie an, dass alle Neutrinos gleichzeitig produziert wurden und alle die gleiche Masse aufwiesen. Berechnen Sie hieraus einen Wert für die Neutrinomasse.

Hinweis: Verwenden Sie die Beziehung zwischen relativistischer Geschwindigkeit, Impuls und Energie, um die Zeitdifferenz mit der Masse in Beziehung zu setzen und nutzen sie die Näherung die sich im Falle von  $x \ll 1$  aus der Reihenentwicklung für  $(1 - x)^{-\frac{1}{2}}$  ergibt.

- (b) In einem Experiment mit einem Kernreaktor als Quelle von Elektron/Antineutrinos ist die beobachtete Rate der Reaktion in einem 250 m vom Reaktorkern entfernt platzierten Detektor  $95\% \pm 10\%$  der erwarteten Rate. Berechnen Sie unter der Annahme maximaler Mischung und einer Antineutrino-Energie von 5 MeV eine Grenze für die Neutrinomassendifferenz.

**5. Aufgabe:** Nachweis eines  $\mu$ -Zerfalls (7 Punkte)

Mit Neutrinooszillation sind die individuellen Leptonfamilienzahlen  $L_e$ ,  $L_\mu$  und  $L_\tau$  nicht mehr erhalten, so dass der Zerfall  $\mu^- \rightarrow \gamma + e^-$  (dessen Nichtbeobachtung überhaupt erst dazu führte diese Erhaltungsgrößen einzuführen) im Prinzip doch möglich ist.

- (a) Zeichnen Sie ein möglichst einfaches Feynman-Diagramm für diesen Prozess. Stellen Sie die Neutrino-Oszillation durch einen Knubbel auf der entsprechenden Fermion-Propagatorlinie dar.
- (b) Bei diesem Prozess wird die Energieerhaltung für die Erzeugung des  $W$ -Bosons kurzzeitig verletzt, innerhalb welcher Zeit muss der Prozess also statt finden? Wie weit kann sich ein Neutrino innerhalb dieser Zeit bewegen? Gegeben, dass die Neutrinooszillation auf der Größenordnung von km statt findet, ist zu erwarten, dass man den Prozess  $\mu^- \rightarrow \gamma + e^-$  beobachtet?