
Übung zur Kern- Teilchen- und Astrophysik II
Prof. Dr. S. Schönert, Prof. Dr. W. Hollik
Sommersemester 2012/13

Blatt Nr. 7

31. Mai 2013

Aufgabe 1 K^0 - \bar{K}^0 -Oszillationen

- a. Wie kann man experimentell einen reinen (nicht durch \bar{K}^0 verunreinigten), monoenergetischen Strahl von K^0 -Teilchen erzeugen?
- b. Beschreiben Sie die freie Propagation der K^0 im Vakuum mit Hilfe von K_1 und K_2 , den Eigenzuständen von \mathcal{CP} .
- c. Berechnen Sie die Intensität der K^0 und \bar{K}^0 als Funktion der Eigenzeit. Setzen Sie dabei Δm , den Massenunterschied zwischen K_1 und K_2 , einmal i) $\Delta m = \frac{\hbar}{2\tau_1}$, und einmal ii) $\Delta m = \frac{2\hbar}{\tau_1}$. Dabei beschreibt $\tau_1 = 0.9 \times 10^{-10}$ s die Lebensdauer von K_1 .
- d. Stellen Sie die Phänomene graphisch dar.

Aufgabe 2 Neutronen-Mixing

Neutron n und Antineutron \bar{n} sind genauso neutrale Teilchen wie K^0 und \bar{K}^0 . Wieso macht es keinen Sinn Linearkombinationen aus n_1 und n_2 einzuführen, wie bei K_1^0 und K_2^0 ?

Aufgabe 3 Elektrisches Dipolmoment des Neutrons

- a. Zeigen Sie, daß das elektrische Dipolmoment (EDM) des Neutrons d_n , falls es existiert, parallel oder antiparallel zur Spinrichtung des Neutrons sein muß. Welche Symmetrien würde die Existenz eines EDM verletzen?
- b. Versuchen Sie, aus Dimensionsüberlegungen eine obere Grenze für das EDM des Neutrons abzuschätzen.
- c. Zur Messung des EDM werden Neutronen in ein kombiniertes elektrisches und magnetisches Feld gebracht. Wie groß ist die Aufspaltung der Spinzustände $m = -1/2$ und $m = +1/2$ für den Fall, daß das Neutron kein EDM besitzt, wie groß für den Fall eines nichtverschwindenden EDM?
- d. Schlagen Sie ein Meßprinzip vor, auf dessen Basis ein Experiment mit ultrakalten Neutronen zur Messung des EDM des Neutrons durchgeführt werden könnte.

Aufgabe 4 β -Zerfall

- a. In der Vorlesung wurde der β -Zerfall unter der Annahme behandelt, dass $m_\nu = 0$. Berechnen Sie nun ausgehend von Fermis Goldener Regel das Energiespektrum $N(E_e)dE_e$ der Elektronen bei nichtverschwindender Neutrinomasse. Wie verändert sich das β -Spektrum in der Kurie-Darstellung im Vergleich zum Fall $m_\nu = 0$?

-
- b. Die in einem Zerfallsexperiment bestimmte beste Grenze für die Neutrinomasse stammt aus dem Mainz-Experiment mit $m_e < 2.3$ eV. Hierfür wurde der Zerfall von Tritium untersucht:



Weshalb wurde Tritium gewählt? Wie hängt der Endpunkt des β -Spektrums von der Neutrinomasse ab? Überlegen Sie sich, wo experimentelle Schwierigkeiten liegen.

- c. Zeigen Sie, dass in der hochrelativistischen Näherung die sogenannte Sargent-Regel gilt, die besagt, dass die Lebensdauer τ umgekehrt proportional zu E_0^5 ist. Hierbei ist E_0 der Q-Wert der Reaktion.

Aufgabe 5 : Supernova 1987a

Am 23. Februar 1987 wurde die Explosion des Sterns Sanduleak-69 202 (Entfernung $1.8 \cdot 10^5$ Lichtjahre) beobachtet. Dabei wurden in einigen Neutrinodetektoren Elektron-Antineutrinos nachgewiesen. Das Kamiokande-Experiment registrierte 11 Ereignisse mit Energien zwischen 8.8 MeV und 36.7 MeV innerhalb eines Zeitintervalls von 12.4 s. Daraus lässt sich ein zeitintegrierter $\bar{\nu}_e$ -Fluss $F_{\bar{\nu}_e} \simeq 10^{10} \text{ cm}^{-2}$ am Ort der Erde abschätzen.

- a. Geben Sie die beim Gravitationskollaps insgesamt in Form von Neutrinos freigesetzte Energie an, wenn die mittlere Neutrinoenergie etwa 10 MeV beträgt. Nehmen Sie dabei an, dass die Neutrinos isotrop abgestrahlt wurden, und Neutrinos und Antineutrinos aller 3 Flavours gleich häufig produziert werden. (Wie lässt sich diese Annahme begründen?)
- b. Welche Masse muss (von $R \simeq \infty$ kommend) auf Kerndichte $\rho = 10^{15} \text{ g/cm}^3$ zusammenstürzen, damit diese Energie in Form von Gravitationsenergie frei wird?
- c. Aus der Dauer des Neutrinosignals konnte damals eine Massengrenze für Neutrinos abgeleitet werden. Wie groß ist m_ν unter der Annahme, dass die Neutrinos alle gleichzeitig emittiert wurden? Welche Aussage kann man über m_ν machen, wenn die Emission während eines Zeitintervalls von 15 s erfolgt ist?