
Übung zur Kern- Teilchen- und Astrophysik II
Prof. Dr. S. Schönert, Prof. Dr. W. Hollik
Sommersemester 2011/12

Blatt Nr. 6

24. Mai 2012

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

- Wie kann man experimentell einen reinen (nicht durch \bar{K}^0 verunreinigten), monoenergetischen Strahl von K^0 -Teilchen erzeugen?
- Beschreiben Sie die freie Propagation der K^0 im Vakuum mit Hilfe von K_1 und K_2 , den Eigenzuständen von \mathcal{CP} .
- 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 .
- Stellen Sie die Phänomene graphisch dar.

Aufgabe 2 Neutronen-Mixing

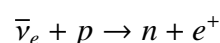
Neutron n und Antineutron \bar{n} sind genauso neutrale Teilchen wie K^0 und \bar{K}^0 . Wieso macht es keinen Sinn Linearkombinationen aus n_1 und n_2 einzuführen, wie bei K_1^0 und K_2^0 ?

Aufgabe 3 Elektrisches Dipolmoment des Neutrons

- 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?
- Versuchen Sie, aus Dimensionsüberlegungen eine obere Grenze für das EDM des Neutrons abzuschätzen.
- 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?
- Schlagen Sie ein Meßprinzip vor, auf dessen Basis ein Experiment mit ultrakalten Neutronen zur Messung des EDM des Neutrons durchgeführt werden könnte.

Aufgabe 4 Inverser β -Zerfall

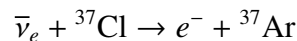
Nach der Postulierung der Neutrinos durch Pauli 1930 aufgrund der Energie- und Impulsbilanz des β -Zerfalls dauerte es noch über 25 Jahre bis das Neutrino auch experimentell nachgewiesen wurde. Frederick Reines und Clyde L. Cowan nutzten den inversen β -Zerfall, um das Antineutrino nachzuweisen (Nature **178**, 446 (1965)):



- a. Berechnen Sie die Energieschwelle für diese Reaktion.
- b. Berechnen Sie den Wirkungsquerschnitt für den inversen β -Zerfall, wobei $|\mathcal{M}_{fi}|^2 \approx 4G_F^2$ (Fermi-Kopplungskonstante $G_F = 1.17 \cdot 10^{-5} \text{ GeV}^{-2}$). Gehen Sie dafür von dem im Wintersemester aus Fermis Goldener Regel hergeleitetem Wirkungsquerschnitt für die Reaktion $a + b \rightarrow c + d$ aus:

$$\sigma = \frac{2\pi}{\hbar} \frac{4\pi}{(2\pi\hbar)^3} \frac{p_f^2}{v_i v_f} |\mathcal{M}_{fi}|^2$$

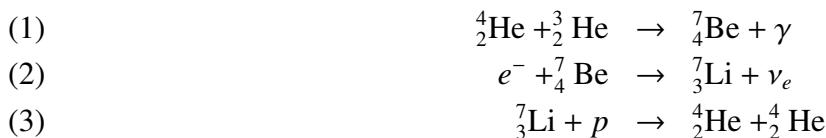
- c. Wie groß ist die mittlere freie Weglänge eines Antineutrinos mit $E \approx 2.8 \text{ MeV}$ in Wasser?
- d. C.L. Cowan und F. Reines nutzten einen Kernreaktor als Antineutrinoquelle mit einem Fluss von $\sim 10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$ am Detektorort. Als Target wurde Cadmiumchlorid (CdCl_2) in wässriger Lösung benutzt, das in einem Behälter zwischen 2 Flüssig-Szintillations-Detektoren mit Photomultipliern eingebettet wurde. Wie ist die Signatur eines Anti-neutrino-Ereignisses?
- e. Warum gelang es Raymond Davis nicht (In einem früheren Reaktor-Experiment) das Antineutrino über die Reaktion



nachzuweisen?

Aufgabe 5 Experimenteller Nachweis solarer Neutrinos

Die pp-II-Kette ist ein Nebenzweig des Proton-Proton-Zyklus, bei dem durch die Verschmelzung von vier Protonen zu einem Helium-Kern in der Sonne Energie erzeugt wird. In der pp-II-Reaktionskette



wird in Reaktion (2) außerdem ein ν_e mit einer festen Energie von $E = 862 \text{ keV}$ erzeugt. Der von Sonnenmodellen vorhergesagte Fluss auf der Erde ist $\Phi_\nu = 3.3 \cdot 10^9 \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$.

- a. Welche Reaktionen eignen sich zum Nachweis von Neutrinos mit Energien im Bereich von einigen MeV? Welche Prozesse erzeugen Teilchen vergleichbarer Energie, die Untergrundsignale für die Detektion darstellen können?
- b. Das im Gran Sasso-Untergundlabor befindliche solare Neutrinoexperiment Borexino weist ${}^7\text{Be}$ -Neutrinos über die elastische Streuung an Elektronen nach. Der Wirkungsquerschnitt für diese Reaktion beträgt $\sigma_{\nu_e e}(E) = 9.2(E/\text{MeV}) \cdot 10^{-45} \text{ cm}^2$ (E in MeV). Als Target dienen 100 t des Flüssigszintillators Pseudocumol (C_9H_{12}). Wie vielen Target-Elektronen entspricht das? Welche Ereignisrate erwartet man?
- c. Berechnen Sie die Rückstoßenergie des Elektrons in Abhängigkeit vom Streuwinkel δ des Neutrinos. Wie groß ist die Maximalenergie der Rückstoßelektronen? Welche Form erwarten sie für das Energiespektrum unter der Annahme, dass alle Streuwinkel gleich wahrscheinlich sind?
- d. Die im Borexino-Experiment bestimmte Ereignisrate der ${}^7\text{Be}$ Neutrinos beträgt $49 \pm 3_{(stat)} \pm 4_{(sys)}$ pro Tag und 100 t. Wie lässt sich das gemessene Defizit gegenüber der in Aufgabe b) berechneten Rate erklären?