

Übungen Teilchenphysik f. Fortgeschr. SS2009, Bonusblatt

Ausgabe Freitag 10.7.09, Abgabe Freitag 17.7.09

1) Neutrinomischung (PMNS Matrix) (3 Punkte):

Durch Beobachtung von Neutrinooszillationen hat man folgende Werte der Neutrinomischungswinkel gemessen: $\theta_{12} = 33^\circ$, $\theta_{23} = 45^\circ$. Für θ_{13} hat man nur eine obere Grenze (ca. 10°). Nehmen Sie an, dass $\theta_{13} = 10^\circ$ und berechnen Sie, wie sich die Massenzustände ν_1, ν_2, ν_3 aus den Flavoreigenzuständen zusammensetzen (in der Form: ν_1 besteht zu x% aus ν_e , zu y% aus ν_μ und zu z% aus ν_τ). Spielt die CP-verletzende Phase δ dabei eine Rolle?

2) Neutrinooszillationen und Neutrinos aus Kernreaktoren (5 Punkte):

In Kernreaktoren werden bei Spaltreaktionen neutronenreiche Kerne erzeugt, die durch β^- -Zerfall zerfallen. Dabei entstehen $\bar{\nu}_e$ mit Energien bis zu 10MeV. Über die Reaktion $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$ können diese Neutrinos nachgewiesen werden. Die mittlere Energie dieser nachweisbaren Neutrinos beträgt 4.5MeV.

a) Im KAMLAND Experiment beobachtet man das Verschwinden von $\bar{\nu}_e$ bei einer Distanz $L_{\text{eff}} = 175\text{km}$ (Zahl der beobachteten $\bar{\nu}_e = 54$, Zahl der erwarteten $\bar{\nu}_e = 87$). Nehmen Sie an, dass $m_2^2 - m_1^2 = 8 \cdot 10^{-5} \text{eV}^2$ (dies weiss man aus Experimenten mit Sonnenneutrinos). Für welche Mischungswinkel $\theta_{12} < 90^\circ$ kann man die Beobachtung erklären?

b) Im CHOOZ Experiment ($L = 1\text{km}$) hat man dagegen beobachtet, dass die gemessene Antineutrino rate innerhalb eines Fehlers von 5% mit der erwarteten Rate übereinstimmt. Welche Grenze ergibt sich für θ_{13} bei $\Delta m_{13}^2 \cong \Delta m_{23}^2 \cong 2.5 \cdot 10^{-3} \text{eV}^2$? Was ergibt sich für θ_{12} ?

c) Um die kleinen Effekte durch θ_{13} zu beschreiben, muss man die Oszillationswahrscheinlichkeit (bzw. die Überlebenswahrscheinlichkeit) in der korrekten 3 Flavor Mischung verwenden. Es ergibt sich:

$$P(\bar{\nu}_e \rightarrow \bar{\nu}_e) \approx 1 - \sin^2 2\theta_{13} \sin^2 \frac{\Delta m_{31}^2 L}{4E_{\bar{\nu}}} - \cos^4 \theta_{13} \sin^2 2\theta_{12} \sin^2 \frac{\Delta m_{21}^2 L}{4E_{\bar{\nu}}}.$$

Stellen Sie P als Funktion von L/E im Bereich 10^{-2} bis 10^2 graphisch dar (L/E auf log. Skala). Verwenden Sie dabei die in Aufgabe 1 angegebenen Werte für die Mischungswinkel. Kennzeichnen Sie den ungefähren Bereich in dem L/E bei CHOOZ und KAMLAND liegt. Welches L/E eignet sich am Besten zur Bestimmung von θ_{13} ?