

1. Übungsblatt zur Vorlesung Experimentelle Elementarteilchenphysik

Abgabe: Montag, 20. April 2009, in der Vorlesung

Aufgabe 1: (4 Punkte)

Rechnen Sie folgende Größen in Einheiten der Energie [eV] um (in natürlichen Einheiten $\hbar = c = 1$):

- i) 200 pb
- ii) 0,03 mg

Aufgabe 2: (12 Punkte)

In der Vorlesung wurde die Rapidität eingeführt als

$$y := \frac{1}{2} \ln \left(\frac{E + p_z c}{E - p_z c} \right) = \tanh^{-1} \frac{p_z c}{E}. \quad (1)$$

- i) Zeigen Sie, dass die Verteilung dN/dy lorentzinvariant ist (N Teilchenanzahl)!
Leiten Sie dazu zunächst her, wie sich y von einem System \mathcal{S} in ein System \mathcal{S}' , das sich mit der Geschwindigkeit $(0,0,\beta)$, $\beta = \frac{v}{c}$, relativ zu \mathcal{S} bewegt, transformiert.
- ii) Wie kommt man (für $pc \gg mc^2$) von der Rapidität y auf die Pseudorapidität η ?

$$\eta := -\ln \left(\tan \frac{\theta}{2} \right), \quad (2)$$

wobei θ der Winkel zwischen Flugbahn und Strahlrichtung (z) ist.

Aufgabe 3: (20 Punkte)

Mit dem Experiment von Cowan und Reines (1959) konnte die Wechselwirkung freier Antineutrinos nachgewiesen werden. Die von einem Kernreaktor kommenden Antineutrinos trafen auf ein Target aus H_2O und CdCl_2 , in welchem sie den zum normalen β -Zerfall inversen Vorgang $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$ auslösten.

Das in dieser Reaktion entstandene Positron wird durch Ionisationsverluste abgebremst und bildet Positronium (e^+e^-), welches in 2 Photonen einer Energie von je 511 keV zerfällt, die in einem Flüssigkeitsszintillator nachgewiesen werden. Der ganze Prozess läuft innerhalb von 10^{-9} s ab.

Das in der Reaktion entstandene Neutron wird im Wasser durch elastische Stöße an Protonen moderiert und dann von einem Cadmiumkern eingefangen. Dabei entsteht eine Kaskade von Photonen mit einer Gesamtenergie von 9,1 MeV, welche ebenso im Flüssigkeitsszintillator nachgewiesen werden.

Im folgenden sollen einige Abschätzungen zur Durchführung des Experiments gemacht werden.

- i) Welche Energie müssen die Antineutrinos mindestens haben, um die Reaktion $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$ auslösen zu können?
- ii) Welche Zeit ist zum Thermalisieren von Neutronen in H_2O erforderlich, wenn ihre mittlere kinetische Energie 1 MeV beträgt und ein Neutron im Mittel 50 % seiner Energie bei einem Stoß verliert? Der Wirkungsquerschnitt für einen elastischen Proton-Neutron-Stoß beträgt 20 mb.
- iii) Wie groß war die Konzentration von CdCl_2 , wenn der Zeitunterschied zwischen dem Nachweis des Positrons und des Neutrons $10 \mu\text{s}$ betrug? Der Wirkungsquerschnitt für den Einfang thermischer Neutronen durch Cadmium beträgt 3300 b.
- iv) Der Antineutrinofluß betrug etwa $10^{13} \text{ cm}^{-2}\text{s}^{-1}$, und das Nachweisvolumen war 7,6 cm tief, 1,5 m breit und 2 m hoch. Wie groß war die zu erwartende Reaktionsrate bei einem Wirkungsquerschnitt von 10^{-7} pb für die Reaktion $\bar{\nu}_e + p \rightarrow n + e^+$?
- v) Diskutieren Sie mögliche Untergrundquellen und die experimentellen Möglichkeiten, sie zu erkennen.