Übungen Moderne Experimentalphysik III (Kerne und Teilchen)

Sommersemester 2011

Übungsblatt Nr. 5

Bearbeitung bis 19.05.2011

Aufgabe 1: Phasenraum beim β-Zerfall (2 Punkte)

Das Impulsspektrum der Elektronen bzw. Positronen aus dem β-Zerfall ist durch Fermis goldene Regel gegeben:

$$N(p_e)dp_e = \frac{2\pi}{\hbar} \cdot |M_{fi}|^2 \cdot \frac{dn_e \cdot dn_\nu}{dE}$$

Dabei ist p_e der Impuls der Elektronen bzw. Positronen, M_{fi} das Übergangsmatrixelement und $dn_e dn_\nu/dE$ die Dichte der Endzustände im Phasenraumintervall dE. Da das Matrixelement nur schwach von der Energie abhängt ist das Impulsspektrum im Wesentlichen durch den Phasenraumfaktor gegeben. Berechnen Sie den Phasenraumfaktor als Funktion des Impulses bzw. der Energie des Elektrons/Positrons für masselose und für massive Neutrinos. Vernachlässigen Sie dabei die Rückstoßenergie des Tochterkerns.

Wie kann man aus der Messung des Impulsspektrums der Elektronen bzw. Positronen etwas über die Masse der (Anti-)Neutrinos lernen?

Aufgabe 2: HERA-Kinematik (5 Punkte)

Am HERA-Speichering wurden Elektronen mit einer Energie von 27.5 GeV und Protonen mit einer Energie von 920 GeV frontal kollidiert. Der Viererimpuls des einlaufenden Elektrons sei $\mathbf{k}$, der des einlaufenden Protons $\mathbf{P}$ und der des gestreuten Elektrons $\mathbf{k}'$. Der Viererimpulsübertrag zwischen Elektron und Proton sei $\mathbf{q}$. Die Massen der Teilchen sollen im Folgenden vernachlässigt werden.

a) Um die Kinematik von ep-Streuereignissen zu bestimmen, werden die Energie E'_e und der Winkel θ des gestreuten Elektrons zur Protonstrahlrichtung (nicht zur Elektronstrahlrichtung!) gemessen. Bestimmen Sie aus diesen beiden Größen und der Energie des einlaufenden Elektrons E_e die Virtualität $Q^2 = -\mathbf{q}^2$ und die Inelastizität $y = \frac{\mathbf{P}\cdot\mathbf{q}}{\mathbf{P}\cdot\mathbf{k}}$. Welche anschauliche Bedeutung hat die Inelastizität y?

b) Drücken Sie W^2 und die Bjorkensche Skalenvariable x durch Q^2, y und das Quadrat der Schwerpunktsenergie s aus.

c) Welche Anforderungen ergeben sich für einen Detektor, mit dem man Q^2 und y anhand des gestreuten Elektrons messen will?

d) Nicht bei allen Reaktionen wird ein Elektron nachgewiesen. Welche Ursachen kann das haben?

e) Welche alternative Möglichkeit, die Kinematik zu bestimmen, hat man für den Fall, dass kein Elektron detektiert wird? Bestimmen Sie dafür eine Formel, mit der sich y berechnen lässt.

Aufgabe 3: Bjorken-x und Partonimpulsanteil (1 Punkt)

Näherungsweise gibt die Bjorkensche Skalenvariable x den Anteil des Partons am Nukleonimpuls an. Zeigen Sie, dass der Impulsanteil ξ des gestreuten Partons bei Berücksichtigung der Nukleonmasse M und der Partonmasse m gegeben ist durch ($c = 1$):

$$\xi = x\left(1 + \frac{m^2 - M^2x^2}{Q^2}\right)$$

Verwenden Sie dabei die Näherung $\sqrt{1+\epsilon(1+\epsilon')} \approx 1 + \frac{\epsilon}{2}\left(1 + \epsilon' - \frac{\epsilon}{4}\right)$ für kleine ϵ und ϵ'. Wann gilt diese Näherung?