Übungen Moderne Experimentalphysik III (Kerne und Teilchen)

Sommersemester 2011

Übungsblatt Nr. 6 Bearbeitung bis 26.05.2011

Aufgabe 1: Strukturfunktion (2 Punkte)

Skizzieren Sie die Strukturfunktion des Protons $F_2(x)$ für ein festes Q^2 unter der Annahme, dass das Proton

a) ein einziges elementares Teilchen ist

b) aus drei nicht wechselwirkenden Valenzquarks besteht

c) aus drei wechselwirkended Valenzquarks besteht

d) aus Valenz- und Seequarks sowie Gluonen besteht.

Zeichnen Sie zu jedem der vier Fälle ein Feynmandiagramm der ep-Streuung.

Aufgabe 2: Breit-Wigner-Resonanz (2 Punkte)

Die neutralen Vektormesonen (ρ^0, ω, ϕ, J/ψ, Υ) lassen sich in e^+e^--Speicherringen bei entsprechend gewählter Strahlenergie direkt erzeugen. Die Vektormesonen zerfallen dann wieder in Leptonen oder Hadronen. Für den Wirkungsquerschnitt gilt die relativistische Breit-Wigner-Formel:

$$\sigma(e^+e^- \to VM \to f) = \frac{\pi(2J+1)}{W^2} \cdot \frac{4m^2\Gamma_{ee}\Gamma_f}{(W^2-m^2)^2 + m^2\Gamma^2}$$

Dabei ist VM das Vektormeson, f der Endzustand (z.B. e^+e^- oder Hadronen), W die Schwerpunktsenergie, m die Masse und J der Spin des Vektormesons, Γ_f die partielle Breite für den Endzustand f und Γ die totale Breite.

Für die J/ψ-Resonanz ist die totale Breite $\Gamma = \Gamma_{had} + \Gamma_{ee} + \Gamma_{\mu\mu}$ wesentlich kleiner als die experimentelle Auflösung aufgrund der Energieunschärfe der Elektron- bzw. Positron-Strahlen. Die totale und die partiellen Breiten lassen sich trotzdem bestimmen, indem man die gemessenen Wirkungsquerschnitte über den Resonanzbereich integriert:

$$\Sigma_f := \int \sigma(e^+e^- \to VM \to f)\, dW$$

Zeigen Sie zunächst, dass man in der Nähe der Resonanz ($W \approx m$) folgende Näherung machen kann

$$\sigma(e^+e^- \to VM \to f) \approx \frac{\pi(2J+1)\Gamma_{ee}\Gamma_f}{m^2[(W-m)^2 + \Gamma^2/4]}$$

Berechnen Sie damit Σ_f, Σ_{ee} und $\Sigma_{tot} = (\Sigma_{had} + \Sigma_{ee} + \Sigma_{\mu\mu})$ und dann daraus Γ_{ee}, Γ und Γ_f.

Aufgabe 3: Neutrino-Streuprozesse (1 Punkt)

Geben Sie die Feynmandiagramme (führender Ordnung) für folgende Reaktionen an, bzw. begründen Sie, falls eine der Reaktionen nicht möglich ist

a) $\nu_e + e^- \to \nu_e + e^-$

b) $\nu_\mu + e^- \to \nu_\mu + e^-$

c) $\bar{\nu}_e + e^- \to \bar{\nu}_\mu + e^-$

d) $\nu_e + e^- \to \nu_\mu + \mu^-$

e) $\nu_\mu + e^- \to \nu_e + \mu^-$

Aufgabe 4: Kaon-Zerfall und Goldene Regel (2 Punkte)

Im Povh, Kapitel 10, Aufgabe 4 wird das Verhältnis der partiellen Zerfallsbreiten des geladenen Pions in ein Elektron bzw. ein Muon und ein Neutrino berechnet. Ermitteln Sie auf analoge Weise das Verhältnis

$$\frac{\Gamma(K^+ \to e^+\nu_e)}{\Gamma(K^+ \to \mu^+\nu_\mu)}$$

Verwenden Sie dabei Fermis Goldene Regel: $\Gamma(K^+ \to l^+\nu_l) \propto |M_{Kl}|^2\rho(E_0)$.

Berechnen Sie als Funktionen der Kaonmasse $m_K = 493.6\ \mathrm{MeV/c^2}$ und der Leptonmass m_l

- den Impuls und die Energie des geladenen Leptons
- das Verhältnis der Matrixelementsquadrate unter Verwendung der Beziehung $|M_{Kl}|^2 \propto 1 - v/c$
- das Verhältnis der Zustandsdichten $\rho_e(E_0)/\rho_\mu(E_0)$
- das Verhältnis der partiellen Zerfallsbreiten.

Vergleichen Sie das Verhältnis mit den experimentell gemessenen Verzweigungsverhältnissen von $\mathcal{B}(K^+ \to e^+\nu_e) = \Gamma(K^+ \to e^+\nu_e)/\Gamma = (1.55 \pm 0.07) \cdot 10^{-5}$ und $\mathcal{B}(K^+ \to \mu^+\nu_\mu) = (63.43 \pm 0.17)\,\%$.