Übungen zur Modernen Experimentalphysik III
Kerne und Teilchen
Sommersemester 2012
www.auger.de/~rulrich/lehre/kerneteilchen2012

Prof. J. Blümer
Dr. R. Ulrich (ralf.ulrich@kit.edu)

Ausgabe ab:	Mittwoch, 30. Mai
Abgabe bis:	**Montag, 11. Juni**
Besprechung:	Donnerstag, 14. Juni

Übungsblatt 6

Aufgabe 1

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:

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

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 $\Gamma = \Gamma_{\mathrm{had}} + \Gamma_{\mathrm{ee}} + \Gamma_{\mu\mu}$ 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:

$$\Sigma_{\mathrm{f}} := \int \sigma(e^+e^- \to VM \to f)\,dW$$

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

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

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

Aufgabe 2

2 Punkte

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

1. ein einziges elementares Teilchen ist
2. aus drei nicht wechselwirkenden Valenzquarks besteht
3. aus drei wechselwirkended Valenzquarks besteht
4. aus Valenz- und Seequarks sowie Gluonen besteht.

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

Aufgabe 3

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.

1. 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?
2. Drücken Sie W^2 und die Bjorkensche Skalenvariable x durch Q^2, y und das Quadrat der Schwerpunktsenergie s aus.
3. Welche Anforderungen ergeben sich für einen Detektor, mit dem man Q^2 und y anhand des gestreuten Elektrons messen will?
4. Nicht bei allen Reaktionen wird ein Elektron nachgewiesen. Welche Ursachen kann das haben?
5. 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 4

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?