

Übung 12 zur Vorlesung Physik V

Aufgabe 1: Tiefinelastische Streuung (DIS)

Am HERA-Beschleuniger wurde die tiefinelastische Streuung von Elektronen an Protonen untersucht. Dabei kollidieren Elektronen mit einer Energie von 27.5 GeV frontal mit Protonen von 920 GeV. Der Viererimpuls des einlaufenden Elektrons sei k , der des einlaufenden Protons P und der des gestreuten Elektrons k' . Der Viererimpulsübertrag zwischen Elektron und Proton sei q . Vernachlässigen sie die Massen des Elektrons, Protons und Quarks.

- a) Zeichnen Sie die Feynman-Diagramme für die tiefinelastische Streuung. 1
- b) Um die Kinematik von ep -Ereignissen zu bestimmen, werden die Energie E'_e und der Winkel θ des gestreuten Elektrons zur Protonstrahlrichtung gemessen. Bestimmen Sie aus diesen beiden Größen die Virtualität Q^2 des ausgetauschten Bosons und den Impulsanteil x des einlaufenden Quarks relativ zum Impuls des einlaufenden Protons. Was ergibt sich für $E'_e = 60 \text{ GeV}$ und $\theta = 135^\circ$? 2
- c) Berechnen Sie die totale invariante Masse aller Hadronen. 2
- d) Nicht bei allen Reaktionen wird ein Elektron nachgewiesen. Welche alternative Möglichkeit, die Kinematik zu bestimmen, hat man für diesen Fall? 2
- e) Welches ist der maximale Wert für den Viererimpulsübertrag Q^2 bei HERA? Welcher räumlichen Auflösung des Protons entspricht dieses Wert? 1

Aufgabe 2: Jets und Pseudorapidität

Am LHC werden Jets rekonstruiert, indem alle Teilchen innerhalb eines Rings in der $\eta - \phi$ -Ebene aufsummiert werden. Hier ist ϕ der Azimuth. Die Pseudorapidität η wird für masselose Teilchen definiert durch

$$E - p_z = p_T \cdot e^{-\eta}$$

. Die analoge Größe für Teilchen mit Masse nennt man Rapidität y .

- a) Zeigen Sie, dass $\eta = -\ln[\tan(\theta/2)]$ mit dem Polarwinkel θ . 3
- b) Zeigen Sie, dass Differenzen von Rapiditäten invariant unter Lorentz-Transformationen entlang der z -Achse sind. Warum ist das wichtig? 3

Aufgabe 3: Gluon und Quark Farben

- a) Zeichnen Sie den Verlauf der Farben für die folgenden Prozesse: $g \rightarrow q\bar{q}$, $qq' \rightarrow qq'$, $gq \rightarrow gq$, $g \rightarrow gg$ und $gg \rightarrow gg$. Eine mögliche Farbkombination ist ausreichend. **1**
- b) Erklären Sie warum keine 3-er oder 4-er Vertex für Quarks möglich ist. **1**
- c) In der SU(3) ist die Farbwellenfunktion eines Protons

$$\Psi_{\text{Singlet}} = \frac{1}{\sqrt{6}}(rgb - rbg + brg - bgr + gbr - brg)$$

Zeigen Sie mit Hilfe der SU(3) Operatoren $T_{\pm} = 1/2(\lambda_1 \pm i\lambda_2)$, $V_{\pm} = 1/2(\lambda_4 \pm i\lambda_5)$ und $T_{\pm} = 1/2(\lambda_6 \pm i\lambda_7)$, dass das Proton ein Farbe-Singlet ("farbloss") ist. Die λ_i sind die Gell-Mann Matrizen. **4**