

## 7. Übungsblatt zur Vorlesung Experimentelle Elementarteilchenphysik

**Abgabe:** Montag, 13. Juli 2009, in der Vorlesung

**Aufgabe 19:** (10 Punkte)

Tiefinelastische Streuung findet typischerweise bei Impulsüberträgen von  $Q^2 > 0,5 \text{ GeV}^2$  statt. Bei HERA wurde  $ep$ -Streuung mit Strahlenergien von  $E_e = 27,5 \text{ GeV}$  und  $E_p = 920 \text{ GeV}$  durchgeführt. Der maximale Streuwinkel des Elektrons im Laborsystem beim HERA-Experiment H1 war  $\theta_{\max} \approx 175^\circ$ . NMC war ein Fixed-Target-Experiment am CERN, das einen Myonenstrahl mit  $E_\mu = 280 \text{ GeV}$  benutzt hat. Dort konnten Ereignisse mit  $\nu > 10 \text{ GeV}$  und Energien des gestreuten Myons größer als  $40 \text{ GeV}$  rekonstruiert werden.

- i) Drücken Sie die in der tiefinelastischen Streuung eingeführten Variablen  $\nu$  und  $y$  im Ruhesystem des Nukleons aus. Was bedeuten  $\nu$  und  $y$  in diesem Bezugssystem anschaulich?
- ii) Welchen Wertebereich haben die Bjorken-Variablen  $x_{\text{Bj}}$  und  $y$ ? Begründen Sie Ihre Antwort. Drücken sie  $y$  durch den Streuwinkel des Elektrons im Laborsystem aus. Nähern Sie das Laborsystem bei HERA durch ein Bezugssystem, in dem das Proton sich mit unendlichem Impuls bewegt.
- iii) Zeigen Sie  $s = Q^2/(xy)$ . Welche Näherungen gehen in diesen Zusammenhang ein?
- iv) Skizzieren Sie in der Ebene, die von  $x_{\text{Bj}}$  und  $Q^2$  aufgespannt wird, den erlaubten kinematischen Bereich des H1-Experiments und des NMC-Experiments. Benutzen Sie logarithmische Skalen auf beiden Achsen.

**Aufgabe 20:** (6 Punkte)

Im naiven Partonmodell ist die Strukturfunktion  $F_2(x)$  gegeben durch

$$F_2(x) = \sum_i q_i^2 x f_i(x)$$

mit den Partonverteilungen  $f_i(x)$ , wobei  $q_i$  die Ladung und  $x$  der Impulsanteil des Quarks  $i$  im Nukleon ist.

- i) Notieren Sie  $F_2(x)$  für Protonen unter der Annahme, dass  $u$ -,  $d$ -,  $s$ - und  $c$ -Quarks und deren Antiquarks zur Protonstruktur beitragen. Separieren Sie in einem zweiten Schritt Valenz- und Seequarks.
- ii) Wie kann man in Experimenten der tiefinelastischen Streuung Valenz- und Seequarks unterscheiden? Wie kann man die Gluondichte im Proton messen?
- iii) Interpretieren Sie folgende Summenregeln für die Strukturfunktionen:

$$\int_0^1 dx (f_u(x) - f_{\bar{u}}(x)) = 2, \quad \int_0^1 dx (f_d(x) - f_{\bar{d}}(x)) = 1, \quad \int_0^1 dx x \sum_i f_i(x) \approx 0.5.$$

**Aufgabe 21:**

(9 Punkte)

Bei der Suche nach dem Higgs-Boson wird bei LEP und am Tevatron u. a. die modifizierte frequentistische Methode angewendet, um Ausschlussgrenzen für die Higgsproduktion zu bestimmen. Das zugehörige Vertrauensniveau (CL, confidence level) wird bestimmt zu

$$\text{CL} = 1 - \frac{\text{CL}_{s+b}}{\text{CL}_b} \quad \text{mit} \quad \text{CL}_x := \sum_{k \leq N_{\text{obs}}} \frac{(N_x)^k e^{-N_x}}{k!},$$

wobei  $N_{\text{obs}}$  die Zahl der beobachteten Ereignisse,  $N_s$  die Zahl der erwarteten Signalereignisse mit Higgs-Boson und  $N_b$  die Zahl der erwarteten Untergrundereignisse aus anderen Prozessen darstellt. Ausschlussgrenzen werden üblicherweise mit 95% CL angegeben.

- i) Die Wahrscheinlichkeit  $p$ , ein Signalereignis zu finden, ist aus Simulationsrechnungen bekannt. Begründen Sie, warum die Wahrscheinlichkeit, in  $N$  Ereignissen  $k$  Signalereignisse zu finden, dann gegeben ist durch

$$P(k) = \binom{N}{k} p^k (1-p)^{N-k}.$$

- ii) Nehmen Sie an, dass Signalereignisse sehr selten sind, d. h.  $n := p \cdot N \ll N$ . Zeigen Sie, dass obige Wahrscheinlichkeit  $P(k)$  im Limit  $N \rightarrow \infty$  mit festem  $n$  übergeht in

$$P_n(k) = \frac{n^k e^{-n}}{k!}.$$

Vergleichen Sie diese Formel mit der Definition von  $\text{CL}_x$ .

- iii) Im März 2009 haben die Tevatron-Experimente Higgs-Massen zwischen 160 GeV und 170 GeV mit 95% CL ausgeschlossen. Welche Produktions- und Zerfallskanäle des Higgs-Bosons sind in diesem Massenbereich besonders interessant? Welche experimentelle Signatur besitzen sie, und welche Untergründe werden erwartet?
- iv) Nehmen Sie vereinfachend an, dass die Tevatron-Messung ein Zählexperiment ist und dass systematische Unsicherheiten vernachlässigt werden können. Für eine Higgs-Masse von 165 GeV wurden  $N_{\text{obs}} = 26$  Ereignisse mit einem Signal-zu-Untergrund-Verhältnis von 1 : 3 oder besser beobachtet. Erwartet wurden  $N_s = 10$  Signal- und  $N_b = 29$  Untergrundereignisse. Bestimmen Sie das Vertrauensniveau, mit dem das Higgs-Boson so ausgeschlossen wird.