

Übungen zu Experimentalphysik V WS 2014/2015

Prof. Dr. Karl Jakobs, Dr. Karsten Köneke

Übungsblatt Nr. 13

Die Lösungen müssen bis 10:10 Uhr am Dienstag den 3.2.2015 in den Briefkasten 1 im Erdgeschoss des Gustav-Mie-Hauses eingeworfen werden!

Bitte geben sie die Übungsgruppennummer auf Ihren Lösungen an.

1. Parität

- a) Die Reaktion

$$\pi^- + d \rightarrow n + n$$

wurde experimentell beobachtet. Die Parität ist bei diesem Prozeß erhalten. Zeigen Sie, dass dann das Pion negative Eigenparität haben muss. Benutzen Sie, dass der relative Bahndrehimpuls von Pion und Deuteron verschwindet und der Spin des Pions $s(\pi)=0$, der des Deuterons $s(d)=1$ ist. Die Eigenparität der Quarks ist konventionsgemäß positiv. [2 Punkte]

- b) Das $f_0(975)$ -Meson ist eine breite Resonanz mit den Quantenzahlen $J^{PC} = 0^{++}$ (skalares Meson). Zeigen Sie, dass der Zerfall in drei Pionen wegen Paritätserhaltung verboten ist. [1 Punkt]

2. Proton-Antiproton-Kollisionen

Im folgenden soll die Streuung von Protonen and Antiprotonen im Prozess $p\bar{p} \rightarrow \mu^+\mu^-$ näher untersucht werden. Vereinfachend soll nur die Streuung der Valenzquarks im Subprozess $u\bar{u} \rightarrow \mu^+\mu^-$ betrachtet werden.

- a) Bestimmen Sie zunächst den totalen Wirkungsquerschnitt $\hat{\sigma}$ der Quark-Quark-Streuung $u\bar{u} \rightarrow \mu^+\mu^-$ in Abhängigkeit von $\hat{s} = x_1x_2s$, wobei x_1 und x_2 die Impulsbruchteile der Quarks im Proton bzw. Antiproton sind. Gehen Sie hierbei vom bekannten Wirkungsquerschnitt für $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ aus ($\sigma_{\text{tot}}(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-) = \frac{4\pi}{3} \cdot \frac{\alpha^2}{s}$). Achten Sie auf hierbei darauf, das die Ladungen von Myonen und Up-Quarks unterschiedlich sind. [1 Punkt]
- b) Die Parton-Dichte-Funktion der u -Quarks im Proton bzw. \bar{u} -Quarks im Anti-Proton soll näherungsweise durch die Funktion

$$f(x) = 42x(1-x)^5$$

beschrieben werden. Stellen Sie $f(x)$ graphisch dar. [1 Punkt]

- c) Verwenden Sie Ihre Ergebnisse aus den Aufgabenteilen a) und b), um den totalen Wirkungsquerschnitt für $u\bar{u} \rightarrow \mu^+\mu^-$ in Proton-Antiproton-Streuungen zu berechnen. Welcher Wert ergibt sich für Protonen und Antiprotonen mit Energien von jeweils 4 TeV? [1 Punkt]
- d) Berechnen Sie den mittleren Wert von \hat{s} und die mittlere Energie der u -Quarks im Proton. Welche Werte erhalten Sie für Protonenergien von 4 TeV? [1 Punkt]

3. Entdeckung schwerer Elementarteilchen an Hadronkollidern

Um W -Bosonen in der Kollision von Protonen und Antiprotonen bei einer Schwerpunktsenergie von \sqrt{s} erzeugen zu können, müssen die Partonen von p und \bar{p} , welche das W erzeugen, eine Schwerpunktsenergie $\sqrt{\hat{s}}$ von mindestens der W -Boson-Masse M_W haben.

- a) Am Sp \bar{p} S, welcher 1981 am CERN in Betrieb ging, konnten in der $p\bar{p}$ -Kollision Schwerpunktsenergien von 630 GeV erreicht werden, wohingegen am TeVatron, welches am Fermilab 2001 seine finale Schwerpunktsenergie erreichte, 1960 GeV möglich waren. Geben Sie den Zusammenhang von \sqrt{s} und $\sqrt{\hat{s}}$ an. Berechnen Sie x für $\sqrt{\hat{s}} = 630$ GeV und $\sqrt{s} = 1960$ GeV. Nehmen Sie dabei an, daß $x_1 = x_2$ ist. Die W -Boson-Masse beträgt $M_W = 80,4$ GeV. [1 Punkt]
- b) Das Top-Quark hat eine Masse von 173 GeV. Begründen Sie, warum es am Sp \bar{p} S nicht möglich war, das top-Quark in $p\bar{p} \rightarrow t\bar{t}$ Reaktionen zu entdecken. Es wurde schließlich 1995 am TeVatron entdeckt. [1 Punkt]

4. Bjorken- x

- a) Die Bjorken-Skalierungsvariable $x = \frac{Q^2}{2M\nu}$ kann als Anteil f eines Quarks vom Viererimpuls des Protons interpretiert werden. Dies gilt für den Fall, dass der Impuls des Quarks so groß ist, dass die Protonmasse M und die Quarkmasse m vernachlässigt werden können. Falls man diese nicht vernachlässigt, zeigen Sie, dass

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

Sie können hierfür annehmen, dass $Q^2 \gg M^2 x^2$ oder x^2 ist. Nutzen Sie die Erhaltung des quadrierten Viererimpuls. [2 Punkte]

- b) Nehmen Sie an, dass die Impulsverteilung der u -Quarks im Proton und der \bar{d} -Quarks im Antiproton folgende Form hat:

$$F_u(x) = xu(x) = a_1(1-x)^3$$
$$F_{\bar{d}} = x\bar{d}(x) = a_2(1-x)^3.$$

Hierbei ist x die Bjorken-Skalierungsvariable, und $u(x)$ ($\bar{d}(x)$) ist die Partondichtefunktion der u -Quarks im Proton (\bar{d} -Quarks im Antiproton). Bestimmen Sie a_1 und a_2 unter der Annahme dass die Quarks insgesamt die Hälfte des Nukleonimpuls tragen. [2 Punkte]

- c) Zeigen Sie, dass

$$\frac{1}{4} \leq \frac{F_2^{en}(x)}{F_2^{ep}(x)} \leq 4,$$

unabhängig vom Wert von x ist. Hierbei ist $F_2^{en}(x)$ die zweite Strukturfunktion für Elektron-Neutron Streuung und $F_2^{ep}(x)$ die zweite Strukturfunktion für Elektron-Proton Streuung. Welche Struktur der Quarks ist durch die untere und obere Grenze impliziert? [1 Punkt]