

Übungen zu Experimentalphysik V WS 2012/2013
Prof. Karl Jakobs, Dr. Iacopo Vivarelli
Übungsblatt Nr. 13

Die Lösungen müssen bis 10 Uhr am Dienstag den 5.2.2013 in die Briefkästen im Erdgeschoss des Gustav-Mie-Hauses eingeworfen werden!

1. Elektron-Positron Kollisionen

Der differentielle Wirkungsquerschnitt für die Reaktion $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$ ist (für $\sqrt{s} \gg m_e, m_\mu$)

$$\frac{d\sigma}{d\Omega} = \frac{\alpha^2}{4s}(1 + \cos^2 \theta) \quad (1)$$

wobei $s = (p_{e^+} + p_{e^-})^2$ eine der drei Mandelstam-Variablen ist und θ den Streuwinkel im Schwerpunktsystem von einem der Myonen (in Bezug auf die Richtung der Elektron- und Positron-Impulse) darstellt.

- Zeichnen Sie die Feynman-Diagramme der führenden Ordnung für diesen Prozess. Erklären Sie die Proportionalität des Wirkungsquerschnitts zu α^2 anhand der Feynman-Diagramme. Erläutern Sie die $1/s$ -Abhängigkeit aufgrund von Dimensionsargumenten. [1 Punkt]
- Was würde ein Term proportional zu $\cos \theta$ in Gl. (1) in Bezug auf die Erhaltung der diskreten Symmetrien bedeuten? [1 Punkt]
- Bestimmen Sie aus Gl. (1) den totalen Wirkungsquerschnitt. [1 Punkt]
- Drücken Sie Gl. (1) durch die Mandelstam-Variablen s , t und u aus. [1 Punkt]
- Wie würde sich Gl. (1) ändern, wenn der Endzustand $u\bar{u}$ anstatt $\mu^+\mu^-$ wäre? [1 Punkt]
- Ein Experiment misst den totalen Wirkungsquerschnitt für die Reaktion $e^+e^- \rightarrow q\bar{q}$. Es besteht keine Möglichkeit, die verschiedenen Quark-Flavours zu trennen. Welche Ergebnisse sind für

$$R := \frac{\sigma(e^+e^- \rightarrow q\bar{q})}{\sigma(e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-)} \quad (2)$$

bei Energien von $\sqrt{s} = 2, 6$ und 20 GeV zu erwarten? [1 Punkt]

2. Inklusive $\mu^+\mu^-$ Produktion

Es soll ein Experiment durchgeführt werden, um den Querschnitt des folgenden Prozesses zu vermessen:

$$a + N \rightarrow \mu^+\mu^- + \dots, \quad (3)$$

wobei $a = \pi^+, \pi^-$ oder p , und N ein Nukleon des Targets darstellt. Das Target soll die gleiche Anzahl von Protonen und Neutronen haben. Diese drei Wirkungsquerschnitte werden in Abhängigkeit von der Masse m des Myon-Paars bei einer Schwerpunktsenergie $\sqrt{s} \ll m_Z$ gemessen.

- (a) Schätzen Sie die Verhältnisse der folgenden Wirkungsquerschnitte

$$\frac{d\sigma_{pN}(m)}{dm} : \frac{d\sigma_{\pi^+N}(m)}{dm} : \frac{d\sigma_{\pi^-N}(m)}{dm} \quad (4)$$

im einfachen Quark-Modell ab. Nehmen Sie an, dass Baryonen nur aus drei Quarks, Mesonen nur aus einem Quark-Antiquark-Paar bestehen. **[2 Punkte]**

- (b) Eine genaue Messung zeigt, dass alle drei Wirkungsquerschnitte von Null verschieden sind. Wie kann man das erklären? **[2 Punkt]**
- (c) Wie würde sich ihre Antwort ändern, wenn Sie die Farbladung der Quarks berücksichtigen? **[1 Punkt]**

3. Proton-Antiproton-Streuung

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) Berechnen 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. Bestimmen Sie diesen ausgehend vom bekannten Wirkungsquerschnitt für $e^+e^- \rightarrow \mu^+\mu^-$. **[1 Punkt]**
- (b) Die Parton-Dichtefunktion 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. Verwenden Sie Ihre Ergebnisse aus (a), 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 3500 GeV. **[2 Punkt]**

- (c) Berechnen Sie den mittleren Wert von \hat{s} und die mittlere Energie der u -Quarks im Proton. Welche Werte erhalten Sie für Protonenergien von 3500 GeV. **[2 Punkt]**