

Name:

Gruppe:

Aufgabenblatt 9 (TP) - Physik V - WS 2013/2014

Diskussion/Abgabe: 19./20. 12. 2013 in den Übungsgruppen

Aufgabe 9.1: Experimentelle Bestimmung der Radien geladener Mesonen (1 Punkt)

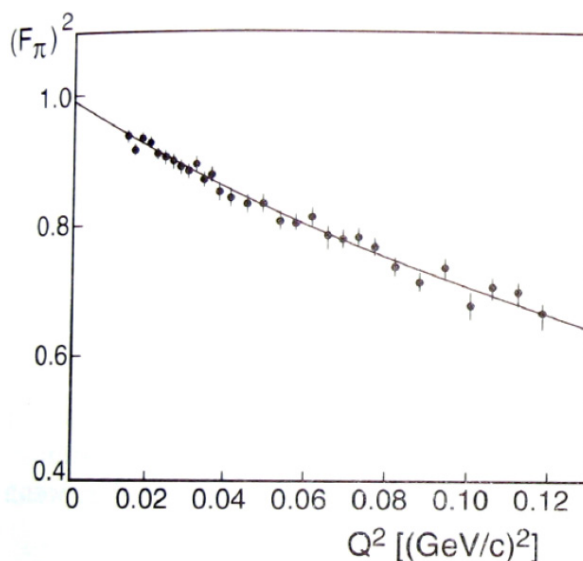
Mitte der 1980er Jahre wurden am SPS Beschleunigerring am CERN die Ladungsradien von Mesonen vermessen. Hierzu wurde ein hochenergetischer Pion- bzw. Kaon-Strahl auf ein Target aus Wasserstoff-Atomen gerichtet, wobei die Mesonen mit den Hüllelektronen der Target-Atome wechselwirkten. Aus der Winkelverteilung der Rückstoßelektronen läßt sich der Formfaktor und damit auch der Ladungsradius der gestreuten Mesonen bestimmen.

- a) Warum wird in diesem Experiment das Pion als Projektil und das Elektron als Target verwendet?
- b) Zeigen Sie, dass allgemein zwischen dem in einem Streuprozess gemessenen Formfaktor $F(Q^2)$ und dem mittleren quadratischen Ladungsradius $\langle r^2 \rangle = \int r^2 \rho(\vec{r}) d^3 r$ der folgende Zusammenhang gilt (hierbei ist wie in der Vorlesung $Q^2 := -q^2$ der Impulsübertrag):

$$\langle r^2 \rangle = -6\hbar^2 \left(\frac{dF(Q^2)}{dQ^2} \right)_{Q^2 \rightarrow 0} \quad (1)$$

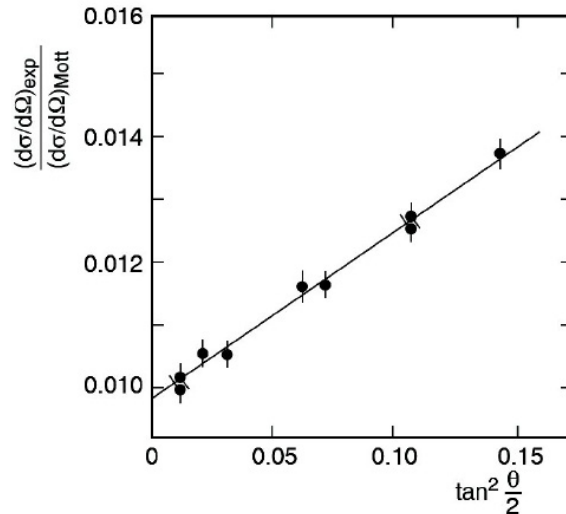
Hinweis: Entwickeln Sie für kleine $|\vec{q}|$ den Formfaktor $F(\vec{q}^2) = \int \rho(\vec{r}) e^{i\vec{q}\vec{r}/\hbar} d\vec{r}$. Nehmen Sie eine sphärisch-symmetrische Ladungsverteilung $\rho(r)$ an.

- c) Die folgende Abbildung (aus *S.R. Amendolia et al., Phys. Lett. B 146 (1984), 116*) zeigt das Quadrat des gemessenen Pion-Formfaktors als Funktion von Q^2 . Bestimmen Sie hieraus den mittleren Ladungsradius ($\sqrt{\langle r^2 \rangle}$) des Pions.



Aufgabe 9.2: Formfaktoren des Protons (1 Punkt)

- a) Diskutieren Sie kurz (ein Satz genügt) die physikalische Bedeutung des elektrischen und magnetischen Formfaktors des Protons.
- b) Die folgende Abbildung (s. Vorlesung) zeigt den in elastischer Elektron-Proton-Streuung gemessenen Wirkungsquerschnitt dividiert durch den Mott-Wirkungsquerschnitt als Funktion von $\tan^2 \frac{\theta}{2}$ (θ ist der Streuwinkel des Elektrons). Die Messung wurde bei einem Impulsübertrag von $Q^2 = 2.5 \text{ GeV}^2/c^2$ durchgeführt. Bestimmen Sie hieraus den Wert des magnetischen und des elektrischen Formfaktors für das gegebene Q^2 .



- c) Das Q^2 -Verhalten der Formfaktoren wird gut durch die sogenannte Dipolform beschrieben:

$$G^{\text{Dipol}}(Q^2) = \left(1 + \frac{Q^2}{\epsilon^2}\right)^{-2}$$

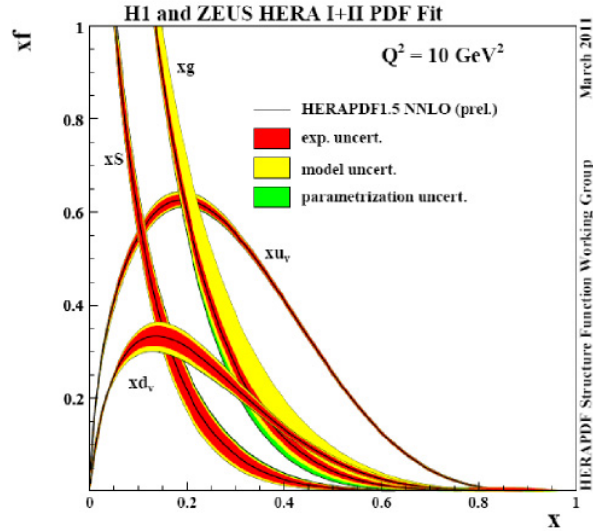
Bestimmen Sie aus dem in (b) bestimmten elektrischen Formfaktor den Wert ϵ^2 und benutzen Sie Gleichung (1) aus Aufgabe 9.1, um den mittleren quadratischen Protonradius zu bestimmen.

Aufgabe 9.3: Fragen zur tief-inelastischen Streuung (1 Punkt)

- a) Unter dem Bjorken-Skalierungsverhalten versteht man, dass die Strukturfunktionen nicht (oder nur schwach) von Q^2 abhängen. Beantworten Sie nachfolgende Fragen. Ein Satz pro Frage ist dabei ausreichend.
- 1) Was läßt sich aus dem Bjorken-Skalierungsverhalten über die Struktur der Nukleonen sagen?
 - 2) Welche Interpretation erfährt die Bjorkensche Skalenvariable x im Partonmodell?
 - 3) Was versteht man unter Valenz- und Seequarks?
 - 4) Was gibt eine Partonverteilung $f_q(x)$ an?
 - 5) Welcher Anteil am Gesamtimpuls eines Protons wird durch Quarks und Antiquarks getragen?

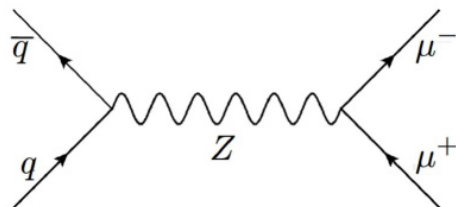
- b) Die folgende Abbildung zeigt die für das **Proton** am HERA-Speicherring bei DESY gemessene Partonverteilungen ($xf(x)$) für Valenzquarks, $xu_v(x)$ und $xd_v(x)$, sowie die Partonverteilung für Seequarks $xS(x)$. Skizzieren Sie die entsprechenden Partonverteilungen für das **Neutron**. Neben den Quarkverteilungen ist in der Abbildung auch die Gluonverteilung $xg(x)$ gezeigt.

Bemerkung: Häufig wird statt des Ausdrucks *Partonverteilung* auch der Begriff *Partondichte* oder *Partondichtefunktion* verwendet.



Aufgabe 9.4: Produktion von Z-Bosonen an Hadron Collidern (1 Punkt)

1983 wurde das Z-Boson am CERN $p\bar{p}$ Speicherring ($Spp\bar{p}S$) bei einer Schwerpunktsenergie von $\sqrt{s} = 540 \text{ GeV}$ durch seinen Zerfall in ein Elektron- bzw. Myonpaar erstmals nachgewiesen. Die Masse des Z beträgt $91.18 \text{ GeV}/c^2$. Die Abbildung zeigt den für die Myonpaarproduktion dominanten Feynman-Graphen.



- Welche Bedingung muß das Produkt der Impulsanteile $x_1 \cdot x_2$ des Quarks und des Antiquarks erfüllen, damit ein Z-Boson bei einer Schwerpunktsenergie \sqrt{s} der kollidierenden Hadronen erzeugt werden kann?
- Nehmen Sie nun an, dass in der Reaktion Quark und Antiquark den gleichen Protonimpulsanteil x besitzen. Wie groß muss für diesen Fall x sein, damit ein Z-Boson einerseits am $Spp\bar{p}S$ bzw. andererseits am LHC produziert werden kann? Die Schwerpunktsenergie am LHC betrug in 2012 $\sqrt{s} = 8 \text{ TeV}$.
- Diskutieren Sie anhand von den in Aufgabe 9.3 gezeigten Partonverteilungen, welcher Quark-Typ (Valenz- oder Seequarks) die Z-Produktion am $Spp\bar{p}S$ bzw. am LHC dominiert.

Verständnisfragen / Fragen zur Diskussion

- Diskutieren Sie die Rutherford-, Mott- und Rosenbluth-Streuformel: Welche Projektil- und Targetsysteme werden durch die Streuformeln beschrieben?

- Wie werden Rutherford- und Mott-Streuung für ein ausgedehntes Target modifiziert?
- Warum werden zur Beschreibung der Kinematik der tief-inelastischen Elektron-Proton-Streuung zwei Variablen benötigt?
- Skizzieren Sie die Strukturfunktion der Elektron-Proton-Streuung für den Fall, dass das Proton aus 3 Quarks besteht, die nicht miteinander wechselwirken und jeweils $1/3$ des Protonimpulses tragen.
- Wie ändert sich die skizzierte Strukturfunktion, wenn die 3 Quarks miteinander wechselwirken?