

Name:

Gruppe:

Aufgabenblatt 5 - Physik V - WS 2011/2012

Abgabetermin: 17./18.11.2011 in den Übungen

Aufgabe 5.1: Ladungsverteilung in $^{16}_8\text{O}$ -Kernen (30 Punkte)

Formfaktoren $F(\vec{q}^2)$ von Kernen werden in Elektronenstreuexperimenten über das Verhältnis zwischen gemessenem Wirkungsquerschnitt und der theoretischen Vorhersage für eine punktförmige Ladungsverteilung (Mott-Wirkungsquerschnitt) bestimmt: $\frac{d\sigma}{d\Omega}_{Exp} = \frac{d\sigma}{d\Omega}_{Mott} |F(\vec{q}^2)|^2$. Hierbei bezeichnet \vec{q} den Impulsübertrag des Elektrons auf den Kern. Aus dem Verlauf von $|F(\vec{q}^2)|^2$ können Aussagen über Form und Ausdehnung des Kerns getroffen werden.

- a) Zeigen Sie, dass der Formfaktor einer homogen geladenen Kugel mit Radius R und der auf eins normierten Ladungsdichte $f(r)$,

$$f(r) = \begin{cases} \frac{3}{4\pi R^3} & \text{für } r \leq R \\ 0 & \text{für } r > R \end{cases}$$

die Form $F(\vec{q}^2) = 3(\sin \alpha - \alpha \cos \alpha)/\alpha^3$ mit $\alpha = |\vec{q}|R/\hbar$ hat.

Hinweis: Der Formfaktor ist die Fouriertransformierte der Ladungsverteilung.

- b) Berechnen Sie den numerischen Wert α der ersten Nullstelle des Formfaktors. Sie können hierzu z.B. *Mathematica* oder *Maple* benutzen.
- c) Abbildung 1 zeigt eine Formfaktormessung für Sauerstoff ($^{16}_8\text{O}$). Bestimmen Sie aus der Lage des Minimums, das der eben ausgerechneten Nullstelle entspricht, den Radius R des Sauerstoffkerns. Vergleichen Sie den Radius mit der einfachen Formel:

$$R = 1.2 \text{ fm} \cdot A^{\frac{1}{3}}; \quad A: \text{ Kernmassenzahl}$$

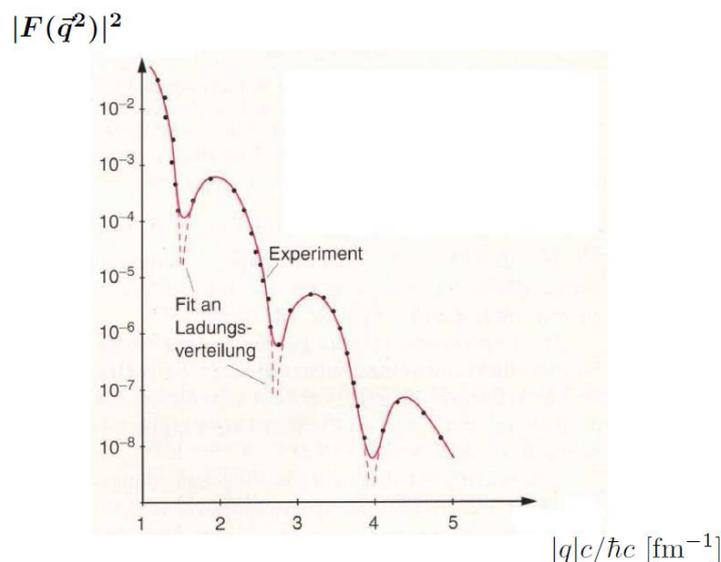


Abbildung 1: Gemessene Verteilung von $|F(\vec{q}^2)|^2$ in Abhängigkeit des Impulsübertrags ($|q|$) für Sauerstoff ($^{16}_8\text{O}$).

Aufgabe 5.2: Fragen zur tief-inelastischen Streuung (20 Punkte)

Unter dem Bjorken-Skalenverhalten versteht man, dass die beiden Strukturfunktionen $F_1(x, Q^2)$ und $F_2(x, Q^2)$ nicht (oder nur schwach) von Q^2 abhängen. Beantworten Sie nachfolgende Fragen. Ein Satz pro Frage ist dabei ausreichend.

- a) Was lässt sich aus dem Bjorken-Skalierungsverhalten über die Struktur der Nukleonen sagen?
- b) Welche Interpretation erfährt die Bjorken'sche Skalenvariable x im Partonmodell?
- c) Was versteht man unter Valenz- und Seequarks?
- d) Was gibt die Partonverteilung $f^q(x)$ an?
- e) Welcher Anteil am Gesamtimpuls eines Protons wird durch Quarks und Antiquarks getragen?
- f) Welche Teilchen tragen den restlichen Impuls?

Aufgabe 5.3: Strukturfunktionen (20 Punkte)

- a) Skizzieren Sie die Strukturfunktionen als Funktion der Bjorken'schen Skalenvariablen x , welche man im Neutron erwartet, wenn man folgende Annahmen über das Neutron macht:
 - Das Neutron besteht aus drei quasifreien Quarks, die alle denselben Impuls tragen.
 - Das Neutron besteht aus drei miteinander wechselwirkenden Quarks.
 - Das Neutron besteht aus drei miteinander wechselwirkenden Quarks und Seequarks.
- b) Abbildung 2 zeigt die Strukturfunktionen für Valenzquarks $xu_V(x), xd_V(x)$ sowie die Strukturfunktionen für die Seequarks $xS(x)$ für das Proton, so wie sie am HERA-Speicherring bei DESY gemessen wurden¹. Skizzieren Sie die Strukturfunktionen für die u -Quarks, die d -Quarks und die Seequarks so wie sie diese für das Neutron erwarten. Näherungsweise kann man davon ausgehen, dass nur u, d und s Quarks, sowie ihre Antiquarks zu den Seequarks beitragen und die Unterschiede in den Quarkmassen keine Rolle spielen.

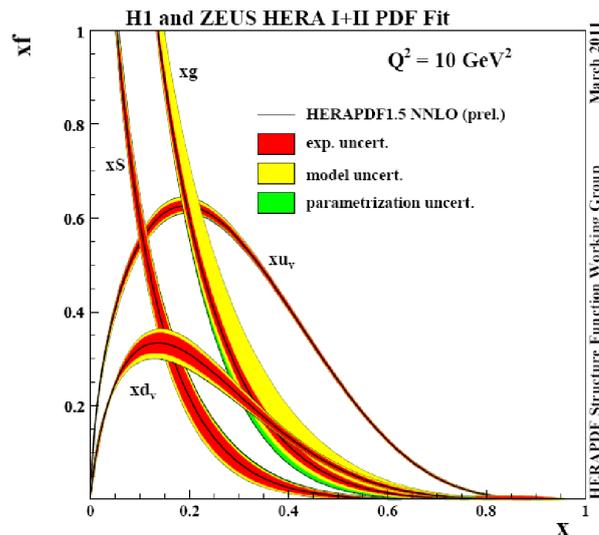


Abbildung 2: Bei HERA am DESY gemessene Strukturfunktionen für das Proton.

¹ xg bezeichnet die Strukturfunktion der Gluonen, die aber hier nicht näher betrachtet wird.

Aufgabe 5.4: Die Produktion von Z-Bosonen an Hadron Collidern (30 Punkte)

1983 wurde das Z-Boson am CERN $p\bar{p}$ Speicherring bei einer Schwerpunktsenergie von $\sqrt{s} = 540$ GeV durch seinen Zerfall in ein Leptonpaar erstmals nachgewiesen. Abbildung 3 zeigt den für diese Reaktion dominanten Feynman-Graphen.

- a) Die Masse des Z-Bosons beträgt 91 GeV. Welche Bedingung muss das Produkt $x_1 x_2$ der Impulsanteile des kollidierenden Quark x_1 und des Antiquark x_2 erfüllen, damit ein Z-Boson erzeugt werden kann.
- b) Nehmen Sie nun an, dass das Quark und das Antiquark, die an der Reaktion teilnehmen, denselben Impulsanteil x besitzen. Wie groß muss x mindestens sein, damit ein Z-Boson am CERN $p\bar{p}$ Speicherring bzw. am LHC (pp Speicherring) produziert werden kann. Die Schwerpunktsenergie am LHC beträgt derzeit $\sqrt{s} = 7$ TeV.
- c) Diskutieren Sie anhand der in Abbildung 2 gezeigten Strukturfunktionen welcher Quark-Typ (Valenz- oder Seequarks) die Z-Produktion am CERN $p\bar{p}$ Speicherring bzw. am LHC (pp) dominiert.

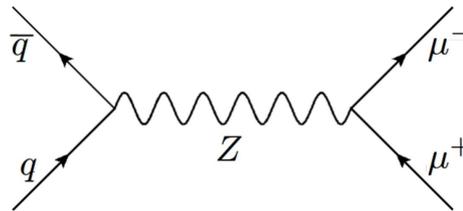


Abbildung 3: Feynman-Graph für die Produktion von Z-Bosonen in pp bzw. $p\bar{p}$ Reaktionen.