

Übungsblatt 9

9.1 Strukturfunktionen des Protons und Neutrons (25 Punkte)

In die Wirkungsquerschnitte für tief inelastische Streuung von Elektronen an Nukleonen gehen Strukturfunktionen $F_2(x)$ ein, die im Quark-Parton-Modell durch

$$F_2(x) = x \cdot \sum_f [Z_f^2 \cdot (q_f(x) + \bar{q}_f(x))]$$

gegeben sind. Dabei sind Z_f die Quarkladungszahlen und $q_f(x)$ und $\bar{q}_f(x)$ die Quark- und Antiquarkverteilungen in den Nukleonen. Man zeige, dass für das Verhältnis der Neutron- und Proton-Strukturfunktionen gilt:

$$\lim_{x \rightarrow 0} \frac{F_2^{en}}{F_2^{ep}} = 1$$
$$\lim_{x \rightarrow 1} \frac{F_2^{en}}{F_2^{ep}} = \frac{1}{4}$$

Hinweise: (1) Da Neutron und Proton ein Isospin-Dublett bilden, gelten für ihre Quarkverteilungen die Relationen $u^n(x) = d^p(x)$ und $d^n(x) = u^p(x)$. Die Funktionen $d_{Val}(x)$ und $u(x)_{Val}$ sind per definitionem die Verteilungen der d und u -Valenzquarks des Protons.

(2) Proton und Neutron enthalten zusätzlich zu den Valenzquarks Seequarks. Bei kleinen x dominieren die Seequarks, bei großen die Valenz-Quarks. Darüber hinaus ist für $x \rightarrow 1$ die Valenzquarkdichte $d_{Val}(x)$ im Proton zu vernachlässigen.

(3) Die Verteilungen $u_{See}(x)$, $\bar{u}_{See}(x)$, $d_{See}(x)$ und $\bar{d}_{See}(x)$ für den See nehme man alle als gleich an und vernachlässige die Beiträge von $s\bar{s}$ -Paaren.

9.2 Kinematik der tief inelastische Elektronenstreuung (25 Punkte)

In der einfachsten Version des Quark-Parton-Modells hängen die beiden Strukturfunktionen $F_2(x, Q^2)$ und $F_1(x, Q^2)$ der tief inelastischen Elektron-Protonstreuung nur von x , aber nicht von Q^2 ab. Um Abweichungen von diesem Modell zu finden, muss man experimentell das gleiche x für verschiedene Werte von Q^2 realisieren und die Wirkungsquerschnitte vergleichen. Studieren Sie am Beispiel des e^-p -Kolliders HERA (Protonenenergie 920 GeV, Elektronenenergie 27 GeV) den experimentell zugänglichen Bereich von Q^2 . Beide Ruhmassen sind zu vernachlässigen.

- Drücken Sie Q^2 durch die Elektronenenergien vor und nach der Streuung und durch den Elektronenstreuungswinkel θ_e im Laborsystem aus.
- Drücken Sie $P^\mu q_\mu$ durch die Elektronenenergien, θ_e und die Protonenenergie vor der Streuung aus (q_μ =Viererimpulsübertrag durch das Elektron, P^μ =Viererimpuls des Protons vor der Streuung).
- Geben Sie eine Formel für die Energie E'_e des gestreuten Elektrons als Funktion von x und θ_e an. Wie groß wird E'_e im Grenzfall $\theta_e = \pi$? Deuten Sie dieses Resultat anschaulich.
- Zahlenbeispiele für $x = 0.1$:
Wie groß sind E' und Q^2 für $\theta_e = 100\text{mrad}$, $\theta_e = \pi/2$ und $\theta_e = \pi - 100\text{mrad}$?

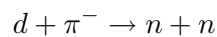
9.3 Der G-Paritätsoperator (25 Punkte)

Eine vor längerer Zeit eingeführte Symmetrieoperation ist die so genannte G-Parität, die aus der Kombination der Ladungskonjugation C mit einem Vorzeichenwechsel der dritten Komponente I_3 des Isospins besteht.

- a) Schreiben Sie auf, welche Teilchen bei der Anwendung von G auf folgende Anfangszustände entstehen:
(i) K^+ , (ii) π^- . (iii) p (Proton), (iv) J/ψ .
- b) Wird ein Teilchen durch Anwendung von G in sich selbst überführt, besitzt es einen Eigenwert von G , die so genannte G-Parität, die ± 1 ist. Welche Bedingungen muss ein $q\bar{q}$ -System erfüllen, damit es eine G-Parität besitzt?
- c) Wie erklärt man im Valenzquark-Bild die Existenz der G-Parität beim π^0 -Meson?

9.4 Parität des Pions (25 Punkte)

Ein Deuteron kann ein negatives Pion in einen atomaren s-Zustand einfangen. Im Anschluss daran findet häufig die Reaktion



statt. Das Deuteron hat den Kernspin $J_d = 1$, der Spin des π^- ist null. Aus der Existenz der Reaktion ergibt sich, dass die Eigenparität des Pions negativ ist. Warum?