

Übungsblatt 7

7.1 Kinematik der elastischen Elektronstreuung (25 Punkte)

Ein Elektron der Energie E_e wird elastisch an einem Teilchen mit Masse M gestreut. Dieses Teilchen ruht im Laborsystem.

- Berechnen Sie die Energie eines Elektrons, das um einen Winkel θ im Laborsystem abgelenkt wurde. Nehmen Sie an, dass die Elektronenmasse vernachlässigt werden kann. Welche Bedingungen müssen gegeben sein, damit Sie dies tun dürfen?
- E_e sei jetzt 800 MeV und das Targetteilchen ein ^{40}Ca Kern. Was ist der maximale Anteil der Elektron-Energie, der auf den Kern übertragen werden kann? Wie lautet die Antwort für die Streuung an einem Proton?

7.2 Formfaktoren (25 Punkte)

Die einfache Formel für die Mott-Streuung ist nur für punktförmige Teilchen gültig. Abweichungen können experimentell gemessen und im Formfaktor parametrisiert werden:

$$\left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{exp} = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega}\right)_{Mott} \times |F(|\vec{q}|)|^2 \quad (1)$$

wobei \vec{q} der Dreier-Impulsübertrag ist. Unter bestimmten Bedingungen (kein Rückstoß, Born-Näherung) ist der Form-Faktor $F(|\vec{q}|)$ die Fourier-Transformierte der (auf 1 normierten) Ladungsverteilung $f(r)$.

- Berechnen Sie den Formfaktor $F(|\vec{q}|)$ für eine homogene geladene Kugel mit Radius r_K (Hinweis: Der Vektor \vec{q} kann entlang der z-Achse definiert werden. Die Exponentialfunktion im Fourier-Integral $e^{i\vec{q}\vec{x}/\hbar}$ kann dann in Kugelkoordinaten als $e^{i|\vec{q}|r \cos \theta/\hbar}$ geschrieben werden.) Skizzieren Sie qualitativ den Verlauf der Funktion $|F(|\vec{q}|)|^2$. Welchen Wert nimmt die Funktion für $|\vec{q}| = 0$ an? Entspricht dieser Wert den Erwartungen?
- Bei der Streuung von 500 MeV Elektronen an ^{40}Ca beobachtet man bei zunehmendem Impulsübertrag ein erstes Minimum des Wirkungsquerschnitts bei $\frac{|\vec{q}|}{\hbar} = 1.15 \text{ fm}^{-1}$. Welchem Streuwinkel entspricht dies, bei Vernachlässigung des Rückstoßes? Bestimmen Sie r_K und den reduzierten Radius $r_0 = \frac{r_K}{A^{1/3}}$. (Hinweis: Nutzen Sie zur Lösung der transzendenten Gleichung ein Computer-Algebra-Programm)

7.3 Inelastische Elektronenstreuung am Proton (25 Punkte)

Elektronen mit einfallender Energie $E = 4.879 \text{ GeV}$ werden an Protonen gestreut und unter einem Streuwinkel von $\theta = 10^\circ$ detektiert. Hierbei wird auch ihre Energie gemessen. Bei einer Elektronen-Energie von $E'_e = 4.21 \text{ GeV}$ wird ein Maximum beobachtet.

- Berechnen Sie den Vierer-Impulsübertrag q^2 und den Energieübertrag ν . Handelt es sich in der Tat um eine inelastische Streuung? Berechnen Sie zur Beantwortung dieser Frage die Bjorkensche Skalenvariable x .
- Welche invariante Masse hat das hadronische System nach der Streuung? Welcher Nukleonanregung entspricht das?

7.4 Clebsch-Gordan-Koeffizienten (25 Punkte)

Glueballs sind hypothetische Zustände, die nur aus gebundenen Gluonen, ohne Valenzquarks, bestehen. In einem vereinfachten Modell betrachten Sie einen Glueball, der aus zwei Gluonen besteht. Warum ist dieser Zustand (in Gegensatz zu einem Photon-Ball) überhaupt möglich? Die Gluonen sind Spin 1 Teilchen. Sie können annehmen, dass die Wellenfunktion symmetrisch in den Farbladungen ist, und dass der relative Drehimpuls der beiden Gluonen $L = 0$ ist, d.h. dass die Raum-Wellenfunktion auch symmetrisch ist unter Austausch der beiden Gluonen. Welche Werte sind für den Gesamtspin des Glueballs erlaubt? Schreiben Sie mithilfe der angehängten Tabelle von Clebsch-Gordan-Koeffizienten (Quelle: pdg.lbl.gov) die Glueball-Spin-Wellenfunktion auf für den höchsten möglichen Gesamtspin S und $m_S = 0$ auf.