

Name:

Gruppe:

Aufgabenblatt 7 (TP) - Physik V - WS 2013/2014

Diskussion/Abgabe: 5./6. 12. 2013 in den Übungsgruppen

Aufgabe 7.1: Observablen zum Test von Symmetrien (1 Punkt)

- a) Geben Sie in der folgenden Tabelle das unterschiedliche Verhalten der angegebenen Größen unter Raumspiegelung P , Ladungskonjugation C und Zeitumkehr T an.

Größe	P	C	T
Ortskoordinate \vec{r}	$-\vec{r}$	\vec{r}	\vec{r}
Impuls \vec{p}			
Spin \vec{s}			
Drehimpuls \vec{l}			
Helizität $h = \frac{\vec{s} \cdot \vec{p}}{ \vec{s} \vec{p} }$			
Elektrische Ladung q			
Leptonzahl $L_x, x = e, \mu, \tau$			
Baryonenzahl \tilde{B}			
Elektrischer Feldvektor \vec{E}			
Magnetischer Feldvektor \vec{B}			

- b) Zeigen Sie, dass ein endliches elektrisches Dipolmoment (EDM) eines Elementarteilchens mit Spin \vec{s} sowohl P - als auch die T -Invarianz verletzt. Warum verletzt ein magnetisches Dipolmoment diese Symmetrien nicht? Überlegen Sie sich, dass Sie für das Teilchen das Dipolmoment relativ zu einer Achse messen.

Bemerkung: Die Suche nach einem EDM d des Neutrons hat bisher eine obere Grenze von $d < 10^{-26} e \cdot \text{cm}$ ergeben. Im Rahmen des Standardmodells wird aufgrund von elektro-schwachen Korrekturen ein Dipolmoment von $d_{SM} \approx 10^{-34} e \cdot \text{cm}$ erwartet. Erweiterte Theorien (z.B. Supersymmetrie) sagen aber weitaus größere Werte für das Neutron-EDM voraus.

Aufgabe 7.2: Isospin in π N-Streuung (1 Punkt)

Durch π -Nukleon(π N)-Streuung kann die $\Delta(1232)$ -Resonanz, der erste Anregungszustand des Nukleons, erzeugt werden. Hierbei handelt es sich um einen starken Wechselwirkungsprozess. Die Resonanz ist extrem kurzlebig und zerfällt über die starke Wechselwirkung fast ausschliesslich wieder in π und N. Die Δ Resonanz existiert in vier Ladungszuständen, während das Pion in drei Ladungszuständen vorkommt.

- a) Geben Sie für die folgenden Teilchen die Werte für den Isospin I und I_3 an: Proton (p), Neutron (n), π^+ , π^0 , π^- , Δ^- , Δ^0 , Δ^+ , Δ^{++} .
- b) Schreiben Sie alle möglichen Reaktionen vom Typ $\pi N \rightarrow \Delta \rightarrow \pi N$ auf. Geben Sie die Quantenzahlen I und I_3 für den Eingangs-, Zwischen-, und Endzustand an.

Aufgabe 7.3: P und C-Verletzung im Tau-Zerfall (1 Punkt)

Das Tau-Lepton zerfällt durch die schwache Wechselwirkung in ein Pion und das dazugehörige Neutrino bzw. Antineutrino

$$\tau^- \rightarrow \pi^- + \nu_\tau.$$

- Geben Sie unter der Annahme, dass an der schwachen Wechselwirkung nur linkshändige Teilchen (Spin und Impuls sind entgegengesetzt gerichtet) bzw. rechtshändige Antiteilchen teilnehmen, die Spineinstellungen des obigen Zerfalls an.
- Wenden Sie auf diesen Zerfall die Paritätsoperation P bzw. Ladungskonjugation C an, und zeigen Sie, dass dies zu Endzuständen führt, die in der Natur **nicht** realisiert sind.
- Wenden Sie stattdessen die kombinierte CP -Operation an und zeigen Sie, dass dies zu einem erlaubten Endzustand führt. Argumentieren Sie anhand einer Skizze.

Aufgabe 7.4: Ladungsverteilung von ${}^{16}_8\text{O}$ -Kernen (1 Punkt)

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:

$$|F(\vec{q}^2)|^2 = \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{Exp} / \left(\frac{d\sigma}{d\Omega} \right)_{Mott}.$$

Hierbei bezeichnet \vec{q} den 3er-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.

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

Hinweis: Der Formfaktor ist die Fouriertransformierte der Ladungsverteilung.

- Berechnen Sie den numerischen Wert α der ersten Nullstelle des Formfaktors. Sie können hierzu z.B. die Online-Engine <http://www.wolframalpha.com> benutzen.
- Die folgende Abbildung (Abb. 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:

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

Verständnisfragen / Fragen zur Diskussion

- Die starke/schwache Wechselwirkung verletzt/erhält starken Isospin und Quark-Flavor-Quantenzahlen. Welche Kombinationen sind richtig? Was gilt für die elektromagnetische Wechselwirkung?
- (Nachtrag zu Aufgabe 7.2) Vergleichen Sie die Reaktionen $\pi^- n \rightarrow \Delta^-$ und $\pi^0 p \rightarrow \Delta^+$ miteinander. Welche der Reaktionen tritt häufiger auf?
- Pionen (π^\pm, π^0) sowie das η -Meson sind *pseudo-skalare* Teilchen mit $J^P = 0^-$. Diskutieren Sie die Reaktionen $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-$ und $\eta \rightarrow \pi^+\pi^-\pi^0$. Welcher dieser Zerfälle ist möglich?
- Wie sieht die Reaktion $n + \nu_L \rightarrow p + e_L^-$ nach CPT Transformation aus? Der Index L soll auf ein linkshändiges Teilchen hinweisen.

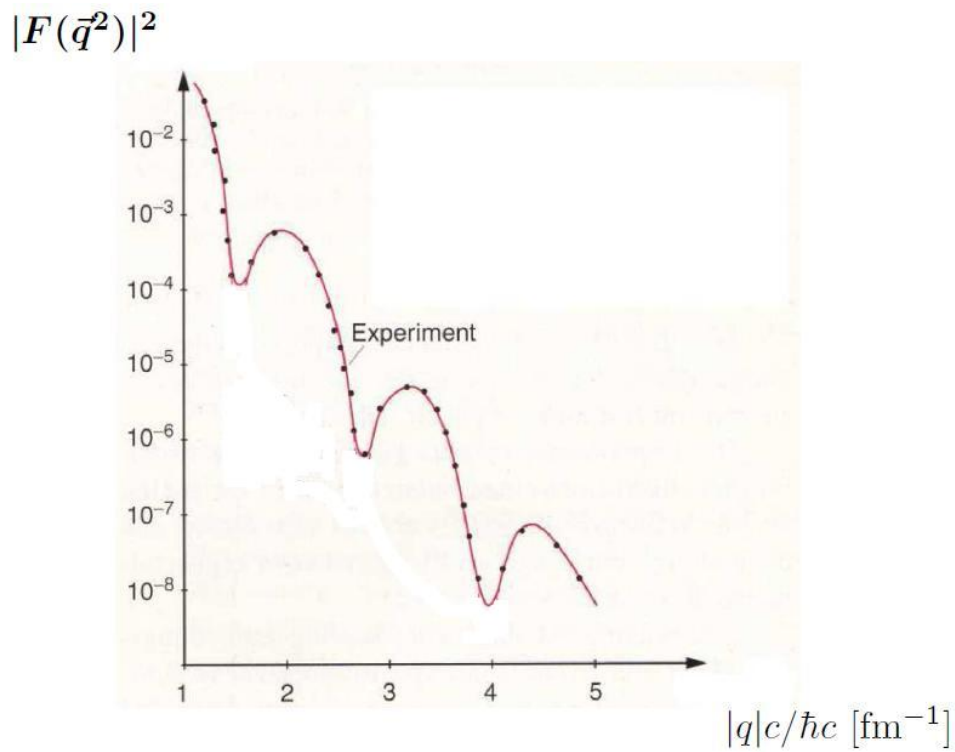


Abbildung 1: Gemessener Formfaktor $|F(\vec{q}^2)|$ für Sauerstoff ($^{16}_8\text{O}$).

- Entspricht ein großer Streuwinkel einem großen oder einem kleinen q^2 -Wert? Wie hängt für elastische Streuung der 4er-Impulsübertrag q vom Streuwinkel ab?
- Aufgrund der Feynmanregeln erwartet man für den Rutherford-Prozess eine $1/q^4$ Abhängigkeit. Welche Streuwinkel-Abhängigkeit folgt daraus?
- Betrachten Sie die Streuung eines Elektrons (e^-) und eines Pions (π^+) an einem Kern (Kernspin sei Null). Wie sieht das Verhältnis der differentiellen Wirkungsquerschnitte $\frac{d\sigma_\pi}{d\Omega} / \frac{d\sigma_e}{d\Omega}$ als Funktion des Streuwinkels θ aus.