

Übungen zu Moderne Experimentalphysik II, Teil 2 (Kern- und Teilchenphysik) Wintersemester 2023/24

Präsenzübungen Nr. 3

Bearbeitung am 18.01.2024

Vervielfältigung und Veröffentlichung nicht gestattet!

Link zur ILIAS-Hauptseite:

https://ilias.studium.kit.edu/goto.php?target=crs_2198626&client_id=produktiv

Quiz:

- a) Was sind die Schlussfolgerungen des Rutherford-Versuchs?

Aus dem Rutherford-Versuch konnte geschlossen werden, dass das Atom aus einem im Zentrum des Atoms konzentrierten Kern, umgeben von einer (im Vgl. zum Kern) sehr großen (und quasi leeren) Elektronenhülle, besteht. Aus diesem Grund wird ein Großteil der Projektile gar nicht oder nur schwach gestreut und eine Rückstreuung ist sehr unwahrscheinlich, da dafür der sehr kleine Kern frontal getroffen werden müsste. Das Modell von Thomson („Rosinenkuchenmodell“) konnte damit widerlegt werden.

- b) Was unterscheidet den Rutherford-Wirkungsquerschnitt vom Mott-Wirkungsquerschnitt? Was sind die Gemeinsamkeiten?

Beim Rutherford-WQ ist das Projektil spinlos, beim Mott-WQ ist das Projektil hingegen ein Teilchen mit Spin $1/2$. Bei beiden WQs ist das Target spinlos. Außerdem entsprechen beide WQs einer Streuung eines punktförmigen Projektils am Coulomb-Potential eines punktförmigen Targets.

- c) Was unterscheidet ein Baryon von einem Meson? Welches ist das leichteste Baryon und welches ist das leichteste Meson? Was sind deren Massen?

Ein Baryon ist ein gebundener Zustand dreier Quarks. Ein Meson ist ein gebundener Zustand eines Quark-Antiquark-Paares. Das leichteste Baryon ist das Proton mit einer Masse von etwa 938 MeV. Das leichteste Meson ist das ungeladene Pion mit einer Masse von ungefähr 135 MeV. Die elektrisch geladenen Pionen sind etwas schwerer mit einer Masse von etwa 140 MeV.

- d) Durch welche Wahrscheinlichkeitsdichte kann eine Resonanz wie die Δ^+ Resonanz beschrieben werden? Was sind die relevanten Parameter? Wie können Sie die Lebensdauer der Resonanz aus einem der Parameter bestimmen?

Eine Resonanz kann durch die Breit-Wigner-Verteilung beschrieben werden:

$$P(E) \propto \frac{\Gamma^2}{(E - M)^2 + \Gamma^2/4}$$

Hierbei ist E die Schwerpunktsenergie des Systems. Die relevanten Parameter sind die Masse M und die Breite Γ der Resonanz. Die Lebensdauer τ der Resonanz kann durch $\Gamma \cdot \tau \approx h$ bestimmt werden.

Präsenzaufgabe 1: Formfaktoren

- a) Wie ist der Formfaktor im Rahmen von Streuprozessen am Nukleon definiert?

Der Formfaktor $F(q)$ ist definiert durch

$$|F(q)|^2 = \frac{(d\sigma/d\Omega)}{(d\sigma/d\Omega)_{\text{Mott/Coulomb}}}$$

mit dem Viererimpulsübertrag q . Hierbei ist $d\sigma/d\Omega$ der eigentliche differentielle Wirkungsquerschnitt und $(d\sigma/d\Omega)_{\text{Mott/Coulomb}}$ der Mott- bzw. Coulomb/Rutherford WQ. Wenn das Projektil spinlos ist, ist im Nenner der Coulomb/Rutherford Wirkungsquerschnitt relevant, bei einem Spin-1/2 Projektil muss der Mott-Wirkungsquerschnitt verwendet werden.

- b) Erklären Sie kurz die Bedeutung des elektrischen und magnetischen Formfaktors bei Streuprozessen.

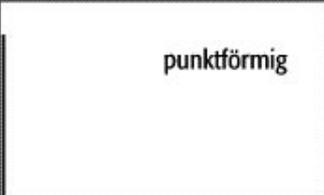
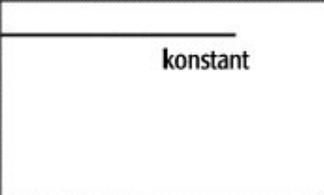
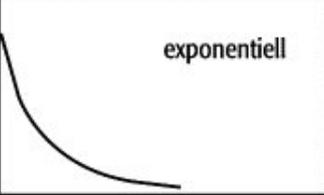
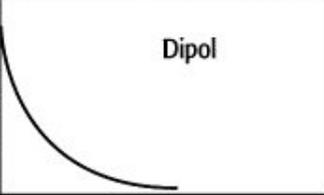
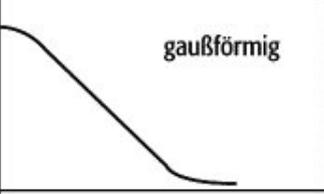
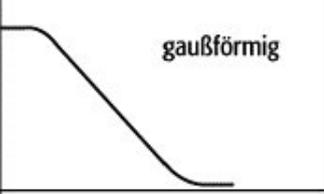
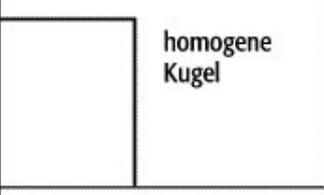
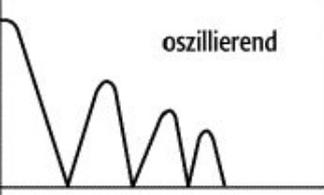
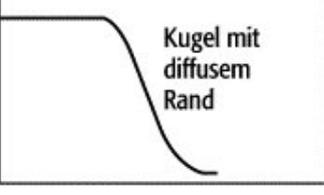
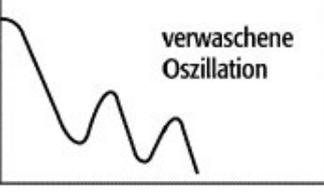
Ein Projektil koppelt im Allgemeinen bei der Streuung an einem Target/Nukleon an die Verteilung der elektrischen Ladung und an die Verteilung des magnetischen Moments (Stromdichte) des Targets. Die elektrische Ladungsverteilung bestimmt den elektrischen Formfaktor und die Verteilung des magnetischen Moments den magnetischen Formfaktor. Die Formfaktoren beschreiben den Sachverhalt, dass ein Projektil bei genügend hoher Energie nur einen Teil der elektrischen Ladung bzw. des magnetischen Moments „sieht“. Da dies von der Energie des Projektils abhängt, sind die Formfaktoren abhängig vom Viererimpulsübertrag q .

- c) Wie sieht die radiale Ladungsverteilung in einem Nukleon aus? Wie sieht diese für leichte bzw. schwere Kerne aus?

Die radiale Ladungsverteilung in einem Nukleon folgt einem exponentiellen Abfall ohne klar definierten Rand. Für leichte Kerne folgt die Ladungsverteilung einer Gaußverteilung und für schwere Kerne der Ladungsverteilung einer homogenen Kugel mit diffusum Rand.

- d) Wie hängen Formfaktor und Ladungsverteilung/Stromverteilung mathematisch zusammen? Füllen Sie die folgende Grafik, welche Ladungsverteilungen mit Formfaktoren verknüpft.

Die Ladungs-/Stromverteilung ergibt sich aus dem elektrischen/magnetischen Formfaktor über die Fouriertransformation.

Ladungsverteilung $\rho(r)$	Formfaktor $F(q)$	Beispiel
 <p>punktförmig</p>	 <p>konstant</p>	Elektron
 <p>exponentiell</p>	 <p>Dipol</p>	Proton
 <p>gaußförmig</p>	 <p>gaußförmig</p>	${}^6\text{Li}$
 <p>homogene Kugel</p>	 <p>oszillierend</p>	-
 <p>Kugel mit diffusem Rand</p>	 <p>verwaschene Oszillation</p>	${}^{40}\text{Ca}$

$r \longrightarrow$
 $|q| \longrightarrow$