

Kern- und Teilchenphysik, Kombibachelor Physik

Humboldt-Universität zu Berlin, Wintersemester 2019/2020,
Prof. Dr. H. Lacker

Übung 3 (Besprechung: 7.11.2019)

Aufgabe 1: Elastische Elektron-Proton-Streuung

Ein Elektron wird elastisch an einem Proton (Masse M_p) gestreut und dabei um den Winkel θ abgelenkt. Zeigen Sie, dass dann folgende Formel gilt: $E'_e = \frac{E_e}{1 + \frac{2E_e}{M_p} \sin^2 \frac{\theta}{2}}$.

Bei gegebener Energie E_e ist die Energie des gestreuten Elektrons, E'_e , also eindeutig durch θ bestimmt. (Vernachlässigen Sie in der relativistischen Rechnung die Elektronmasse.)

Rechnungen relativistischer Kinematik werden am einfachsten, wenn man die Energie-Impuls-Erhaltung mit Hilfe von Viererimpulsen $p = (E, \vec{p})$ (hier in natürlichen Einheiten) formuliert. Skalarprodukte von Vierervektoren p_1 und p_2 , $p_1 \cdot p_2 = E_1 \cdot E_2 - \vec{p}_1 \cdot \vec{p}_2$, sind invariant unter Wechsel des Bezugssystems. Insbesondere gilt die berühmte Masse-Energie-Impuls-Beziehung: $p^2 = E^2 - \vec{p}^2 = m^2$.

Aufgabe 2: Wechselwirkung durch Teilchenaustausch

1. Zeichnen Sie die möglichen Einpionenaustauschdiagramme für die elastische $p-p$, $n-n$ und $n-p$ Streuung für den Austausch neutraler als auch geladener Pionen.
2. Nehmen Sie an, dass die starke Wechselwirkung zwischen zwei Hadronen durch Austausch von Kaonen (K^\pm , K^0 oder \bar{K}^0 , siehe z. B. "Teilcheneigenschaften" auf der Vorlesungswebseite) zustande kommt. Welche (typische) Reichweite hat dann diese Austauschkraft?

Aufgabe 3: Lebensdauer des Protons

Schätzen Sie eine untere Schranke für die Lebensdauer des Protons aus folgenden Betrachtungen ab: Wären Protonen instabil, würden sie auch im menschlichen Körper zerfallen. Würde die gesamte Zerfallsenergie, die in guter Näherung der Ruheenergie des Protons entspricht, im menschlichen Körper deponiert, würde dies zu einer bestimmten Menge an Strahlenschäden führen. Oberhalb einer bestimmten Strahlendosis kann der Körper diese Strahlenschäden nicht mehr reparieren und der Mensch würde sterben. Die tödliche Strahlendosis für einen Menschen beträgt etwa $1 \text{ J kg}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Andererseits beträgt die typische Lebensdauer eines Menschen deutlich mehr als ein Jahr. Nehmen Sie für ihre Abschätzung an, dass der Mensch vollständig aus Wasser besteht.

(Hintergrundinformation: Ein möglicher Protonzerfall, der im Standardmodell der Teilchenphysik "verboten" ist, könnte der Zerfall $p \rightarrow \pi^0 + e^+$ sein. Das π^0 zerfällt nach etwa 10^{-16} s in zwei hochenergetische Photonen. Das Positron e^+ wird in Materie abgebremst und zerstrahlt mit einem Elektron in zwei oder drei Photonen. Die im Körper deponierte Energie hängt von der Absorptionswahrscheinlichkeit dieser Photonen im Gewebe ab.)

Abgabe: 07.11.2019, bis 11:00 (New 15, Metallkasten vor Raum 1'415 oder in der Vorlesung)