

Einführung in die Teilchenphysik, SS 2016

Übungsblatt 1

Frank Tackmann

Abgabe: Freitag, 15.04.2016, zu Beginn der Vorlesung

1) Comptons Streuung (≈ 5 Punkte)

a) Der Comptoneffekt ist der Streuprozess $\gamma_1 + e_1^- \rightarrow \gamma_2 + e_2^-$. Leiten Sie durch Ausnutzung der relativistischen Energie-Impuls-Erhaltung die Comptonformel her

$$\lambda_2 = \lambda_1 + \frac{h}{mc}(1 - \cos \theta). \quad (1)$$

Hier, λ_1 und λ_2 sind die Wellenlängen der ein- und auslaufenden Photonen, und θ ist der Winkel des auslaufenden Photons zur Richtung des einlaufenden Photons, wobei alle Größen im Ruhesystem des einlaufenden Elektrons (e_1^-) gemessen sind.

(Hinweis: Die Rechnung vereinfacht sich deutlich, wenn man Viererimpulse auf die "richtige" Weise benutzt.)

b) Bestimmen Sie den maximal möglichen relativen Energieverlust $(E_1 - E_2)/E_1$ für ein Photon mit gegebener Anfangsenergie E_1 . Erklären Sie ob der Comptoneffekt eine effiziente Möglichkeit ist, Röntgenstrahlung zu absorbieren oder nicht. (Die typische Energie von Photonen aus Röntgenstrahlung ist zwischen 0.1 keV und 10 keV.)

2) Yukawas Meson (≈ 4 Punkte)

Das Heisenbergsche Unschärfeprinzip erlaubt die "Verletzung" von Energieerhaltung um einen Betrag ΔE für eine kurze Zeit Δt solange $\Delta E \Delta t \leq \hbar/2$ erfüllt ist. Auf diese Art und Weise kann ein Proton ein Pion π^+ emittieren (mittels $p^+ \rightarrow n\pi^+$, wobei n ein Neutron ist), solange das Pion schnell genug wieder von einem Neutron absorbiert wird (mittels $n\pi^+ \rightarrow p^+$).

a) Unter Vernachlässigung von kinetischer Energie (d.h. ignorieren Sie Impulserhaltung), um welchen Betrag ΔE ist Energieerhaltung "verletzt"? Unter der Annahme daß das Pion eine Strecke von bis zu 1 fm zurücklegt (die Größe eines Atomkerns), schätzen Sie die Masse des Pions ab. (Sie können vereinfacht annehmen, daß das Pion Lichtgeschwindigkeit hat.) Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der experimentell gemessenen Pionmasse von $m_\pi \simeq 140 \text{ MeV}/c^2$.

b) Benutzen Sie jetzt die gemessene Pionmasse und geben Sie eine Abschätzung für die effektive Reichweite der Kernkraft, die durch solch einen Austausch von Pionen vermittelt wird. Erklären Sie auch ob es sich um eine maximale oder minimale Reichweite ist.

c) Auf die gleiche Weise, bestimmen Sie die Reichweite der schwachen Wechselwirkung, welche durch den Austausch von schweren Z Bosonen mit Masse $m_Z \simeq 90 \text{ GeV}/c^2$ vermittelt wird.

3) Paulis Neutrino (≈ 6 Punkte)

a) Nehmen Sie zunächst an der nukleare β -Zerfall eines Atomkerns A in einen Atomkern B erfolgt durch den 2-Körper-Zerfall $A \rightarrow B + e^-$. Leiten Sie die Energie des emittierten Elektrons gemessen im Ruhesystem von A her:

$$E_e = \frac{m_A^2 - m_B^2 + m_e^2}{2m_A} c^2 \quad (2)$$

b) Betrachten Sie jetzt stattdessen den 3-Körper-Zerfall $A \rightarrow B + e^- + \bar{\nu}_e$. Zeigen Sie, daß die Energie des Elektrons jetzt nicht mehr allein durch die Teilchenmassen bestimmt ist. Zeigen Sie, daß die Ruhemasse des Neutrinos gegen Null gehen muß, damit die Energie des Elektrons maximal so groß werden kann wie im obigen 2-Körper-Zerfall.