

Kern- Teilchen- und Astrophysik I

Prof. Dr. S. Schönert, Prof. Dr. W. Hollik

Wintersemester 2011/12

Blatt 2

Aufgabe 1: Vierervektoren

Die Schwerpunktsenergie (center of mass energy) E_{cm} eines Systems aus 2 Teilchen ist gegeben durch $E_{cm}^2 = s = (p_1 + p_2)^2$, wobei p_1 und p_2 die Viererimpulse $p = (E/c, \vec{p})$ der beiden Teilchen sind.

- Zeigen Sie, dass s lorentzinvariant ist.
- Am Beschleuniger HERA werden Protonen mit $E_p = 920$ GeV mit Elektronen mit $E_e = 27.5$ GeV zur Kollision gebracht. Berechnen Sie die Schwerpunktsenergie des ep -Systems.
- Wie groß müsste die Energie des Elektrons sein, damit bei einem Stoß mit einem ruhenden Proton die gleiche Schwerpunktsenergie vorliegt?

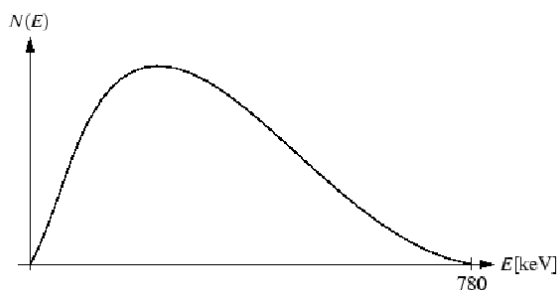
Aufgabe 2: Masse-Reichweite-Beziehung

Die Wechselwirkung zwischen zwei Teilchen kann durch den Austausch von virtuellen Teilchen, sogenannten Eichbosonen mit Masse M beschrieben werden.

- Leiten Sie aus der Heisenbergschen Unschärferelation $\Delta E \Delta t \geq \hbar$ einen Zusammenhang zwischen der Masse der Austauschteilchen und der Reichweite der Wechselwirkung her.
- Wie groß ist die Reichweite der Kernkraft unter der Annahme, dass dabei Pionen zwischen den Nukleonen ausgetauscht werden ($m_\pi = 140$ MeV)?
- Welche Masse müsste das hypothetische Austauschteilchen der Gravitationskraft, das Graviton, demnach besitzen?

Aufgabe 3: Neutronenzerfall

Das gemessene Energiespektrum von Elektronen beim Zerfall des Neutrons hat folgende Form:



- (a) Zeigen Sie, daß diese empirische Tatsache mit einem reinen Zweikörperzerfall $n \rightarrow p + e^-$ nicht zu vereinbaren ist.
- (b) Bei einer Koinzidenzmessung mit einem ruhenden Proton im Endzustand wird die maximale totale Energie des Elektrons experimentell zu $E_0 \approx 760$ keV bestimmt. Ermitteln Sie für das Teilchen X die Masse, die sich aus dem Dreikörperzerfall $n \rightarrow p + e^- + X$ ergibt. (Massen: $m_p = 938,27 \text{ MeV}/c^2$, $m_n = 939,57 \text{ MeV}/c^2$, $m_e = 0,511 \text{ MeV}/c^2$)
- (c) Überlegen Sie sich, wie sich das Energiespektrum qualitativ bei β -Zerfällen in Kernen verändert.

Aufgabe 4: Kernfusion in der Sonne

In der Sonne wird bei der Fusion von Wasserstoff zu Helium gemäß der Summenformel $4p \rightarrow {}^4\text{He} + 2e^+ + 2\nu_e$ Energie freigesetzt.

- (a) Berechnen Sie die Energie, die bei diesem Prozess insgesamt freigesetzt wird. Berücksichtigen Sie dabei auch, dass die erzeugten Positronen in Materie sofort mit Elektronen annihilieren, wobei zusätzliche Energie frei wird. (Anmerkung: etwa 0,6 MeV der freigesetzten Energie verteilt sich auf die beiden Neutrinos.)
- (b) Die Solarkonstante gibt die gesamte auf der Erde (außerhalb der Erdatmosphäre) eintreffende Strahlungsleistung der Sonne an. Sie beträgt $1,37 \text{ kW}/\text{m}^2$. Berechnen Sie die insgesamt von der Sonne freigesetzte Strahlungsleistung und den Massenverlust pro Zeiteinheit. Wieviele Neutrinos werden pro Sekunde von der Sonne emittiert?
- (c) Schätzen Sie die erwartete Lebensdauer der Sonne ab, wenn Sie annehmen, dass die Sonne anfangs komplett aus Wasserstoff bestand und insgesamt etwa 10% davon zu Helium fusionieren können.