

---

**Übung zur Kern- Teilchen- und Astrophysik I**  
**Prof. Dr. S. Schönert, Prof. Dr. W. Hollik**  
**Wintersemester 2012/13**

---

Blatt Nr. 1

17. Oktober 2012

### Aufgabe 1 : Vierervektoren

Die Schwerpunktsenergie (center of mass energy)  $E_{\text{cm}}$  eines Systems aus 2 Teilchen ist gegeben durch  $E_{\text{cm}}^2 = s = (\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2)^2$ , wobei  $\mathbf{p}_1$  und  $\mathbf{p}_2$  die Viererimpulse  $\mathbf{p} = (E/c, \vec{p})$  der beiden Teilchen sind.

- Zeigen Sie, dass  $s$  lorentzinvariant ist.
- Am Beschleuniger HERA werden Protonen mit  $E_p = 920 \text{ GeV}$  mit Elektronen mit  $E_e = 27.5 \text{ GeV}$  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?

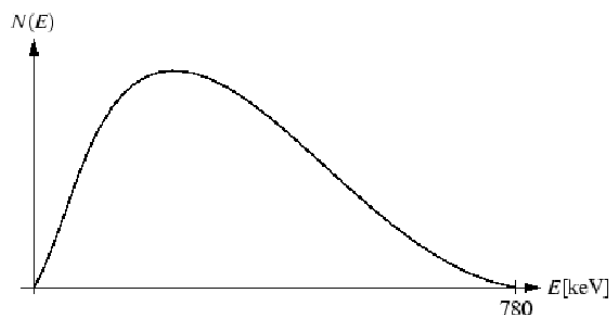
### Aufgabe 2 : Masse-Reichweite-Beziehung

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 Austauscheteilchen und der Reichweite der Wechselwirkung her.
- Wie groß ist die Reichweite der Kernkraft unter der Annahme, dass dabei Pionen zwischen den Nukleonen ausgetauscht werden ( $m_\pi = 140 \text{ MeV}$ )?
- Welche Masse müsste das hypothetische Austauscheteilchen der Gravitationskraft, das Graviton, demnach besitzen?

### Aufgabe 3 : Neutronenzerfall

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



- 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 Energie des Elektrons experimentell zu  $E_0 \approx 760 \text{ keV}$  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  $\beta$ -Zerfällen in Kernen verändert.

#### **Aufgabe 4 : Zerfallsgesetz**

$^{137}\text{Cs}$  zerfällt mit einer Halbwertszeit von  $t_{1/2} = 30.2 \text{ a}$  zu  $^{137}\text{Ba}$ , das mit einer Halbwertszeit von  $t_{1/2} = 2.55 \text{ min}$  unter Aussendung von  $662 \text{ keV}$  Gammas in den Grundzustand zerfällt. Vor 5 Jahren wurde ein reines Caesiumpräparat mit einer Masse  $m = 1.1 \cdot 10^{-10} \text{ kg}$  hergestellt.

- a. Welche Aktivität besaß das Präparat bei der Herstellung?
- b. Wieviele Caesiumatome sind seitdem zerfallen?
- c. Wie groß ist die Aktivität des Präparats heute?