

# Übungen Physik VI (Kerne und Teilchen)

Sommersemester 2010

Übungsblatt Nr. 07

Bearbeitung bis 17.06.2010

## Aufgabe 1: Energieverlust und Bethe–Bloch–Gleichung

Die BETHE–BLOCH–Gleichung beschreibt den Energieverlust schwerer Teilchen auf ihrem Weg durch Materie. Vernachlässigt man die Dichte- und Schalenkorrektur, ist sie gegeben durch:

$$S = -\frac{dE}{dx} = \frac{1}{(4\pi\epsilon_0)^2} \frac{4\pi e^4 z^2}{m_e c^2} N_A \frac{Z}{A} \rho \frac{1}{\beta^2} \left[ \frac{1}{2} \ln \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2 T_{\max}}{I^2} \right) - \beta^2 \right]. \quad (1)$$

$\beta$  ist die Geschwindigkeit normiert auf die Lichtgeschwindigkeit  $\beta = v/c$ ,  $ze$  die Ladung des Teilchens,  $Z$  die Kernladung des Materials, durch welches das Teilchen sich bewegt,  $\rho$  dessen Dichte,  $I$  das mittlere Anregungspotential der Atome und  $T_{\max}$  der maximale Energietransfer bei einem einzelnen Stoß. Für ein einfallendes Teilchen der Masse  $M \gg m_e$  ist  $T_{\max} \approx 2m_e c^2 \beta^2 \gamma^2$ .

- In welcher Weise ist der Energieverlust nichtrelativistischer Teilchen von der Energie abhängig?
- Vergleichen Sie den Energieverlust von Elektronen, Pionen, Kaonen und Protonen der selben kinetischen Energie von 2 GeV beim Durchdringen eines Aluminiumabsorbers von 1 cm Dicke.  
( $m_e = 0.511 \text{ MeV}/c^2$ ,  $m_\pi = 139.57 \text{ MeV}/c^2$ ,  $m_K = 493.68 \text{ MeV}/c^2$ ,  $m_p = 938.27 \text{ MeV}/c^2$ ,  $M_{\text{mol,Al}} = 26.98 \text{ g/mol}$ ,  $Z_{\text{Al}} = 13$ ,  $\rho = 2.7 \text{ g/cm}^3$ ,  $I = 16 \cdot Z^{0.9} \text{ eV}$ )
- Vergleichen Sie den Energieverlust von nichtrelativistischen Pionen, Kaonen, Protonen, Deuteronen ( $m_d \approx 2m_p$ ) und  $\alpha$ - Teilchen ( $m_\alpha \approx 4m_p$ ) der selben kinetischen Energie (z. B. 10 MeV).
- Lässt sich die BETHE–BLOCH–Formel auch für den Durchgang von Elektronen durch Materie verwenden? Begründen Sie ihre Antwort.

## Aufgabe 2: Wechselwirkung von Photonen mit Materie

Die Wechselwirkung zwischen Photonen und Materie kann mittels verschiedener Prozesse stattfinden: Neben elastischer Streuung und photonuklearen Reaktionen sind die wichtigsten Prozesse der Photoelektrische Effekt, Comptonstreuung und Paarerzeugung.

a) **Photoelektrischer Effekt:**

- Der Photoelektrische Effekt kann nur bei gebundenen Elektronen stattfinden. Zeigen Sie, dass freie Elektronen keine Photonen absorbieren können.

b) **Comptonstreuung:**

- Leiten Sie die Gleichung für die Differenz der Wellenlängen eines Photons vor und nach der Comptonstreuung her

$$\lambda' - \lambda = \frac{2h}{m_e c} \sin^2\left(\frac{\theta}{2}\right),$$

dabei ist  $\theta$  der Streuwinkel,  $\lambda$  die Wellenlänge vor und  $\lambda'$  nach der Streuung,  $m_e$  die Masse des Elektrons, und  $h$  das Plank'sche Wirkungsquantum.

- In welchem der folgenden Fälle verliert das Photon prozentual gesehen die meiste Energie?
  - (a) Einfache Comptonstreuung mit  $\theta = 180^\circ$ ?
  - (b) Zweifache Comptonstreuung, jeweils mit  $\theta = 90^\circ$ ?
  - (c) Dreifache Comptonstreuung, jeweils mit  $\theta = 60^\circ$ ?

c) **Paarerzeugung:**

- Wozu benötigt man das Coulombfeld eines Kerns bei der Paarerzeugung?

### Aufgabe 3: Identifikation geladener Teilchen

In einem Experiment erwartet man die Entstehung von  $e^\pm$ ,  $\mu^\pm$ ,  $\pi^\pm$ ,  $K^\pm$  und Protonen mit Impulsen bis zu 1 GeV.

- a) Wie würden Sie diese Arten von Teilchen identifizieren? Schlagen Sie Detektoren vor und erläutern Sie die Vor- und Nachteile verschiedener experimenteller Aufbauten.
- b) Welche Detektorarten würden Sie zur Bestimmung der Teilchenimpulse verwenden? Was sind die Vor- und Nachteile?