

Name:

Gruppe:

## Aufgabenblatt 3 - Physik V - WS 2011/2012

Abgabetermin: 3./4.11.2011 in den Übungen

### Aufgabe 3.1: Elektromagnetische Teilchenkaskaden (20 Punkte)

In einem einfachen Modell für elektromagnetische Teilchenschauer (Kaskaden) strahlt zum Beispiel ein Elektron der Anfangsenergie  $E_0$  im Material nach einer Strahlungslänge  $X_0$  ein Bremsstrahlung photon ab, das nach einer weiteren Strahlungslänge eine Paarerzeugung macht und so weiter (siehe Abbildung 1). Bei jeder Bremsstrahlung oder Paarbildung soll sich die Energie immer gleichmäßig auf die beiden Teilchen verteilen.

- Was ist die Teilchenanzahl  $N$  (Elektronen, Positronen und Photonen zusammengenommen) nach  $t = \frac{X}{X_0}$  Strahlungslängen?
- Irgendwann muss die Kaskade absterben. Das passiert wenn die Energie eines einzelnen Teilchens so klein wird, dass der Energieverlust durch Ionisation größer wird als der durch Bremsstrahlung. An diesem Punkt  $t_{\max}$  erreicht der Schauer sein Maximum. Finden Sie eine Formel für  $t_{\max}$  in Abhängigkeit von  $E_0$  und der kritischen Energie  $E_c$  in diesem Modell. Folgern Sie daraus, dass  $N_{\max}$  proportional zu  $E_0$  ist.
- Dieses Aufschauern von Teilchen wird in sogenannten elektromagnetischen Kalorimetern zur Messung der Energie von Elektronen, Positronen und Photonen verwendet. Dabei erzeugen die entstehenden Teilchen ein Signal, das im Wesentlichen proportional zur Anzahl der Teilchen im Maximum des Schauers  $N_{\max}$  ist und damit auch proportional zu  $E_0$ , wie wir oben gesehen haben. In der Realität ist dies ein statistischer Prozess und die Anzahl der Teilchen im Maximum gehorcht einer Poisson-Verteilung mit Mittel  $N_{\max}$  und Standardabweichung  $\sqrt{N_{\max}}$ . Die Messunsicherheit  $\Delta E$  wird von dieser statistischen Unsicherheit bestimmt. Geben Sie die Energieauflösung  $\frac{\Delta E}{E}$  in Anhängigkeit von der gemessenen Energie  $E \approx E_0$  an.

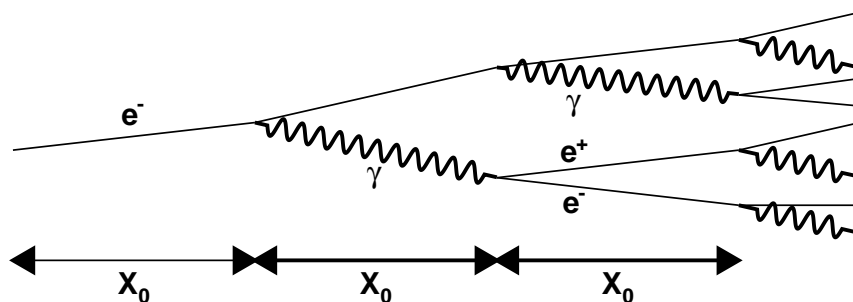


Abbildung 1: Schematische Darstellung eines elektromagnetischen Teilchenschauers.

### Aufgabe 3.2: Teilchenreaktionen (20 Punkte)

Welche der folgenden Reaktionen sind durch die Erhaltung von Quantenzahlen verboten? Falls eine Reaktion nicht möglich ist, bitte begründen. Nehmen Sie an, dass bei mehr als einem Teilchen im Anfangszustand genug Energie zur Erzeugung der Teilchen vorhanden ist.

- $\nu_e + \mu^- \rightarrow \nu_\mu + e^-$

- b)  $p + n \rightarrow \Lambda + \pi^+$
- c)  $e^+ + e^- \rightarrow \pi^+ + \pi^- + \pi^+ + \pi^+$
- d)  $\mu^- \rightarrow e^- + \bar{\nu}_e$
- e)  $\Sigma^0 \rightarrow \Lambda + \gamma$
- f)  $p \rightarrow n + e^+ + \bar{\nu}_e$
- g)  $\Sigma^{*0} \rightarrow \Sigma^+ + \pi^-$
- h)  $\tau^- \rightarrow \pi^- \nu_\tau$
- i)  $K^- \rightarrow \bar{\nu}_e + e^- + \pi^0$
- j)  $p + p \rightarrow J/\psi + \pi^0 + \Delta^{++}$

### Aufgabe 3.3: Spinstatistik (30 Punkte)

Das neutrale  $\rho^0$  meson (Spin  $S_\rho = 1$ ) zerfällt in zwei geladene Pionen (Spin  $S_\pi = 0$ )  $\rho^0 \rightarrow \pi^+ \pi^-$  mit einem Verzweigungsverhältnis von annähernd 100 %. Der Zerfall  $\rho^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$  wird nicht beobachtet. Zeigen Sie, dass  $\rho^0 \rightarrow \pi^0 \pi^0$  tatsächlich verboten ist.

*Hinweis: Die beiden  $\pi^0$  im Endzustand sind identisch und gehorchen der Bosestatistik, d.h. die Endzustandswellenfunktion muss symmetrisch unter Teilchenvertauschung sein.*

### Aufgabe 3.4: Isospin der starken Wechselwirkung (30 Punkte)

Die Äquivalenz von Neutron und Proton bezüglich der starken Wechselwirkung führte zur Definition des starken Isospins. Das ermöglicht die Betrachtung von Nukleon-Systemen mit dem selben Formalismus durchzuführen, wie er zur Behandlung von Spins in der Quantenmechanik eingeführt wurde.

- a) Betrachten Sie ein System aus zwei Nukleonen (Proton und Neutron). Bestimmen Sie die möglichen Isospinzustände ( $I, I_3$ ) von  $p + p$ ,  $p + n$ ,  $n + n$ .
- b) Begründen Sie, warum das Deuteron ein Isospin-Singulett ( $I = 0$ ) sein muss.  
*Hinweis: Das Deuteron besteht aus einem Proton und einem Neutron. Es hat den Spin  $S = 1$  und eine symmetrische Ortswellenfunktion.*
- c) Nutzen Sie die Isospin-Invarianz der starken Wechselwirkung, um zu zeigen, dass in der Deuteronen-Produktion gilt:

$$\frac{\sigma(pp \rightarrow \pi^+ d)}{\sigma(np \rightarrow \pi^0 d)} = 2$$

*Hinweis 1: Pionen haben Isospin  $I=1$  und ihr  $I_3$  entspricht ihrer Ladung, also  $I_3 = \frac{q}{e}$ .*

*Hinweis 2: Nehmen Sie an, dass alle Isospinkombinationen der einfallenden Teilchen gleich wahrscheinlich sind.*