

Beginn der Übungsgruppen  
Gruppe I/II: Mi 11.11. 14-16 Uhr, Raum SRG 1 3.009/3.013  
Gruppe III: Mi 11.11. 16-18 Uhr, Raum P1-01-306

**Aufgabe 1: Kinematik** (5 Punkte)

Zwei Protonen kollidieren und produzieren ein drittes Teilchen  $\chi$  der Masse  $M$ :

$$p + p \rightarrow \chi + p + p$$

- Berechnen Sie die minimale Energie der kollidierenden Protonen im Schwerpunktsystem der Kollision, für welche die Reaktion kinematisch noch erlaubt ist.
- Berechnen Sie mit Hilfe des Ergebnisses aus (a) den kleinsten Impuls im Laborsystem (d.h. eines der anfänglichen Protonen ruht), für welchen die Reaktion noch erlaubt ist.

**Aufgabe 2: Mehr Kinematik** (5 Punkte)

Entscheiden Sie, ob die folgenden Prozesse kinematisch erlaubt sind, und begründen Sie Ihre Antwort:

- Ein Photon kollidiert mit einem Elektron und überträgt dabei seine gesamte Energie auf das Elektron.
- Ein Photon zerfällt in eine Elektron-Positron-Paar.
- Ein sich bewegendes Positron und eine ruhendes Elektron annihilieren in ein Photon.

**Aufgabe 3: Noch mehr Kinematik** (5 Punkte)

Ein Photon habe einen 4er-Impuls  $k^\mu = (E, 0, 0, E)$  mit  $k^2 = 0$ . Es streue an einem ruhenden Elektron der Masse  $m_e$ . Nach der Streuung ergibt sich der 4er-Impuls des Photons zu  $k'^\mu = (E', E' \sin \theta, 0, E' \cos \theta)$  mit dem Streuwinkel  $\theta$ . Zeigen Sie, dass die Endzustandsenergie  $E'$  des Photons gegeben ist durch:

$$E' = \frac{E}{1 + \frac{E}{m_e} (1 - \cos \theta)}.$$

**Aufgabe 4: Verrückte Zerfälle** (5 Punkte)

Erläutern Sie, warum die folgenden Prozesse nicht beobachtet werden. Fall es mehr als einen Grund pro Zerfall gibt, dann nennen Sie alle ( $X$  steht im Folgenden für einen Atomkern)!

- $p \rightarrow e^- + \pi^0$ ,
- $\mu^- \rightarrow \tau^- + \gamma$ ,
- ${}^A_Z X \rightarrow {}^A_{Z+2} X + e^- + e^-$ ,
- $h^0 \rightarrow t\bar{t}$ .