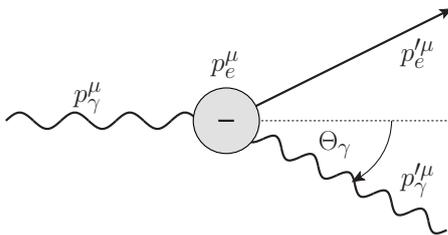


Übungsbetreuung: Seraina Glaus (seraina.glaus@kit.edu) (Raum 12/08 - Geb. 30.23)

### Aufgabe 1: Streuprozess - Compton-Effekt

Ein Photon streut an einem ruhenden Elektron und überträgt dabei Energie und Impuls auf das Elektron. In dieser Aufgabe soll nun die Energie  $E'_\gamma$  des Photons nach der Streuung in Abhängigkeit des Streuwinkels  $\Theta_\gamma$  mittels Energie-Impuls-Vektoren  $p^\mu$  bestimmt werden. Diese sind gegeben durch Energie  $E$  und Impuls  $\vec{p}$  des Teilchens  $p^\mu = (E/c, \vec{p})$ .



Das Quadrat der Energie-Impuls-Vektoren ist invariant unter Lorentz-Transformationen und gegeben durch die invariante Ruhemasse des Teilchens  $m_0$  gemäß

$$p^2 = p_\mu p^\mu = m_0^2 c^2 = \frac{E^2}{c^2} - \vec{p}^2.$$

- (a) Nutzen Sie die Energie-Impulserhaltung ausgedrückt durch  $p^\mu$  aus, um die Energie des Photons nach dem Stoß zu bestimmen. Gehen Sie wie folgt vor:
- (i) Lösen Sie die Gleichung der Energie-Impuls-Vektoren des Elektrons  $p_e^\mu$  und des Photons  $p_\gamma^\mu$  vor dem Stoß und des Elektrons  $p'_e^\mu$  und des Photons  $p'_\gamma^\mu$  nach dem Stoß nach  $p_e^\mu$  auf.
  - (ii) Quadrieren Sie die resultierenden Energie-Impuls-Vektoren auf beiden Seiten der Gleichung und verifizieren Sie, dass die Energie des auslaufenden Photons  $E'_\gamma$  als Funktion der Elektronenmasse  $m_e$ , des Streuwinkels  $\Theta_\gamma$  und der Energie des einlaufenden Photons  $E_\gamma$  durch

$$E'_\gamma = E_\gamma \cdot \left( 1 + \frac{E_\gamma}{m_e c^2} (1 - \cos \Theta_\gamma) \right)^{-1}$$

gegeben ist. *Hinweis:* Es gilt  $\vec{p}_\gamma \vec{p}'_\gamma = |\vec{p}_\gamma| |\vec{p}'_\gamma| \cos \Theta_\gamma$ . Die Ruhemasse des Photons ist  $m_\gamma = 0$ , damit können Sie  $|\vec{p}_\gamma|$  direkt als Funktion von  $E_\gamma$  ausdrücken.

- (b) Die Energie eines Photons ist durch seine Wellenlänge  $\lambda$  gemäß  $E_\gamma = 2\pi\hbar c/\lambda$  gegeben. Bestimmen Sie die Differenz der Wellenlängen  $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ .

## Aufgabe 2: Dopplereffekt

Einem Raumschiff  $S'$ , welches sich mit der konstanten Geschwindigkeit  $v$  von der Erde  $S$  wegbewegt, werden in periodischen Abständen  $T_0$  Radiosignale hinterhergesandt und von diesem wieder zur Erde zurück. Zeige, dass

- (a) die Signale aus der Sicht der Erde in Perioden von  $T_1 = \frac{T_0}{1-\frac{v}{c}}$  bei dem Raumschiff ankommen.
- (b) die Signale aus der Sicht des Raumschiffs in Perioden von  $T'_1 = T_0 \sqrt{\frac{c+v}{c-v}}$  bei dem Raumschiff ankommen.
- (c) die Signale aus der Sicht der Erde in Perioden von  $T_2 = T_0 \frac{c+v}{c-v}$  auf der Erde ankommen.

## Aufgabe 3: Lorentz-Transformation: Der Einstein-Zug

Der Einstein-Zug  $S'$  bewegt sich in positive  $x$ -Richtung mit der Geschwindigkeit  $v = 0.6c$  zum Bahnhof  $S$ , so dass die Ursprünge der Koordinatensysteme am Zugende ( $x' = 0$ ) bzw. der hinteren Bahnsteigkante ( $x = 0$ ) zur Zeit  $t = t' = 0$  in Deckung sind.  $S'$  gibt zur Zeit  $t' = 0$  einen Schuss in positive  $x'$ -Richtung auf die Lokomotive ab. Er stellt fest, dass das Geschoss eine Geschwindigkeit von  $u' = 0.8c$  hat und in die Lokomotive einschlägt. Anschliessend bestimmt er die Länge des Zuges zu  $s' = 3$  Lichtsekunden.

- (a) Welche Zuglänge  $s$  misst  $S$ ?
- (b) Welche Laufzeit  $\Delta t$  misst  $S$  für das Geschoss?
- (c) Welche Geschwindigkeit  $u$  misst  $S$  für das Geschoss?