

# Moderne Physik für Informatiker

Vorlesung: Prof. Dr. M.M. Mühlleitner, Übung: Dr. M. Sekulla

## Übungsblatt 9

Besprechung: Di, 21.06.2016

Webseite zur Vorlesung: <http://www.itp.kit.edu/~sekulla/MPFI/>

Übungen: Di, 15:45-17:15 Uhr, Lehmann-Hörsaal

### Aufgabe 26: GPS vs. Handy

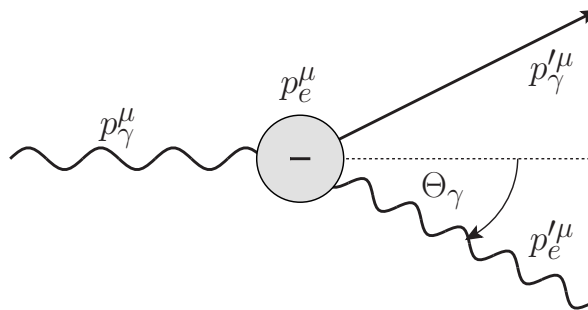
Berechnen Sie die Zeitdilatation eines geostationären Satelliten in einer Höhe von 35000 km über der Erdoberfläche relativ zu einem auf der Erdoberfläche befindlichen Mobiltelefon.

- (a) Bestimmen Sie zunächst die Geschwindigkeit des Mobiltelefons und des Satelliten.  
*Hinweis:* Der Radius der Erde beträgt ungefähr  $R_E \approx 6380$  km.

- (b) Welche Abweichung der Eigenzeiten ergibt sich nach einem Umlauf um die Erde?  
Welche Strecke würde das Licht in dieser Zeitdifferenz zurück legen?

*Hinweis:* Verwenden Sie  $c = 3 \cdot 10^8 \frac{m}{s}$ .

### Aufgabe 27: Stoßprozess



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

$$p^\mu = \left( \frac{E}{c}, \vec{p} \right).$$

---

Das Quadrat der Energie-Impuls-Vektoren ist invariant unter Lorentztransformationen und definiert durch die Ruhemasse des Teilchens  $m_0$ ,

$$p^2 = p_\mu p^\mu = m_0^2 c^4 = \frac{E^2}{c^2} - \vec{p}^2.$$

- (a) Wie transformiert sich ein in Ruhe befindliches Teilchen ( $\vec{p} = \vec{0}$ ) mit Ruhemasse  $m_0$  unter einem Lorentzboost mit  $\vec{\beta} = (\beta, 0, 0)$ ?
- (i) Betrachten Sie die Energie des Teilchens im resultierendem IS. Vergleichen Sie dies mit Einsteins Mass-Energie-Äquivalenz  $E = mc^2$ .
- (b) Nun nutzen Sie die Energie-Impulserhaltung 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  $p_\gamma^\mu$  und des Photons  $p_e^\mu$  vor dem Stoß und des Elektrons  $p_\gamma'^\mu$  und des Photons  $p_e'^\mu$  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:* Die Ruhemasse des Photons ist  $m_\gamma = 0$ , damit können Sie  $|\vec{p}_\gamma|$  direkt als Funktion von  $E_\gamma$  ausdrücken.

- (c) Die Energie eines Photons ist durch seine Wellenlänge  $\lambda$  gegeben,

$$E_\gamma = \frac{2\pi\hbar}{\lambda},$$

mit Planckschen Wirkungsquantum  $\hbar$ . Bestimmen Sie die Differenz der Wellenlängen  $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$ .