

Übungszettel im Netz unter <http://www.tp4.rub.de/hat/>

### Aufgabe 17: Der relativistische Dopplereffekt (6 Punkte)

Sie fahren in Ihrem (relativistisch schnellen) Auto auf eine Ampel zu. Die Ampel erscheint Ihnen blau ( $\lambda_1 = 495 \text{ nm}$ ). Nachdem Sie an der Ampel vorbeigefahren sind, erscheint Ihnen die Ampel im Rückspiegel rot ( $\lambda_2 = 680 \text{ nm}$ ).

- Welche Farbe zeigte die Ampel für den neben der Ampel stehenden Polizisten an, kann er Sie aufgrund eines Rotlichtverstoßes belangen?
- Kann er Sie auf Grund eines Geschwindigkeitsverstoßes belangen (berechnen Sie Ihre Geschwindigkeit im System des Polizisten)?
- Sie sind dem Polizisten gerade noch entwischt (dieser besaß *kein* relativistisches Gefährt und möchten nun EinsLive hören (Empfangsfrequenz ist im Ruhenden Auto UKW 106,7 MHz). Auf welche Frequenz müssen Sie Ihr Radio in Ihrem relativistischen Auto einstellen, um den Sender zu empfangen, wenn Sie sich vom Sendemast wegbewegen? Welche Frequenz müssen Sie einstellen, wenn Sie sich direkt auf den Sendemast zubewegen?

### Aufgabe 18: Geschwindigkeitsaddition (10 Punkte)

Ein Zug bewege sich mit relativistischer Geschwindigkeit  $\vec{v} = v \cdot \vec{e}_z$  von einem am Bahnsteig stehenden Beobachter weg. Da es anfängt zu dämmern, schaltet der relativistische Zug seine Scheinwerfer an, welche im Zugsystem  $\Sigma'$  eine Geschwindigkeit  $\vec{u}'$  besitzt.

Im Folgenden soll für verschiedene Fälle die im Bahnsteigsystem  $\Sigma$  beobachtete Geschwindigkeit  $\vec{u}$  des Scheinwerferlichts bestimmt werden:

- Für das Scheinwerferlicht gilt i.A. im Zugsystem  $\Sigma'$ :  $\vec{u}'^2 = c^2$ . Berechnen Sie  $\vec{u}^2$ .
- Im Zugsystem  $\Sigma'$  geben nun die Scheinwerfer ihr Licht entlang der y-Achse (also senkrecht zur Fahrtrichtung) ab:  $\vec{u}'^t = (0, c, 0)$ . Bestimmen Sie die Geschwindigkeit des Scheinwerferlichts  $\vec{u}$  im Bahnsteigsystem  $\Sigma$ . Wie groß ist der Betrag von  $\vec{u}$ ?

### Aufgabe 19: Relativistische Rakete (14 Punkte)

In der Vorlesung wurde besprochen, dass Licht (=Photonen) durch seine Teilcheneigenschaften auch einen Impuls besitzt, der sich aus der Energie ergibt:  $E_\gamma = |\vec{p}| \cdot c$ . Durch den Rückstoß der Photonen kann theoretisch eine Rakete angetrieben werden. Dieses Szenarium soll in dieser Aufgabe durchgegangen werden:

Eine Rakete mit einem idealen Photonenantrieb fliegt mit einer konstanten Beschleunigung  $a = 10 \text{ m/s}^2$ . Das Startgewicht der Rakete sei  $m_0$ . Im Lauf der Zeit nimmt die Raketenmasse ab, die Masse wird in die Energie der Photonen umgewandelt und zum Raketenantrieb verwendet. Nach welcher Zeit, gemessen im mitbewegten System der Rakete, beträgt die Masse nur noch 1/100 der ursprünglichen Startmasse?

*Hinweis (1):* Verwenden Sie Energie- und Impulserhaltung ( $d/dt(E) = 0$  und  $d/dt(\vec{p}) = 0$ ) und beachten Sie hierbei, dass die Masse der Rakete nicht konstant ist!

*Hinweis (2):* Energie- und Impuls hängen, wie in der Vorlesung diskutiert, wie folgt zusammen:

$$E^2 - \vec{p}^2 c^2 = m^2 c^4. \quad (1)$$

Insbesondere gilt für Photonen  $E_\gamma = |\vec{p}| \cdot c$ .