

1. Zwei Blitze treffen die beiden Enden eines **20 m** langen Eisenbahnwaggon, der sich entlang der x -Achse mit einer Geschwindigkeit von $v = 200 \text{ km h}^{-1}$ bewegt. Für einen Beobachter außerhalb des Zuges wird der Waggon gleichzeitig getroffen.

Welche Zeitdifferenz zwischen den beiden Blitzen messen die Mitfahrer? (*Lösung*: $-12,3 \text{ fs}$)

2. **Gleichzeitigkeit.** Man zeige graphisch mit Hilfe der Lorentz-Transformation und rechnerisch, dass zwei im Bezugssystem S gleichzeitige ($t_1 = t_2$), aber örtlich getrennte Ereignisse im Allgemeinen im Bezugssystem S' nicht gleichzeitig sind.

3. **μ -Mesonen.** Die **mittlere Lebensdauer** τ von μ -Mesonen beträgt im Ruhssystem etwa $2 \cdot 10^{-6} \text{ s}$. Ein hoch in der Erdatmosphäre entstehender Puls dieser Teilchen bewege sich mit $v = 0,99c$ erdwärts. Die Anzahl der Teilchenstöße in der Erdatmosphäre ist vernachlässigbar. Man bestimme die **Entstehungshöhe** h , wenn **1%** der ursprünglich vorhandenen Mesonen die Erdoberfläche erreicht. (*Lösung*: $h = 1,94 \cdot 10^4 \text{ m}$)

Hinweis: Im Ruhssystem der μ -Mesonen beträgt die Anzahl der zum Zeitpunkt t überlebenden Teilchen $n(t) = n(0) \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$.

4. **Relativistische Geschwindigkeitsaddition.** Wir betrachten zwei Inertialsysteme S und S' , wobei sich S' mit der Geschwindigkeit V in x -Richtung gegenüber S bewegt.

a) Berechnen Sie allgemein die Komponenten des Geschwindigkeitsvektors (v_x, v_y, v_z) in S als Funktion der Komponenten des Geschwindigkeitsvektors (v'_x, v'_y, v'_z) in S' .

b) Zeigen Sie, dass aus $v'^2_x + v'^2_y + v'^2_z = c^2$ folgt: $v^2_x + v^2_y + v^2_z = c^2$.

5. **Aberration des Lichtes.** Ein Fixstern (ruhend im System S) sendet Licht zur Erde (bewegtes System S'). Auf der Erde wird das einfallende Licht unter dem Winkel θ' beobachtet.

a) Berechnen Sie allgemein den Unterschied der Beobachtungswinkel (Nachstellwinkel $\alpha = \theta - \theta'$) in S und S' . (*Lösung*: $\alpha = \frac{v}{c} \sin \alpha$)

b) Berechnen sie α für die Umlaufgeschwindigkeit der Erde, $v_E = 30 \text{ km s}^{-1}$ und senkrechten Lichteinfall ($\theta = 90^\circ$). (*Lösung*: $\alpha = 0,0057^\circ$)

Hinweis: Die Größe v/c sowie der Winkel α können als sehr klein angenommen werden (Reihenentwicklung!).

6. Ein **Wasserstoffatom** bewegt sich mit der Geschwindigkeit $v = 0,01c$ und emittiert dabei die H_α -Linie ($\lambda = 656,276 \text{ nm}$).

Berechnen Sie die wahrzunehmende Wellenlänge für folgende Bewegungsfälle:

a) auf den Beobachter zu, (*Lösung*: $649,7 \text{ nm}$)

b) vom Beobachter weg, (*Lösung*: $662,9 \text{ nm}$)

c) gegen die Beobachtungsrichtung unter einem Winkel von 90° . (*Lösung*: $656,3 \text{ nm}$)