

- 1. Volumsänderung.** Ein Würfel hat im Ruhssystem die Kantenlänge l_0 und damit das Volumen $V = l_0^3$.

→ Zeigen Sie, dass sich das Volumen des Würfels in einem Bezugssystem, welches sich mit der Geschwindigkeit v parallel zu einer Würfelkante bewegt, zu $V' = l_0^3 \cdot \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}$ ändert.
- 2. Relativistische Geschwindigkeitsaddition.** In S' gilt $v_x' = c \cdot \cos \varphi$, $v_y' = c \cdot \sin \varphi$.

→ Zeigen Sie, dass in S die Beziehung $v_x^2 + v_y^2 = c^2$ gilt, wenn sich S' relativ zu S mit der Geschwindigkeit V in x -Richtung bewegt!
- 3. 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: $\alpha = \frac{v}{c} \sin \theta$)

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

→ Berechnen Sie die wahrzunehmende Wellenlänge für folgende Bewegungsfälle:

a) auf den Beobachter zu, (Lösung: 649,7 nm)
b) vom Beobachter weg, (Lösung: 662,9 nm)
c) gegen die Beobachtungsrichtung unter einem Winkel von 90° . (Lösung: 656,2 nm)
- 5.** Peter wird nach einer lichtgeregelten Kreuzung von einem Polizisten aufgehalten. Dieser behauptet, Peter habe die Kreuzung bei rot ($\lambda = 660 \text{ nm}$) überfahren. Peter behauptet jedoch, dass die Ampel grün ($\lambda = 530 \text{ nm}$) war.

→ Mit welcher Geschwindigkeit überfuhr Peter die Kreuzung? (Lösung: $0,22c$)
- 6. Relativistische Geschwindigkeiten:** In elektrischen Feldern können Teilchen sehr hohe Geschwindigkeiten und damit sehr hohe **kinetische Energien** erreichen. In einem Elektronenmikroskop erreichen **Elektronen** kinetische Energien von **200 keV**.

a) Drücken Sie diese Energie in J aus. (Lösung: $E_{kin} = 3,204 \cdot 10^{-14} \text{ J}$)
b) Berechnen Sie die Geschwindigkeit der Elektronen im Laborsystem unter Verwendung der relativistischen Energiebeziehung. (Lösung: $v = 0,7 c$)
c) Berechnen Sie analog die Geschwindigkeit von Protonen derselben Energie. (Lösung: $v = 0,021 c$)
d) Berechnen Sie die Geschwindigkeiten der beiden Teilchensorten klassisch. In welchem Fall weist die klassische Näherung einen merkbaren Unterschied zur relativistischen Rechnung auf?