

- 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  $\theta'$  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  $\alpha$  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  $\alpha$  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  $90^\circ$ . (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?