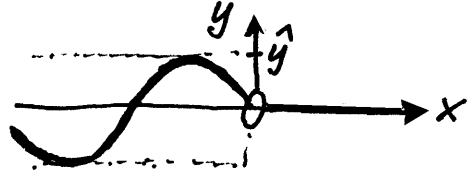


Musterprüfung

- Themen:
- ▶ Wellenoptik
 - ▶ Spezielle Relativitätstheorie

WL.1) Zur Zeit $t=0$ taucht im Koordinatenursprung eine harmonische Welle auf, die sich mit einer Geschwindigkeit von 3.5 m/s in Richtung der positiven x -Achse bewegt. Ihre Wellenlänge misst 2.8 m .



- a) Wie gross ist die Frequenz der Welle?
- b) Welche Frequenz nimmt ein Beobachter wahr, der sich mit einer Geschwindigkeit von 2.1 m/s in Gegenrichtung zur Welle bewegt?
- c) Formuliere eine mathematische Funktion, welche die skizzierte Welle darstellt für $\hat{y} = 24 \text{ cm}$.

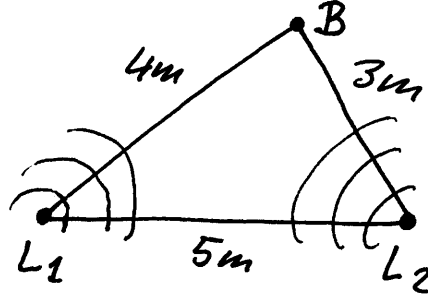
WL.2) Ein Elektronenstrahl trifft auf einen Doppelspalt. Die Spalten haben einen Abstand von $1.0 \mu\text{m}$. Die Elektronen haben eine Geschwindigkeit von 2.9 km/s .

- a) Wie gross ist der Beugungswinkel für das Intensitätsmaximum erster Ordnung?
- b) Wie viele Beugungsordnungen könnte man höchstens beobachten?

WL.3) In einem H-Atom umkreist ein Elektron ein Proton auf einer Kreisbahn mit einem Radius von 0.0529 nm (Bohrsches Atommodell). Wie gross ist dann die Bahngeschwindigkeit des Elektrons, wenn es auf der Kreisbahn eine stehende Welle bildet so, dass $\lambda_{\text{Elektron}} = \text{Kreisumfang} = 2\pi r$?

WL.4) Eine Lokomotive gibt vor der Einfahrt in einen Tunnel ein akustisches Signal der Frequenz 440Hz ab. Der Berg reflektiert das Signal. Mit welcher Frequenz hört der Lokführer das Signal, wenn seine Lok mit 126km/h fährt und der Schall sich mit 334m/s ausbreitet?

WL.5) Zwei punktförmige Lautsprecher einer Lautsprecheranlage emittieren das gleiche kohärente (phasengleiche) akustische Signal mit einer Frequenz von 665Hz . Ein Beobachter befindet sich im Abstand von 3 und 4m von den Schallquellen. Bestimme, ob sich die Schallwellen beim Beobachter verstärken (konstruktive Interferenz) oder abschwächen (destruktive Interferenz). Begründe die Antwort mit einer Berechnung! Die Schallgeschwindigkeit sei 334m/s .



SRT.1) Ein $3.5 \cdot 10^{-25}\text{kg}$ schwerer Körper wurde auf 99.9% der Lichtgeschwindigkeit beschleunigt.

a) Wie gross ist dann seine Impulsmasse?

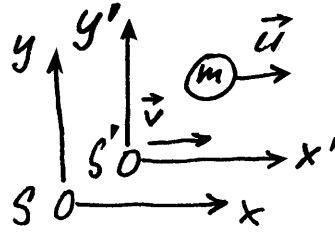
b) Welche Beschleunigungsarbeit musste am Körper verrichtet werden, um ihn auf diese Geschwindigkeit zu beschleunigen?

SRT.2) Um 1kg Wasser zu verdampfen, wird 2257kJ Wärme benötigt. Um wie viel ist die Masse des Dampfes grösser als die Masse des siedenden Wassers?

SRT.3) Durch Annihilation entstehen aus einem Elektron und einem Positron zwei Photonen (γ -Teilchen).

Berechne die Wellenlänge der Photonen.

SRT.4) In einem Inertialsystem S' bewegt sich eine Kugel mit einer Geschwindigkeit u' von $0.8c$.



Wie schnell bewegt sich die Kugel im Inertialsystem S , wenn das Inertialsystem S' sich gegenüber S mit einer Geschwindigkeit v von $0.6c$ bewegt? Berechne auch die Geschwindigkeit der Kugel, wenn sie sich im Inertialsystem S' mit einer Geschwindigkeit u' von $0.8c$ in Gegenrichtung zu v bewegt.

SRT.5) Eine Astronautin fliegt mit einer Geschwindigkeit von $0.8c$ zu einem Stern, der 6 Lichtjahre von der Erde entfernt ist.

a) Wie lang ist der Weg aus der Sicht der Astronautin?

b) Wie lange dauert die Reise aus der Sicht der Astronautin?

c) Wie lange dauert die Reise aus der Sicht eines Erdbewohners?

SRT.6) Die Strahlungsleistung der Sonne ist $3.8 \cdot 10^{26} \text{ W}$. Um wie viele Kilogramm wird die Sonne pro Sekunde leichter.

SRT.7) Der nächste Fixstern (Proxima Centauri) ist 4.3 Lichtjahre von der Erde entfernt.

a) Bei welcher Geschwindigkeit würde die Reise zu diesem Stern aus der Sicht des Astronauten 4.3 Jahre dauern?

b) Wie lange dauert die Reise aus der Sicht der Erdbewohner?

Musterlösungen:

$$\text{WL. 1a)} \quad f = c/\lambda = (3.5/2.8)\text{Hz} = \underline{\underline{1.25\text{Hz}}}$$

$$\text{b)} \quad f_E = f(c+v_E)/c = 1.25\text{Hz}(3.5+2.1)/3.5 = \underline{\underline{1.6\text{Hz}}}$$

$$\begin{aligned} \text{c)} \quad y(x,t) &= \hat{y} \cdot \sin\left(-\frac{2\pi}{\lambda}x + 2\pi ft\right) \\ &= 24\text{cm} \cdot \sin\left(-\frac{2\pi}{2.8\text{m}}x + 2\pi \cdot 1.25\text{t/s}\right) \\ &= \underline{\underline{24\text{cm} \cdot \sin\left(-\frac{2.24}{\text{m}} \cdot x + \frac{7.85}{\text{s}} \cdot t\right)}} \end{aligned}$$

$$\text{WL. 2a)} \quad \lambda = \frac{h}{m_e v} = \frac{6.626 \cdot 10^{-34}}{9.109 \cdot 10^{-31} \cdot 2900} \text{ m} = 250.83\text{nm}$$

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= \arcsin(\lambda/d) = \arcsin(250.83\text{nm}/(1000\text{nm})) \\ &= \underline{\underline{14.5^\circ}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{b)} \quad \alpha_m &= \arcsin(m \cdot \lambda/d) \rightarrow m \cdot \lambda/d \leq 1 \rightarrow \\ m &\leq d/\lambda = 1000/250.83 = 3.99 \rightarrow \\ &\text{Höchstens } \underline{\underline{3. \text{ Ordnung}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WL. 3)} \quad v &= \frac{h}{m_e \lambda} = \frac{h}{2\pi m_e r} = \frac{6.626 \cdot 10^{-34} \text{ m/s}}{2\pi \cdot 9.109 \cdot 10^{-31} \cdot 0.0529 \cdot 10^{-9}} \\ v &= \underline{\underline{2.19 \cdot 10^3 \text{ km/s}}} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{WL. 4)} \quad f_0 &\leftarrow f_E = f_0 \cdot \frac{c}{c-v} \rightarrow f_E' = f_E \cdot \frac{c+v}{c} \\ &\rightarrow f_E' = f_0 \cdot \frac{c}{c-v} \cdot \frac{c+v}{c} = f_0 \frac{c+v}{c-v} \\ &= 440\text{Hz} \frac{334+35}{334-35} = \underline{\underline{543\text{Hz}}} \end{aligned}$$

$$\text{WL. 5)} \quad \lambda = c/f = (334/665)\text{m} = 50.2\text{cm}$$

$$\overline{L_1 B} - \overline{L_2 B} = (4-3)m = 1m = \Delta s$$

$$\Delta s / \lambda = 100 \text{ cm} / (50.2 \text{ cm}) = 1.991 \approx 2$$

Antw.: Verstärkung, resp. konstruktive Interferenz.

Begründung: Der Wegunterschied ist nahezu ein ganzzahliges Vielfaches der Wellenlänge.

$$\text{SRT. 1a)} \beta = 0.999 \rightarrow \gamma = \frac{1}{\sqrt{1-0.999^2}} = 22.366$$

$$m = \gamma m_0 = 22.366 \cdot 3.5 \cdot 10^{-25} \text{ kg}$$

$$m = \underline{\underline{7.8 \cdot 10^{-24} \text{ kg}}}$$

$$\text{b)} E_{\text{kin}} = (m - m_0) c^2 = (7.828 \cdot 10^{-24} - 3.5 \cdot 10^{-25}) \cdot (2.998 \cdot 10^8)^2 \text{ J} = \underline{\underline{0.67 \mu\text{J}}}$$

$$\text{SRT. 2)} \Delta m = \Delta E / c^2 = (2257 \cdot 10^3 / (2.998 \cdot 10^8)^2) \text{ kg}$$

$$\Delta m = 2.51 \cdot 10^{-11} \text{ kg} = 25.1 \text{ ng} = \underline{\underline{0.0251 \mu\text{g}}}$$

$$\text{SRT. 3)} 2m_e c^2 = hc / \lambda \rightarrow \lambda = hc / (2m_e c^2) =$$

$$[6.626 \cdot 10^{-34} \cdot 2.998 \cdot 10^8 / (2 \cdot 9.109 \cdot 10^{-31} \cdot$$

$$(2.998 \cdot 10^8)^2)] \text{ m} = 1.21 \cdot 10^{-12} \text{ m} = \underline{\underline{1.21 \text{ pm}}}$$

$$\text{SRT. 4)} u = \frac{u' + v}{1 + \frac{u'v}{c^2}} = \frac{0.8c + 0.6c}{1 + 0.8 \cdot 0.6} = \frac{1.4c}{1.48} = \underline{\underline{0.946c}}$$

$$u_- = \frac{-0.8c + 0.6c}{1 + \frac{(-0.8) \cdot 0.6}{1}} = \frac{-0.2c}{1 - 0.48} = \frac{-0.2c}{0.52} = \underline{\underline{-0.385c}}$$

$$\text{SRT. 5a)} x' = \frac{x}{\gamma} = \frac{6 \text{ ly}}{1/\sqrt{1-0.8^2}} = \frac{6 \text{ ly}}{1/0.6} = \underline{\underline{3.6 \text{ ly}}}$$

$$b) t' = x'/v = 3.6 \text{ ly} / (0.8c) = \underline{\underline{4.5a}}$$

$$c) t = x/v = 6 \text{ ly} / (0.8c) = \underline{\underline{7.5a}}$$

$$\begin{aligned} \text{SRT.6) } P &= \frac{\Delta E}{\Delta t} = \frac{\Delta m \cdot c^2}{\Delta t} = \frac{\Delta m}{\Delta t} \cdot c^2 \rightarrow \frac{\Delta m}{\Delta t} = \frac{P}{c^2} \\ &= \frac{3.8 \cdot 10^{26}}{(2.998 \cdot 10^8)^2} \cdot \frac{\text{kg}}{\text{s}} = \underline{\underline{4.2 \cdot 10^9 \text{ kg/s}}} = 4.2 \text{ Mio. t/s} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{SRT.7a) } x' &= v \cdot t' = x/\gamma = 4.3 \text{ ly} / \gamma \\ v \cdot 4.3a &= 4.3 \text{ ly} / \gamma \rightarrow v = \frac{4.3 \text{ ly}}{4.3a} \cdot \frac{1}{\gamma} = \frac{c}{\gamma} \\ \rightarrow \frac{v}{c} &= \frac{1}{\gamma} = \sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}} \\ \xrightarrow{\text{quadr.}} \frac{v^2}{c^2} &= 1 - \frac{v^2}{c^2} \rightarrow v = \frac{c}{\sqrt{2}} = \underline{\underline{0.707c}} \end{aligned}$$

$$b) t = \frac{4.3 \text{ ly}}{v} = \frac{4.3 \text{ ly}}{0.707c} = \frac{4.3a}{0.707} = \underline{\underline{6.1a}}$$