32. Physikolympiade des Landes Thüringen 2022/2023

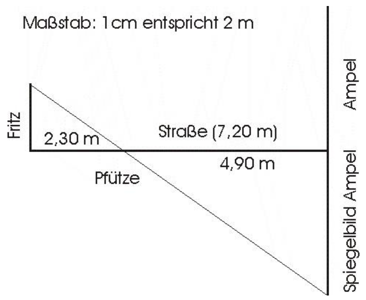
Klassenstufe 7

Lösungen der 3. Runde

Lösung 32.3.07.1 „Schlagloch“ (10 BE)

a) Idee: Für Felix sieht es ja so aus, als ob die rote Ampel unter der Straße leuchtet. Dies nutz man für die Konstruktion:

Die Entfernung von Felix bis zur Pfütze beträgt 2,30 m.



4 BE

b) Die Entfernung von Felix bis zur Pfütze sei x.

$$\frac{1{,}65\text{m}}{\text{x}} = \frac{3{,}50\text{m}}{7{,}20\text{ m} - \text{x}}$$

$$1{,}65 \cdot (7{,}20 - \text{x}) = 3{,}5\text{x}$$

$$11{,}88 - 1{,}65x = 3{,}5x$$

$$11{,}88 = 5{,}15x$$

$$\text{x} = 2{,}31\text{m}$$

3 BE

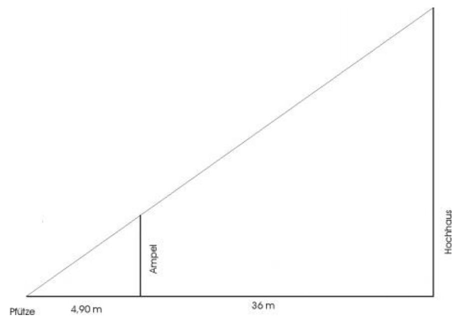
c)

$$\frac{3{,}50\text{ m}}{4{,}90\text{ m}} = \frac{\text{y}}{40{,}90\text{ m}}$$

$$\text{y} = \frac{3{,}5\text{ m} \cdot 40{,}9\text{ m}}{4{,}9\text{ m}} = 29{,}2\text{ m}$$

$$29{,}2\text{ m}: 3{,}2\text{ m} = 9{,}1$$

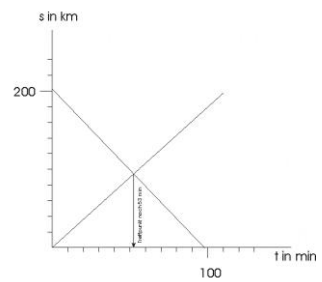
$$29{,}2\text{ m}: 3{,}4\text{ m} = 8{,}6$$



3 BE

Lösung 32.3.07.2 „ICE“ (10 BE)

a) Die Begegnung findet 52 min nach dem Start statt.



3 BE

b) $v_1 = \frac{202\text{ km}}{97\text{ min}} = 2{,}082\frac{\text{km}}{\text{min}}$

$$v_2 = \frac{202\text{ km}}{110\text{ min}} = 1{,}836\frac{\text{km}}{\text{min}}$$

$s_1 + s_2$= 202 km

$$2{,}082 \cdot t + 1{,}836 \cdot t = 3{,}919 \cdot t = 202$$

$$t = 51{,}5\text{ min}$$

Sie treffen sich 52 min nach dem Start, also um 9:34 Uhr

4 BE

c)

$$\text{s}_1 = \text{v}_1 \cdot \text{t} = 2{,}082\frac{\text{km}}{\text{min}} \cdot 51{,}5\text{ min} = 107{,}2\text{ km}$$

$$\text{s}_2 = \text{v}_2 \cdot \text{t} = 1{,}836\frac{\text{km}}{\text{min}} \cdot 51{,}5\text{ min} = 94{,}5\text{ km}$$

Sie treffen sich in einer Entfernung von 107,2 km von Erfurt.

3 BE

Lösung 32.3.07.3 „Oma's Pudding“ (10 BE)

a) Versuchsskizze mit zwei Schüsseln, welche ineinander gestellt sind mit jeweils einem Thermometer. ☑☑ — 2 BE

b)
- Diagramm mit Achsbezeichnung ☑
- Messpunkte eintragen und verbinden☑☑ — 3 BE

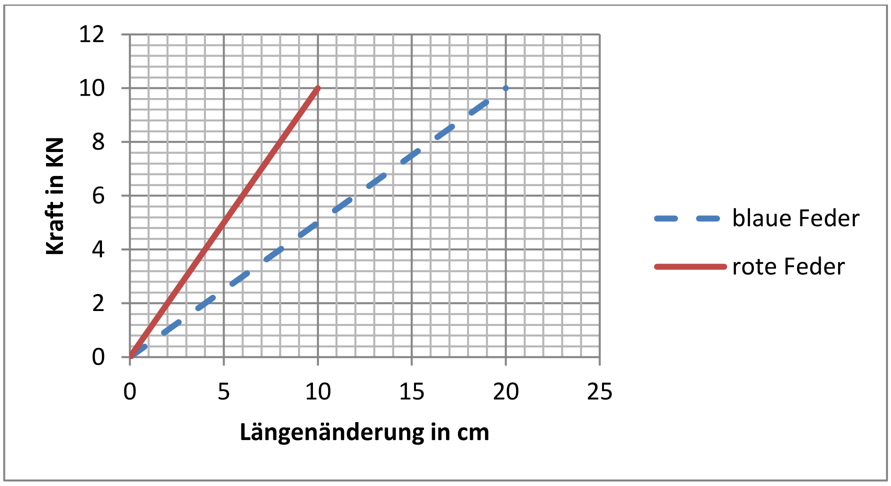
c) Beschreibung:
- Temperatur vom Pudding nimmt ab, Temperatur vom Wasserbad nimmt zu ☑
- Wasserbad und Pudding haben nach einiger Zeit die gleiche Temperatur☑

Erklärung
– Körper mit einer höheren Temperatur geben Wärme an Körper mit einer geringeren Temperatur ab☑ — 4 BE
– bis beide Körper die gleich Temperatur haben☑

d) Beispiele
– heißer Tee mit kaltem Wasser, (Getränke mit Eiswürfel), Kaffee mit Milch, Kühlwasser im Motor usw. — 1 BE

Lösung 32.3.07.4 „Gut abgefedert?“ (10 BE)

a)



☑☑☑

$F \sim \Delta l \rightarrow \frac{F}{\Delta l} = D$ D bezeichnet man als Federkonstante und gibt die Härte der Feder an. ☑

blaue (äußere) Feder $D = \frac{F}{\Delta l} = \frac{10\ \text{kN}}{0{,}2\ \text{m}} = \mathbf{50\ \frac{kN}{m}}$

rote (innere) Feder $D = \frac{F}{\Delta l} = \frac{10\ \text{kN}}{0{,}1\ \text{m}} = \mathbf{100\ \frac{kN}{m}}$ ☑

5 BE

b) Durch die beiden Federn ist eine höhere Zuladung möglich und gleichzeitig eine weiche Federung, wenn keine Ladung transportiert wird. ☑
Die rote (innere) Feder ist härter. (Federkonstante größer) ☑ — 2 BE

c) Wertetabelle

Kraft der Feder blau (außen) in kN	0	1	2	4	5	6	7	7,5	8	9	10
Längenänderung der Feder blau (außen) in cm	0	2	4	8	10	12	14	15	16	18	20
Kraft der Feder rot (innen) in kN	0	0	0	0	0	2	4	5	6	8	10
Längenänderung der Feder rot (innen) in cm	0	0	0	0	0	2	4	5	6	8	10
Gesamtkraft der Federn in kN	**0**	**1**	**2**	**4**	**5**	**8**	**11**	**12,5**	**14**	**17**	**20**
Längenänderung der Federn in cm	**0**	**2**	**4**	**8**	**10**	**12**	**14**	**15**	**16**	**18**	**20**

Zeichnen des Diagrammes ☑ — 1 BE

d) Eine Doppelfeder muss mit F=12,5 kN belastet werden, damit sie um 15 cm zusammengedrückt wird.☑
Die Kraft auf beide Doppelfedern beträgt 25kN. Die Masse ist etwa 2500 kg die auf der Hinterachse lasten, wenn der Wagenkasten sich um 15 cm senkt. ☑ — 2 BE

32. Physikolympiade des Landes Thüringen 2022/2023

Klassenstufe 8

Lösungen der 3. Runde

Lösung 32.3.08.1 „Dichte von Flüssigkeiten“ (10 BE)

a) Taucht man das U-Rohr mit geöffnetem Hahn ein, dann wirkt im U-Rohr und außerhalb an allen Stellen der Luftdruck. Deshalb steigt die Flüssigkeit nicht in das Rohr. Die Höhen h_1 und h_2 sind daher 0. √ √ — 2 BE

b) Im U-Rohr herrscht ein Unterdruck und der äußere Luftdruck auf die Flüssigkeitsoberflächen führt zum Anstieg der Flüssigkeitssäulen. Die unterschiedliche Höhe entsteht durch den unterschiedlichen Schweredruck der Flüssigkeiten. √ √ — 8 BE

$p_1 = p_2$ √ $\quad \rho_1 \cdot g \cdot h_1 = \rho_2 \cdot g \cdot h_2$ √ $\quad \rho_2 = \frac{h_1}{h_2} \cdot \rho_1$ √

durchschnittliche Dichte $\rho_2 = 0{,}802\ \frac{g}{cm^3}$ √ √

Methanol oder Aceton (TW: $\rho = 0{,}79\ \frac{g}{cm^3}$) √

Lösung 32.3.08.2 „Schwimmer oder Taucher“ 8 BE)

8 BE

$m_E = 500\ t \qquad \rho_E = 0{,}9\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}} = 900 \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}} \qquad \rho_{SW} = 1{,}04\ \frac{\mathrm{g}}{\mathrm{cm^3}} = 1040\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m^3}}$

$\rho_E = \frac{m_E}{V_E} \qquad V_E = \frac{500000\ \mathrm{kg \cdot m^3}}{900\ \mathrm{kg}} = 555{,}6\ m^3$ √ √

$F_G = F_A$ √ $\qquad m_E \cdot g = \rho_{SW} \cdot g \cdot V_{UW}$ √ $\qquad V_{UW} = \frac{m_E}{\rho_{SW}} = \frac{500000\ \mathrm{kg \cdot m^3}}{1040\ \mathrm{kg}} = 480{,}8\ \mathrm{m^3}$ √ √

$\frac{V_E}{100\%} = \frac{V_{UW}}{p\%} \qquad p\% = \frac{480{,}8\ \mathrm{m^3} \cdot 100\%}{555{,}6\ \mathrm{m^3}} = 86{,}5\%$ √ √

Lösung 32.3.08.3 „Heiße Flamme“ (10 BE)

Die Kupferkugel gibt beim Einbringen in das Gefäß Wärme an das Wasser ✓und das Aluminiumgefäß ab ✓bis sich die Temperaturen angeglichen haben. ✓ — 10 BE

Der Lösungsansatz ist:

$$Q_{ab} = Q_{auf} \ ✓$$
$$Q_{Cu} = Q_w + Q_{Al} \ ✓$$

$$c_{Cu} \cdot m_{Cu} \cdot \Delta\vartheta_{Cu} = c_W \cdot m_W \cdot \Delta\vartheta_W + c_{Al} \cdot m_{Al} \cdot \Delta\vartheta_{Al} \ ✓✓$$

$$\vartheta_{Cu} = \frac{c_W \cdot m_W \cdot \Delta\vartheta_W + c_{Al} \cdot m_{Al} \cdot \Delta\vartheta_{Al}}{c_{Cu} \cdot m_{Cu}} + \vartheta_M$$

$$\vartheta_{Cu} = \frac{4{,}19\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg \cdot K}} \cdot 0{,}2\mathrm{kg} \cdot 15\mathrm{K} + 0{,}90\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg \cdot K}} \cdot 0{,}15\mathrm{kg} \cdot 15\mathrm{K}}{0{,}39\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg \cdot K}} \cdot 0{,}075\mathrm{kg}} + 33°\mathrm{C} = 532°\mathrm{C} \qquad ✓✓✓$$

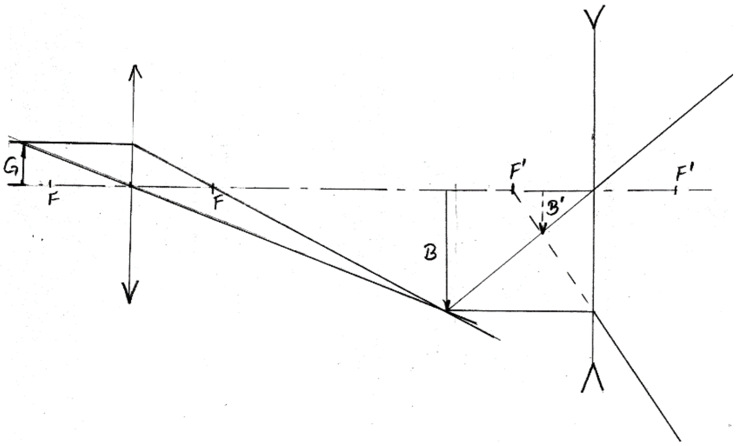
Lösung 32.3.08.4 „Galileisches Teleskop“ (12 BE)

Konstruktion von B 12 BE

√ √ √

Konstruktion von B`

√ √ √



Geg: f = 3 cm G = 1,5 cm

g = 4 cm

Ges: b , B

f`= -3 cm G` = 4,5 cm g`= 17 cm – b = 5 cm b`, B`

Lsg: $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$ $b = \frac{f \cdot g}{g-f} = \frac{3 \cdot 4cm}{4-3} = 12$ cm $B = \frac{b}{g} \cdot G = \frac{12}{4} \cdot 1{,}5cm = 4{,}5cm$ √√√

$\frac{1}{f`} = \frac{1}{g`} + \frac{1}{b`}$ $b` = \frac{f` \cdot g`}{g`-f`} = \frac{-3 \cdot 5cm}{5+3} = 1{,}9$ cm (1,875cm) √

$B` = \frac{b`}{g`} \cdot G` = \frac{1{,}875}{5} \cdot 4{,}5cm = 1{,}7$cm √

Das Teleskop eignet sich nicht für die Beobachtung von nahen Gegenständen. Die Vergrößerung ist viel zu gering.

32. Physikolympiade des Landes Thüringen 2022/2023

Klassenstufe 9

Lösungen der 3. Runde

Lösung 32.3.09.1 „Hoch hinaus“ (10 BE)

a) $v = \frac{s}{t} \rightarrow s = v \cdot t = 69{,}4\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot 180\ \mathrm{s} = 12500\ \mathrm{m} = 12{,}5\ \mathrm{km}$ ✓✓ — 2 BE

b) Steiggeschwindigkeit: $v_S = \frac{h}{t} = \frac{1500\ \mathrm{m}}{3 \cdot 60\ s} = 8{,}33\,\frac{\mathrm{m}}{s}$ ✓ Horizontalkomponente: — 5 BE

$$v_H = \sqrt{v^2 - {v_S}^2} = 68{,}9\,\frac{m}{s}$$ ✓✓

$t_1 = \frac{2\pi R}{v_H} = 27{,}3\mathrm{s}$ ✓ ✓

c) $$n = \frac{t}{t_1} = \frac{180s}{27{,}3s} = \underline{\underline{6{,}6}}$$ ✓ — 1 BE

d) $$h_1 = \frac{h}{n} = \frac{1500m}{6{,}6} = \underline{\underline{227m}}$$ ✓✓ — 2 BE

Lösung 32.3.09.2 „Hoch betrachtet“ (10 BE)

nicht maßstabsgerechte Skizze ✓✓ — 10 BE

Abstand Objektiv-Bild: $b = \frac{g \cdot f}{g - f} \approx 50\ \mathrm{cm}$ ✓✓✓

Seitenlänge des Quadrates auf der Erdoberfläche: $G = \frac{g \cdot B}{b} = 52800\ \mathrm{m}$ ✓✓✓

$A = G^2 = 2787{,}84\ \mathrm{km}^2$ ✓✓

Lösung 32.3.09.3 „Hoch gedehnt“ (10 BE)

Das Erwärmen ist so lange durchzuführen, bis beide Volumina gleich sind ✓ — 10 BE

$\rightarrow V_{Sn} = V_W$; $(\Delta V = V_1 - V_0 = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T \quad \rightarrow \quad V_1 = V_0 + V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta T)$ ✓✓

$V_{0Sn} \cdot (1 + \gamma_{Sn} \cdot \Delta T) = V_{0W} \cdot (1 + \gamma_W \cdot \Delta T)$, auflösen nach ΔT ergibt

$\Delta T = \frac{V_{0Sn} - V_{0W}}{V_{0W}\gamma_W - V_{0Sn} 3\alpha_{Sn}} = 206{,}9\ \mathrm{K}$ ✓✓✓✓✓

Durch Verdampfen des Wassers kann das Gefäß nicht randvoll werden bzw. das Gefäß ist geschmolzen. (Bei $\gamma_W = 0{,}00021\ \mathrm{K}^{-1}$ wird der Schmelzpunkt nicht ganz erreicht.) ✓✓

Lösung 32.3.09.4 „Hochgespannt“ (10 BE)

a) Um verlustarm zu übertragen, muss die Spannung hochtransformiert werden. — 3 BE
Wegen Spannungsübersetzung: Primärspule 40 Windungen, Sekundärspule 200 Windungen
Wegen Stromstärkeübersetzung: unter Beachtung der Leistung Primärspule dickerer Draht ✓✓✓

b) Leitungswiderstand: $R = \rho \cdot \frac{l}{A} = 6{,}0\ \Omega$ mit $\rho = 0{,}017\,\frac{\Omega \cdot \mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}}$, $l = 40000\ \mathrm{m}, A = 36\,\pi\ \mathrm{mm}^2$ ✓✓ — 6 BE

Spannungsabfall an der Leitung: $P = \frac{{U_L}^2}{R}$, ${U_L}^2 = 0{,}02\ R \cdot U \cdot I = 0{,}02\ R \cdot U \cdot \frac{U_L}{R}$, ✓

$U_L = 0{,}02 \cdot 5 \cdot U = 0{,}02 \cdot 5 \cdot 3000\ V = 300\ V$ ✓ $\cdot \frac{N_{Sek}}{N_{Pri}} = 5$

Maximale Sekundärstromstärke: $I_{Sek} = \frac{U_L}{R} = \frac{300\ V}{6{,}0\ \Omega} = 50\ A$ ✓

Maximale Primärstromstärke: $I_{Pri} = 5\ I_{Sek} = 250\ \mathrm{A}$ ✓

c) Maximal übertragbare Leistung: $P = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 = 3000\ \mathrm{V} \cdot 250\ A = 750\ \mathrm{kW}$ ✓ — 1 BE

32. Physikolympiade des Landes Thüringen 2022/2023

Klassenstufe 10

Lösungen der 3. Runde

Lösung 32.3.10.1 „Heiße Sache?“ (10 BE)

a) 7 BE

$$Q_{ab} = Q_{zu}$$

$$Q_{Al} = Q_{Cu} + Q_{Wasser} + Q_{verdampft} + Q_V ✓✓$$

$$m_{Al} \cdot c_{Al} \cdot (\mathrm{T_{Al}} - \mathrm{T_{Misch}}) = \mathrm{m_{Cu}} \cdot \mathrm{c_{Cu}} \cdot (T_{Misch} - T_{Cu}) + (\mathrm{m}_{Wasser} - \mathrm{m_{verdampft}}) \cdot \mathrm{c}_{Wasser} \cdot (T_{Misch} - T_{Wasser}) + \mathrm{m_{verdampft}} \cdot \mathrm{c}_{Wasser} \cdot (T_{Siede} - T_{Wasser}) + \mathrm{m_{verdampft}} \cdot \mathrm{q}_v ✓✓$$

$$T_{Al} = \left[\mathrm{m_{Cu}} \cdot \mathrm{c_{Cu}} \cdot (T_{Misch} - T_{Cu}) + (\mathrm{m}_{Wasser} - \mathrm{m_{verdampft}}) \cdot \mathrm{c}_{Wasser} \cdot (T_{Misch} - T_{Wasser}) + \mathrm{m_{verdampft}} \cdot \mathrm{c}_{Wasser} \cdot (T_{Siede} - T_{Wasser}) + \mathrm{m_{verdampft}} \cdot \mathrm{q}_v + m_{Al} \cdot c_{Al} \cdot \mathrm{T_{Misch}}\right] : [m_{Al} \cdot c_{Al}]$$

$$= \left[0{,}3\,kg \cdot 0{,}39\,\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 22\,K + (0{,}25\,kg - 0{,}0024\,kg) \cdot 4{,}19\,\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 22\,K + 0{,}0024\,kg \cdot 4{,}19\,\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 82\,K + 0{,}0024\,kg \cdot 2260\,\frac{kJ}{kg} + 0{,}1\,kg \cdot 0{,}90\,\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 313\,K\right] : \left[0.1\,kg \cdot 0{,}90\,\frac{kJ}{kg \cdot K}\right] ✓✓$$

$$= 665\,K \;\widehat{=}\; 392°C ✓$$

b) 3 BE

$$\eta = \frac{Q_{nutz}}{Q_{zu}} = \frac{m_{Al} \cdot c_{Al} \cdot (\mathrm{T_{nach}} - \mathrm{T}_{vor})}{H \cdot m_{Butan}} ✓✓ = \frac{0{,}1\,kg \cdot 0{,}9\,\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 374\,K}{45700\,\frac{kJ}{kg} \cdot 0{,}025\,kg} = 0{,}0295 = 2{,}95\% ✓$$

Lösung 32.3.10.2 „Tiefes Loch“ (10 BE)

a) 3 BE

Die Erdkruste rotiert mit konstanter Winkelgeschwindigkeit und daher weiter außen mit höherer Bahngeschwindigkeit von West nach Ost. ✓ Da der Stein vor dem Loslassen mitbewegt wird, bewegt er sich mit $v_{außen} > v_{innen}$. ✓ Daher fliegt er eine Art Wurfparabelbahn, während sich die Erde unter ihm weiterdreht. Da die Geschwindigkeit des Lochbodens (v_{innen}) jedoch geringer ist, landet der Stein östlich der Mitte des Lochs. ✓

b) 5 BE

$v_{außen} = \frac{2\pi \cdot r_{Erde}}{T}$ und $v_{innen} = \frac{2\pi \cdot (r_{Erde} - h)}{T}$ ✓

$$\Delta v = \frac{2\pi \cdot r_{Erde}}{T} - \frac{2\pi \cdot (r_{Erde} - h)}{T} = \frac{2\pi \cdot h}{T} ✓$$

$$h = \frac{g}{2} t^2 \rightarrow t_{Fall} = \sqrt{\frac{2h}{g}} ✓$$

$$\Delta s = \Delta v \cdot t_{Fall} = \frac{2\pi \cdot h}{T} \cdot \sqrt{\frac{2h}{g}} = \frac{2\pi \cdot 1000\,m}{24 \cdot 3600\,s} \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 1000\,m}{9{,}81\,\frac{m}{s^2}}} = 1{,}04\,\mathrm{m} ✓✓$$

c) 2 BE

Die Luftreibung wirkt sowohl bei der Bewegung horizontal (tangential) als auch beim Fall. In beiden Fällen bremst die Reibung etwas, da der Fall jedoch beschleunigt ist, nimmt dort die Reibung immer weiter zu.
Der Stein fällt also länger (Abweichung würde steigen), fliegt aber auch mit abnehmender Tangentialgeschwindigkeit (Abweichung wäre geringer). ✓ Da die Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Erde und Stein in tangentialer Richtung jedoch äußerst gering ist, spielt erstere Abweichung eine deutlich größere Rolle. ✓

Auch andere plausible Lösungen sind zulässig.

Lösung 32.3.10.3 „Bindedraht“ (10 BE)

<u>eine Möglichkeit:</u> Die Drahtabschnitte bilden eine Parallelschaltung. (= Enden zu Ring verbinden.) Die Abgriffe A und B liegen ca. 2,8m auseinander. (bzw. 7,2m auf dem längeren Abschnitt)

Begründung:

Es gilt: $I \quad \frac{1}{2{,}0\Omega} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ *und* $II \quad R_1 + R_2 = 10{,}0\Omega$

Daraus ergibt sich:

$$\frac{1}{2{,}0\Omega} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{10{,}0\Omega - R_1}$$

$$\frac{1}{2{,}0\Omega} = \frac{10{,}0\Omega - R_1 + R_1}{R_1(10{,}0\Omega - R_1)}$$

$$\frac{2{,}0\Omega}{1} = \frac{R_1(10{,}0\Omega - R_1)}{10{,}0\Omega}$$

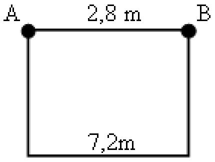
$$20{,}0\Omega^2 = 10{,}0\Omega \cdot R_1 - {R_1}^2$$

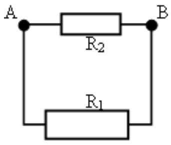
$$0 = {R_1}^2 - 10{,}0\Omega \cdot R_1 + 20{,}0\Omega^2$$

$$R_{1a,b} = 5{,}0\Omega \pm \sqrt{25{,}0\Omega^2 - 20{,}0\Omega^2}$$

$$\underline{R_{1a} \approx 7{,}2\Omega \ (7{,}2m\ Draht)\ bzw.\ R_{1b} \approx 2{,}8\Omega\ (2{,}8\text{m Draht})}$$

$$\underline{R_{2a} \approx 2{,}8\Omega\ (2{,}8\text{m Draht})\ bzw.\ R_{2b} \approx 7{,}2\Omega\ (7{,}2m\ Draht)}$$

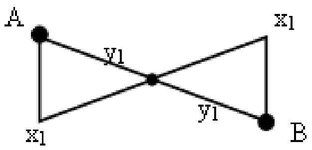




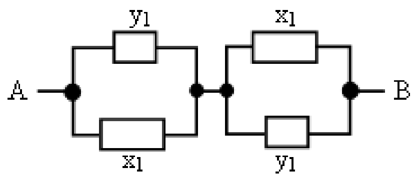
5 BE

(symmetrische, gleichbedeutende Lösungen)

<u>weitere Möglichkeit:</u> Der Draht ist wie eine Reihenschaltung aus zwei Parallelschaltungen gelegt (Abgriffe bei A und B). Die kürzeste Drahtverbindung zwischen A und B beträgt ca. 2,8m.



Ersatzschaltbild:



5 BE

Aus: I $\quad 2{,}0\Omega = \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{y}\right)^{-1} + \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{y}\right)^{-1} = 2 \cdot \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{y}\right)^{-1}$ und II $\quad 2x + 2y = 10{,}0\Omega$

folgt: $1\Omega = \left(\frac{1}{x} + \frac{1}{5\Omega - x}\right)^{-1} \Leftrightarrow 1\Omega = \left(\frac{5\Omega - x + x}{x(5\Omega - x)}\right)^{-1} \Leftrightarrow 1\Omega = \frac{5\Omega \cdot x - x^2}{5\Omega} \Leftrightarrow 0 = x^2 - 5\Omega \cdot x + 5\Omega^2$

mit: $x_{1,2} = 2{,}5\Omega \pm \sqrt{1{,}25\Omega^2}$ $\rightarrow$ $\underline{x_1 \approx 3{,}6\Omega\ (3{,}6\text{m Draht})\text{ und } x_2 \approx 1{,}4\Omega\ (1{,}4\text{m Draht})}$

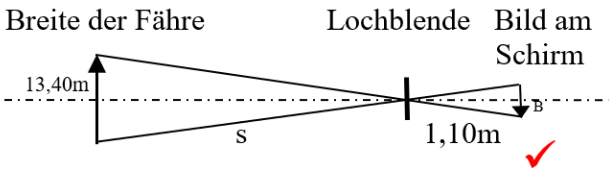
$\underline{y_1 \approx 1{,}4\Omega\ (1{,}4\text{m Draht})\text{ und } y_2 \approx 3{,}6\Omega\ (3{,}6\text{m Draht})}$

(symmetrische, gleichbedeutende Lösungen)

Andere, alternative Lösungen sind möglich.

Lösung 32.3.10.4 „Lochfernrohr“ (10 BE)

a) Abbildungsprinzip durch „Lochfernrohr“ bei kleinem Lochdurchmesser: 6 BE



1. Beobachtung mit 1cm Größe: $\frac{13{,}40m}{s_1} = \frac{1cm}{110cm} \Leftrightarrow s_1 = \frac{13{,}40m \cdot 110cm}{1cm} = 1474\ m$

2. Beobachtung mit 2cm Größe: $\frac{13{,}40m}{s_1} = \frac{2cm}{110cm} \Leftrightarrow s_1 = \frac{13{,}40m \cdot 110cm}{2cm} = 737m$

Durchschnittsgeschwindigkeit: $\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{737m}{360s} = 2{,}05\frac{m}{s} = 7{,}37\frac{km}{h}$

Gesamtdauer der Fahrt: $t = \frac{s}{\bar{v}} = \frac{5{,}0km}{7{,}37\frac{km}{h}} = 0{,}68h = \underline{\underline{40{,}7\text{min}}}$

Die Fähre braucht ca. 41 Minuten für die Fahrt. Wahrscheinlich dauert es noch etwas länger, da durch Ab- und Anlegen etwas mehr Zeit benötigt wird.

b) Er sollte eine Sammellinse nehmen, da mit dieser für Gegenstandsweiten g > f ein reelles Bild erzeugt werden kann, welches mit dem Schirm auffangbar ist. Bei einer Zerstreuungslinse werden stets virtuelle Bilder erzeugt, die nicht mittels Schirmes auffangbar sind. 2 BE

c) Durch $\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{b}$ mit g = 2500m und b = 1,10m erhält man für die Brennweite der Sammellinse $f = \frac{gb}{g+b} \approx 1{,}10m.$ 1 BE

d) Durch die größere Fläche der Linse gelangt wesentlich mehr Licht auf den Schirm. Das Bild ist somit heller und auch kontrastreicher zu sehen. 1 BE

Lösung 32.3.11.1 Verspultes (10 BE)

a) Für eine lange Spule ist die der Radius r deutlich kleiner als die Länge der Spule, also $\ell >> r$.

Mit dieser Aussage untersucht man nun die Gleichung.

$$B(z)=\mu_0\cdot\frac{N\cdot I}{\ell}\cdot\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{z+\frac{\ell}{2}}{\sqrt{\left(z+\frac{\ell}{2}\right)^2+r^2}}-\frac{z-\frac{\ell}{2}}{\sqrt{\left(z-\frac{\ell}{2}\right)^2+r^2}}\right)$$

Für die Mitte der Spule gilt gemäß Bezeichnungen z = 0:

$$B(0)=\mu_0\cdot\frac{N\cdot I}{\ell}\cdot\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{\frac{\ell}{2}}{\sqrt{\left(\frac{\ell}{2}\right)^2+r^2}}-\frac{-\frac{\ell}{2}}{\sqrt{\left(-\frac{\ell}{2}\right)^2+r^2}}\right)$$ ✓ 1 BE

Wenn der Radius deutlich kleiner als die Länge ist, ist er so klein, dass er in der Summe der Quadrate in den Wurzeln praktisch keine Rolle spielt und für die Überlegung weggelassen werden kann: ✓ 1 BE

$$B(0)=\mu_0\cdot\frac{N\cdot I}{\ell}\cdot\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{\frac{\ell}{2}}{\sqrt{\left(\frac{\ell}{2}\right)^2}}-\frac{-\frac{\ell}{2}}{\sqrt{\left(-\frac{\ell}{2}\right)^2}}\right)=\mu_0\cdot\frac{N\cdot I}{\ell}\cdot\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{\frac{\ell}{2}}{\frac{\ell}{2}}-\frac{-\frac{\ell}{2}}{\frac{\ell}{2}}\right)$$ ✓✓ 2 BE

Schlussfolgerung:

$$\underline{\underline{B(0)}}=\mu_0\cdot\frac{N\cdot I}{\ell}\cdot\frac{1}{2}\cdot(1-(-1))=\mu_0\cdot\frac{N\cdot I}{\ell}\cdot\frac{1}{2}\cdot 2=\underline{\underline{\mu_0\cdot\frac{N\cdot I}{\ell}}}$$ ✓ 1 BE

b) Am rechtsseitigen Rand ist z genau die Hälfte der Länge: ✓ 1 BE

$$B\left(\frac{\ell}{2}\right)=\mu_0\cdot\frac{N\cdot I}{\ell}\cdot\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{\frac{\ell}{2}+\frac{\ell}{2}}{\sqrt{\left(\frac{\ell}{2}+\frac{\ell}{2}\right)^2+r^2}}-\frac{\frac{\ell}{2}-\frac{\ell}{2}}{\sqrt{\left(\frac{\ell}{2}-\frac{\ell}{2}\right)^2+r^2}}\right)$$ ✓ 1 BE

Den Radius kann man für die Überlegung wieder weglassen, da ℓ >>r. ✓ 1 BE

$$B\left(\frac{\ell}{2}\right)=\mu_0\cdot\frac{N\cdot I}{\ell}\cdot\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{\frac{\ell}{2}+\frac{\ell}{2}}{\sqrt{\left(\frac{\ell}{2}+\frac{\ell}{2}\right)^2}}-\frac{\frac{\ell}{2}-\frac{\ell}{2}}{\sqrt{\left(\frac{\ell}{2}-\frac{\ell}{2}\right)^2}}\right)=\mu_0\cdot\frac{N\cdot I}{\ell}\cdot\frac{1}{2}\cdot\left(\frac{\frac{\ell}{2}+\frac{\ell}{2}}{\sqrt{\left(\frac{\ell}{2}+\frac{\ell}{2}\right)^2}}\right)=\underline{\underline{\mu_0\cdot\frac{N\cdot I}{\ell}\cdot\frac{1}{2}}}$$ ✓✓ 2 BE

Wie zu sehen ist, verschwindet der zweite Term im Klammerausdruck, da er im Zähler unabhängig von der Idealisierung mit r² echt gleich Null wird.

Lösung 32.3.11.2 „Hoch hinaus“ (10 BE)

Zunächst muss die Leermasse des Luftfahrzeuges bestimmt werden. Hieraus folgt mit dem Archimedischen Gesetz die maximal mögliche Auftriebskraft und daraus das Gesamtgewicht der Passagiere.

$$m_{leer} = \sum_i m_i = 438\,kg$$ ✓

Masse heißer Luft im Ballon: $m_h = \rho_h \cdot V = 3500\,kg$ ✓

Masse verdrängter Kaltluft: $m_k = \rho_k \cdot V = 4291\,kg$ ✓

Masse des Ballons in der Luft ohne Insassen:

$$m_{ges} = Leermasse + Heißluftmasse = m_{leer} + m_h = 3938\,kg$$ ✓

Gewichtskraft Ballon (ohne Passagiere):

$$F_{G/leer} = m_{ges} \cdot g = 38632\,\mathrm{N}$$ ✓

Archimedes-Gesetz → Auftriebskraft = Gewichtskraft der verdrängten Kaltluft ✓

$$F_{G/verdr} = F_A = m_k \cdot g = \underline{\underline{42095\,\mathrm{N}}}$$ ✓

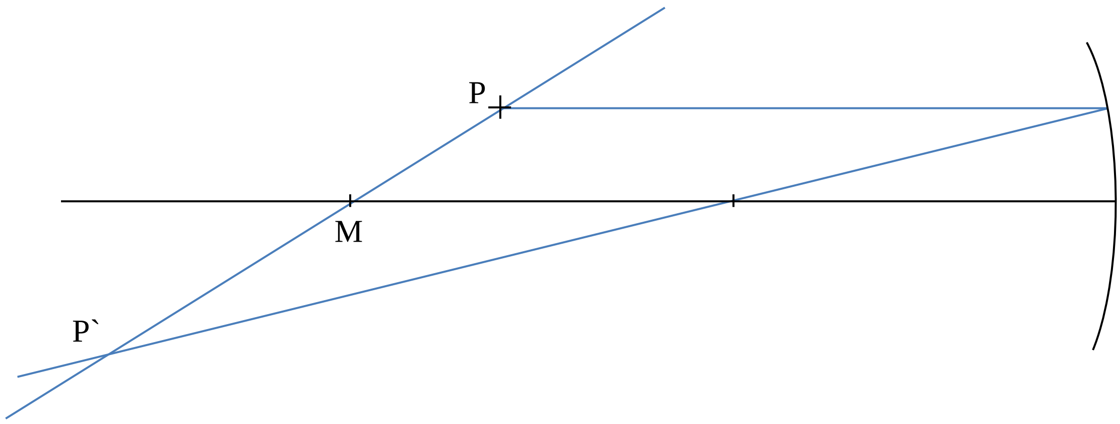
Die Differenz von Auftriebskraft und Gewichtskraft entspricht dem Maximalgewicht der weiteren Zuladung, also der Passagiere:

$$F_{G/\max} = F_A - F_{G/leer} = \underline{\underline{3463\,\mathrm{N}}}$$ ✓ → $m_{ges/Passagiere} = \underline{\underline{353\ \mathrm{kg}}}$ ✓

Bei einer angenommenen Personenmasse von $\overline{m} \approx 85\,\mathrm{kg}$ könnten dem Spaß inklusive Ballonfahrer 4 Passagiere beiwohnen. ✓

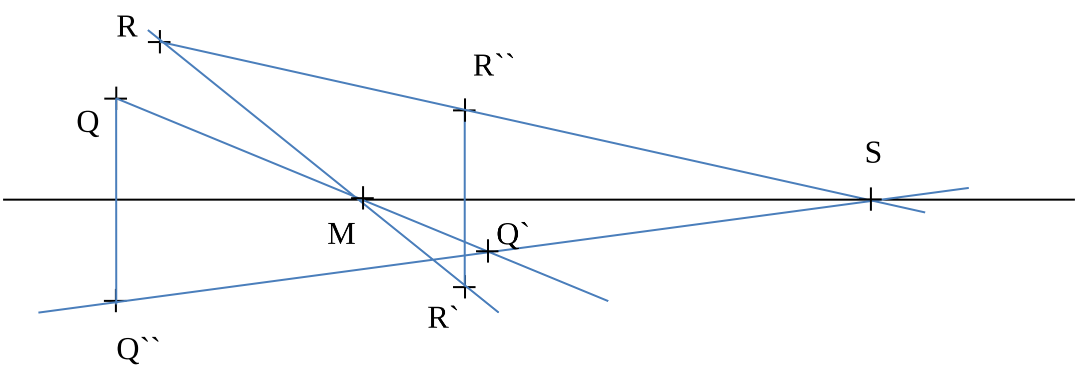
Lösung 32.3.11.3 „Punkt gesucht“ (10 BE)

a) 2BE



z.B. Zeichnen des Mittelpunktstrahls und eines weiteren Hauptstrahles oder zweier anderer Hauptstrahlen oder direkte Reflexion…; Schnittpunkt ist P` 1BE

b) 2BE



1BE

Schnittpunkt von RR` mit optischer Achse ist Mittelpunkt M des Hohlspiegels (Mittelpunktstrahl wird in sich reflektiert). 1BE

Für R und R` ist die optische Achse das Lot auf den Scheitelpunkt S und die Winkel RSM und R`SM sind gleich groß. Dies wird erreicht, indem R` an der optischen Achse gespiegelt wird zu R``. Die Verlängerung von R durch R`` schneidet die optische Achse in S. 1BE

Diese Konstruktion wird analog auch auf Q angewendet.

c) Fallunterscheidungen zu obigem Fall:

- U und U` liegen auf gleichen Seiten der optischen Achse, d.h. es entsteht ein virtuelles Bild mit analoger Konstruktion auf der Rückseite des Spiegels 1BE
- U und U` liegen senkrecht zur optischen Achse, d.h. es entsteht keine (S = M) oder keine eindeutige Lösung 1BE

Lösung 32.3.11.4 „Bügeleisen kaputt!?“ (10 BE)

a) Nennleistung P des Bügeleisens, „An“-Zeit $t_1 = 10s$, „Aus“-Zeit $t_2 = 40s$

$\vartheta_1 = 100°C, \vartheta_0 = 20°C$

Wärmeaufnahme $W_1 = P \cdot t_1$ 1BE

gesamte Abgabe der Energie während der Zeit $t_1 + t_2$, da T konstant 1BE

Wärmeabgabe proportional zu $\Delta\vartheta = \vartheta_1 - \vartheta_0$ und Gesamtzeit $t_1 + t_2$ 1BE

$\Rightarrow\ W_1 = P \cdot t_1 = \alpha(\vartheta_1 - \vartheta_0)(t_1 + t_2)$ (I)

(hierbei ist α der Proportionalitätsfaktor) 1BE

Analog für Leinen: $t_1^* = 20s,\ t_2^* = 30s$

$\Rightarrow\ W_2 = P \cdot t_1^* = \alpha(\vartheta_2 - \vartheta_0)(t_1^* + t_2^*)$ (II)

Aus (I) und (II) folgt:

$$\frac{\alpha(\vartheta_1 - \vartheta_0)(t_1 + t_2)}{t_1} = \frac{\alpha(\vartheta_2 - \vartheta_0)(t_1^* + t_2^*)}{t_1^*}$$ 1BE 1BE

$\Rightarrow \vartheta_2 = \vartheta_0 + \frac{t_1^*(t_1+t_2)}{t_1(t_1^*+t_2^*)}(\vartheta_1 - \vartheta_0)$

$\Rightarrow \vartheta_2 = 180°C$

b) Bei Dauerbetrieb ergibt sich nach der Zeit *t* das Gleichgewicht:

$W = P \cdot t = \alpha(\vartheta_3 - \vartheta_0) \cdot t$

$\Rightarrow P = \alpha(\vartheta_3 - \vartheta_0)$ (III) 1 BE

Aus (I) und (III)

$\alpha(\vartheta_3 - \vartheta_0)t_1 = \alpha(\vartheta_1 - \vartheta_0)(t_1 + t_2)$ 1 BE

$\Rightarrow (\vartheta_3 - \vartheta_0)t_1 = (\vartheta_1 - \vartheta_0)(t_1 + t_2)$

$$\Rightarrow \vartheta_3 = \vartheta_0 + \frac{(\vartheta_1 - \vartheta_0)(t_1 + t_2)}{t_1}$$ 1 BE

$\Rightarrow \vartheta_3 = 420°C$

1 BE

32. Physikolympiade des Landes Thüringen 2022/2023

Klassenstufe 12

Lösungen der 3. Runde

Lösung 32.3.12.1 „Hin und Her“ (10 BE)

a) Wenn der Wagen an der Feder ist, führt er eine Federschwingung aus.

$\rightarrow$ Berührung während einer halben Schwingung $t = \frac{T_0}{2} = \pi \cdot \sqrt{\frac{m}{D}} = 0{,}45$ s.

Aus dem Energieerhaltungssatz erhält man die Strecke Δs

$$\frac{m \cdot v_0^2}{2} = \frac{D \cdot \Delta s^2}{2} \quad \rightarrow \quad \Delta s = \sqrt{\frac{m v_0^2}{D}} = 0{,}057 \text{ m}$$

ebenso die Geschwindigkeit v_1 bei der halb zusammengedrückten Feder

$$\frac{m v_0^2}{2} = \frac{m v_1^2}{2} + \frac{D(\Delta s/2)^2}{2} \quad \rightarrow \quad v_1 = 0{,}35 \text{ m/s}$$ 3 BE

b) Die Zeit für eine vollständige Hin- und Her-Bewegung setzt sich zusammen aus zweimal der halben Federschwingung und viermal die gleichförmige Bewegung zwischen den Federn mit der Strecke d

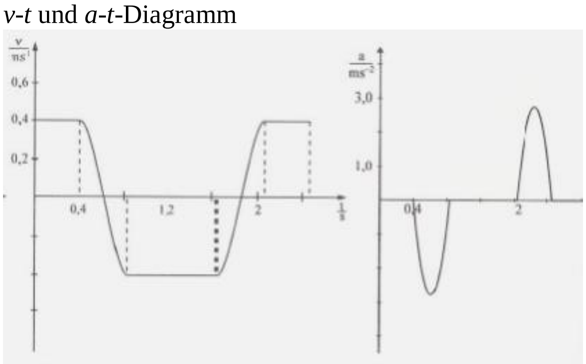
$$T = 2 \cdot T_0/2 + 4 \cdot d/v_0 = 2{,}5 \text{ s}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{D}} + 4\frac{d}{v_0}$$ 2 BE

c) Die maximale Beschleunigung erhält man aus der Schwingungsgleichung $\rightarrow a(t) = -a_{\max} \cdot \sin(\omega t)$ 1 BE

$$a_{\max} = \Delta s \cdot \left(\frac{2\pi}{T_0}\right)^2 = \Delta s \cdot \frac{D}{m} = 2{,}78 \text{ ms}^{-2}$$

v-t und a-t-Diagramm 4 BE



Lösung 32.3.12.2 „Registrierung“ (10 BE)

a) $\overline{OA} = \sqrt{r^2 + r^2} = \sqrt{2} \cdot r$ 1 BE

Beschleunigung im Längsfeld:

$$\frac{m \cdot v^2}{2} = Q \cdot U_0 \quad \rightarrow v = \sqrt{2 \cdot \frac{Q}{m} \cdot U_0}$$ 2 BE

Radialkraft = Lorenzkraft:

$$\frac{m \cdot v^2}{r} = Q \cdot v \cdot B \quad \rightarrow r = \frac{m \cdot v}{Q \cdot B} = \frac{m}{Q \cdot B} \cdot \sqrt{2 \cdot \frac{Q}{m} \cdot U_0} = \frac{\sqrt{2}}{B} \cdot \sqrt{\frac{m \cdot U_0}{Q}}$$

$$\overline{OA} = \sqrt{2} \cdot r$$

$$\overline{OA} = \frac{2}{B} \cdot \sqrt{\frac{m \cdot U_0}{Q}}$$ 2 BE

b) $^1_1$H $\rightarrow$ $m = m_p\,,\ Q = e$ $\rightarrow$ $\overline{OA}_1 = 6{,}5 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 6{,}5 \text{ cm}$ 2 BE

c) $\overline{OA}_2 = \frac{2}{B} \cdot \sqrt{\frac{m \cdot U_0}{Q}} \quad \rightarrow \quad \frac{Q}{m} = \frac{4 \cdot U_0}{(B \cdot \overline{OA}_2)^2}$

$$\frac{Q}{m} = 4{,}78 \cdot 10^7 \ \frac{\text{As}}{\text{kg}}$$

$$\approx 0{,}5 \cdot \frac{Q}{m} \text{ für Wasserstoffionen}$$

$\rightarrow$ vermutlich Deuteriumionen, da die Masse von Deuterium doppelt so groß ist $^2_1$H. 3 BE

Lösung 32.3.12.3 „The Royal Swedish Academy of Science…“ (10 BE)

a) Theoriewert von S:

$$S = -\cos\left(2\left(0-\frac{\pi}{8}\right)\right) + \cos\left(2\left(0-\frac{3\pi}{8}\right)\right) - \cos\left(2\left(\frac{\pi}{4}-\frac{\pi}{8}\right)\right) - \cos\left(2\left(\frac{\pi}{4}-\frac{3\pi}{8}\right)\right)$$

$$S = -\cos\left(-\frac{\pi}{4}\right) + \cos\left(-\frac{3\pi}{4}\right) - \cos\left(\frac{\pi}{4}\right) - \cos\left(-\frac{\pi}{4}\right)$$

$$S = -\frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{\sqrt{2}} - \frac{1}{\sqrt{2}} = -\frac{4}{\sqrt{2}} \cdot \frac{\sqrt{2}}{\sqrt{2}} = -2\sqrt{2}$$ 2 BE

b) Schlüsselbits von Alice:
Tabelle 1: 1111000011001001
Tabelle 2: 0011100000000000110010000 2 BE

c) Es wird berechnet:

Tabelle 1: $E\left(\frac{\pi}{4},\frac{3\pi}{8}\right) = \frac{0}{12} + \frac{3}{12} - \frac{4}{12} - \frac{5}{12} = -\frac{1}{2}$, $S = -\frac{11}{17} - \frac{1}{2} - \frac{3}{5} - \frac{1}{2} = -\frac{191}{85} = -2{,}25$ 2 BE

Tabelle 2: $E\left(0,\frac{\pi}{8}\right) = \frac{0}{7} + \frac{1}{7} - \frac{3}{7} - \frac{3}{7} = -\frac{5}{7}$, $S = -\frac{5}{7} - \frac{3}{5} - \frac{5}{9} - \frac{3}{4} = -\frac{3301}{1260} = -2{,}62$ 2 BE

d) Die Messreihe aus Tabelle 1 weicht deutlicher vom Theoriewert $S = -2\sqrt{2} = -2{,}83$ ab. Aus den vorliegenden Messdaten vermutet man also, dass die Wahrscheinlichkeit, dass in dieser Reihe abgehört wurde, größer ist. 1 BE

Erklärung zum Wert aus Tabelle 2: Wert weicht immer noch deutlich vom Theoriewert ab, obwohl er wesentlich dichter an diesem liegt als der aus Tabelle 1. Somit kann ein Lauschen auch hier nicht vollständig ausgeschlossen werden. Die Messdaten sind aber nicht verwertbar, da die Stichprobengröße (n = 100) zu klein ist.
Verbesserungsmöglichkeit: Die Statistik muss deutlich verbessert werden und dafür müssen deutlich mehr Messwerte aufgenommen werden. 1 BE
(Ergänzende Information: Bei der Erstellung der vorliegenden Aufgabe wurde von einem technisch perfekten Experiment ausgegangen, in dem jedes Photon fehlerfrei detektiert wird, kein einziges verloren geht und die Verschränkung durch nichts [außer Eve] gestört wird.)

Lösung 32.3.12.4 „Zum radioaktiven Zerfall gezwungen“ (10 BE)

a) $^{241}_{95}\text{Am} \xrightarrow{\alpha} {}^{237}_{93}\text{Np} + {}^{4}_{2}\text{He}$

$^{4}_{2}\text{He} + {}^{9}_{4}\text{Be} \longrightarrow {}^{12}_{6}\text{C} + {}^{1}_{0}\text{n}$

$^{1}_{0}\text{n} + {}^{115}_{49}\text{In} \longrightarrow {}^{116}_{49}\text{In}$

$^{116}_{49}\text{In} \longrightarrow {}^{116}_{50}\text{Sn} + \text{e}^- + \overline{\nu_e}$ 2 BE

b) Von den gezeigten Funktionen kommt nur (3) mit der e-Funktion in Betracht. Die Ableitung von (3) ist

$$\frac{\mathrm{d}N}{\mathrm{d}t} = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

Setzt man dies in Gleichung (1) ein, sieht man, dass die Differenzialgleichung erfüllt ist

$$A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t} = A_0 - A_0 + A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}.$$

2 BE

c)

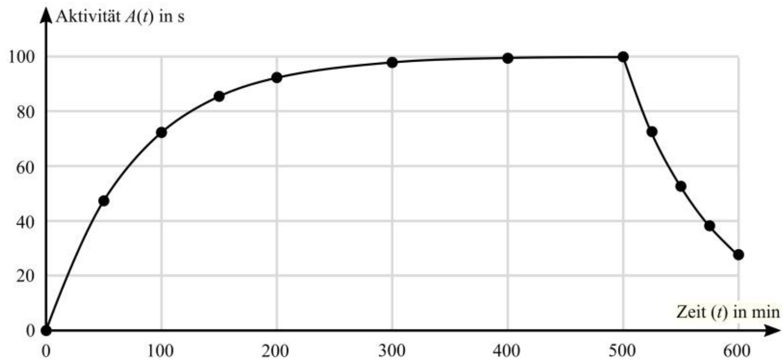
t in min	50	100	150	200	300	400	500	525	550	575	600
$A(t)$ in s^{-1}	47	72	85	92	96	99	100	88	73	38	28

In den ersten 500min berechnet sich die Aktivität mit

$$A(t) = \lambda \cdot N(t) = A_0 \cdot \left(1 - e^{-\lambda \cdot t}\right)$$

nach 500min berechnet sich die Aktivität gemäß

$$A'^{(t)} = A_{500} \cdot e^{-\lambda \cdot (t - 500\ \text{min})} \approx A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot (t - 500\ \text{min})}$$



3 BE

d) An der Gleichung $A(t) = A_0 \cdot \left(1 - e^{-\lambda \cdot t}\right)$ sieht man, dass die Aktivität bis maximal auf den Wert $A_0 = 100\ \text{s}^{-1}$ steigen kann. Die gesuchte Zeit, für $A(t) = 0{,}97 \cdot A_0$ beträgt 273 min bzw. 5 Halbwertszeiten.

$$0{,}97 \cdot A_0 = A_0 \cdot \left(1 - e^{-\lambda \cdot t}\right)$$

$$0{,}03 \cdot A_0 = A_0 \cdot e^{-\lambda \cdot t}$$

$$t = -\frac{\ln(0{,}03)}{\lambda} = -\frac{\ln(0{,}03)}{\ln(2)} \cdot t_{1/2} \approx 5 \cdot t_{1/2}$$

3 BE