30. PHYSIKOLYMPIADE DES LANDES THÜRINGEN 2020/2021
LÖSUNGEN 2. Runde − KLASSENSTUFE **7**

*Hinweis: Hier sind in Kurzform Lösungs**vorschläge** angegeben, die sich auf die Aufgabenstellungen beziehen. Die endgültige Entscheidung über die Vergabe der Punkte trifft im Zweifelsfall der korrigierende Physiklehrer selbst. Achten Sie bitte auf korrekten sprachlich- physikalischen Ausdruck der Schüler.*

Lösung 30.2.07.1 „Märchenkugel“ (9 BE)

a) 5 BE

$$m_1 + m_2 = 500\ \text{g}$$
$$\rho_1 \cdot V_1 + \rho_2 \cdot V_2 = 500\ \text{g}$$
$$19{,}3\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 0{,}2 \cdot V + 10{,}5\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot 0{,}8 \cdot V = 500\ \text{g}$$
$$12{,}26\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \cdot V = 500\ \text{g}$$
$$V = 40{,}8\ \text{cm}^3$$

b) 4 BE

$$V_1 + V_2 = 500\ \text{cm}^3$$
$$\frac{m_1}{\rho_1} + \frac{m_2}{\rho_2} = 500\ \text{cm}^3$$
$$\frac{0{,}2 \cdot m}{12{,}26\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} + \frac{0{,}8 \cdot m}{10{,}5\,\frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 500\ \text{cm}^3$$
$$0{,}0925\,\frac{\text{cm}^3}{\text{g}} \cdot m = 500\ \text{cm}^3$$
$$m = 5405\ \text{g}$$

Lösung 30.2.07.2 „Thermometer“ (10 BE)

a) Skizze mit der Beschriftung Vorratsgefäß, Steigrohr, Thermometerflüssigkeit und Skala. 2 BE
Erklärung: Thermometerflüssigkeit dehnt sich bei Erwärmung aus und wird in das Anzeigeröhrchen gedrückt 2 BE

b) Höhere Temperatur beim matt-schwarzen Thermometergefäß, Wärmestrahlung wird absorbiert. 2 BE
Oder
Niedrigere Temperatur beim silber-glänzendem Thermometergefäß, Wärmestrahlung wird reflektiert.

c) Wärmestrahlung, Wärmeleitung, Wärmeströmung 2 BE
Wärmestrahlung zum Thermometergefäß, Wärmleitung 2 BE

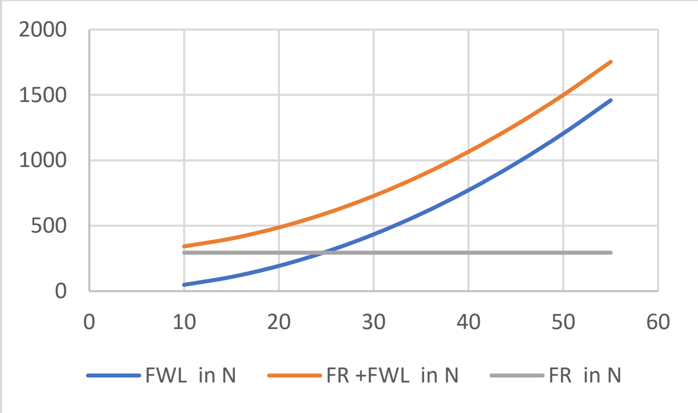
Lösung 30.2.07.3 „Im Auto unterwegs“ (10 BE)

a) Rollreibung $F_R = \mu \cdot F_N$ 2 BE

$$F_R = 0{,}02 \cdot 1500\ \text{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\text{N}}{\text{kg}} = 294\ \text{N}$$

v in m/s	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55
F_{WL} in N	48	109	193	302	434	591	772	977	1206	1459
$F_R + F_{WL}$ in N	342	403	487	596	728	885	1066	1271	1500	1753

2 BE



2 BE

b) $F_R = F_{WL}$

$\mu \cdot F_N = \frac{1}{2} \cdot c_W \cdot A \cdot \rho_L \cdot v^2$ 2 BE

c) $v = \sqrt{\frac{\mu \cdot F_N}{\frac{1}{2} \cdot c_W \cdot A \cdot \rho_L}}$ v $\cdot\, v = 24{,}7\,\frac{m}{s} = 89\,\frac{km}{h}$ ODER: Wert aus Diagramm ablesen

$F_{WL} = \frac{1}{2} \cdot c_W \cdot A \cdot \rho_L \cdot v^2$

$\cdot\, v = 130\,\frac{km}{h} \rightarrow \cdot F_{WL} = 629\,N$

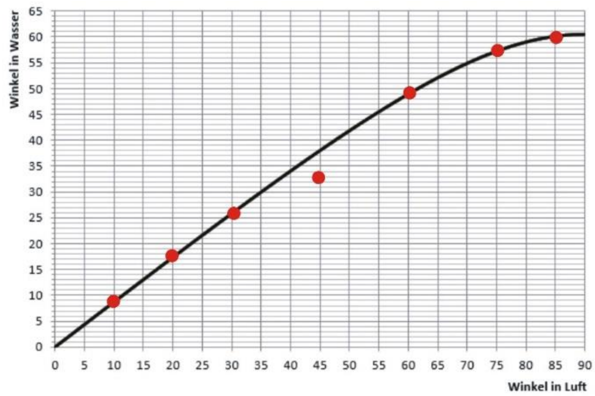
$\cdot\, v = 180\,\frac{km}{h} \rightarrow \cdot F_{WL} = 1207\,N$ ODER: Werte aus dem Diagramm ablesen

Der Luftwiderstand ist fast doppelt so groß. Man benötigt viel mehr Kraftstoff. 2 BE

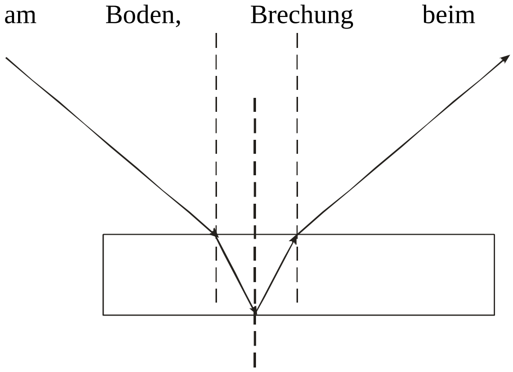
Lösung 30.2.07.4 „Weihnachten bei Opa Erwin“ (11 BE)

a) 5 BE

Zeichnen des Diagramms.✓ ✓
Messwert 4 ist falsch. ✓
Es würden sich bei $\alpha = 45°$ etwa $\beta = 38°$ ergeben. ✓
Für $\beta = 33°$ liest man etwa $\alpha = 39°$ ab. ✓



b) Zeichnen des Strahlenverlaufes. Einzeichnen der Lote. Brechung beim Übergang Luft – Wasser, Reflexion am Boden, Brechung beim Übergang Wasser – Luft. ✓✓✓ 3 BE



c) Die Linse wirkt als Zerstreuungslinse. Ursache ist die Brechung an der Vorderseite✓ vom Lot weg und an der Rückseite zum Lot hin✓. Zeichnung oder inhaltliche Begründung erforderlich. ✓ 3 BE

30. PHYSIKOLYMPIADE DES LANDES THÜRINGEN 2020/2021

LÖSUNGEN 2. Runde – KLASSENSTUFE **8**

Lösung 30.2.08.1 „Flaschenzug“ (10 Punkte)

a) Kräfte in jedem Seilabschnitt gleich. 3 BE

$_{Last}+F_{Rolle})/3$ F_{Zug}= (800N+40N)/3 = 280 N ✓✓✓

b) Bestimmung von F_{GMax} =700N. 3 BE

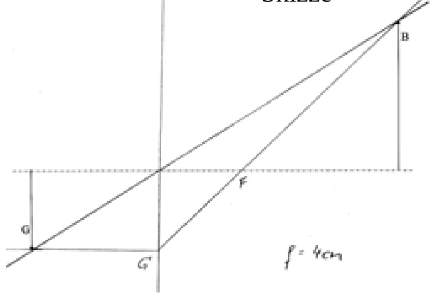
$F_{Boden} = F_{GMax} – F_{Zug}$ = 700N – 280N = 420N ✓✓✓

c) Maximale Kraft, die Max aufwenden kann ist seine Gewichtskraft. Dann ist F_{Boden} = 0. 4 BE

$F_{GMax} = F_{Zug}$ = ($F_{Last\ Max}$ + 40N) /3 = 700N $F_{Last\ Max}$ = 2060N . ✓✓✓✓

Lösung 30.2.08.2 „Sammellinse“ (10 BE)

Skizze ✓✓✓✓ 4 BE



Da G und B auf verschiedenen Seiten der optischen Achse liegen, ist B ein **reelles Bild** von G. ✓

Eine Verbindung von G und B stellt somit einen **Mittelpunktstrahl** dar (ohne Ablenkung), der Schnittpunkt dieses Strahls mit der optischen Achse führt zur **Linsenebene.** ✓✓

Ein **Parallelstrahl** durch G wird zum **Brennpunktstrahl**. ✓

Die Strecke G’B schneidet so die optische Achse im **Brennpunkt** F. ✓

Brennweite der Linse ist der Abstand von der Linsenebene zum Brennpunkt bzw. f = 4 cm✓ 6 BE

Lösung 30.2.08.3 „Lavalampe“ (10 BE)

Über die Glühlampe wird der Gefäßinhalt sowohl beleuchtet als auch erwärmt. ✓

Im Gefäß befinden sich zwei Stoffe, die beide bei Betriebstemperatur flüssig sind und eine ähnliche Dichte haben. ✓✓

Durch die Erwärmung dehnen sich die Stoffe aus.✓

Bei dem aufsteigenden Stoff verringert sich die Dichte stärker als bei der anderen Flüssigkeit ✓✓, so dass sie aufgrund des entstehenden Auftriebes in Form von großen Blasen im Gefäß aufsteigt ✓✓.

Die Abkühlung im oberen Teil des Gefäßes kehrt den Effekt um✓, die Flüssigkeit sinkt wieder ab und der Kreislauf beginnt von neuem.✓ 10 BE

Lösung 30.2.08.4 „Messing“ (10 BE)

a) Geg.: $c_M = 0{,}38 kJ \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$ $c_W = 4{,}19 kJ \cdot K^{-1} \cdot kg^{-1}$ $m_M = 350\,g$

$m_W = 500\,g$

$\vartheta_1 = 20°C$ $\vartheta_2 = 45°C$

Ges.: $\vartheta_M\, in °C$

Lös.: $Q_{ab} = Q_{auf}$ ✓

$$c_M \cdot m_M \cdot (\vartheta_M - \vartheta_2) = c_W \cdot m_W \cdot (\vartheta_2 - \vartheta_1)$$ ✓

$$\vartheta_M = \frac{4{,}19 kJ \cdot 0{,}5 kg \cdot 25 K \cdot kg \cdot K}{kg \cdot K \cdot 0{,}38 kJ \cdot 0{,}35 kg} + 318 K$$ ✓

$\vartheta_M = 438{,}8°C$ (711,8K) ✓ 4 BE

b) Geg.: $\vartheta_M = 440°C$ $\vartheta_E = 0°C$ $q_{Schm} = 334 kJ \cdot kg^{-1}$ $m_M = 300\,g$

Ges.: m in kg

Lös.: $Q_{auf} = Q_{ab}$ ✓ $c_M \cdot m_M \cdot \Delta T = q_{Schm} \cdot m$ ✓

$$m = \frac{0{,}38 kJ \cdot 0{,}35 kg \cdot 440 K \cdot kg}{kg \cdot K \cdot 334 kJ}$$ ✓ m = 0,175kg ✓

$c_{Stahl} > c_M$ → es wird eine größere Menge Eis geschmolzen ✓✓ 6 BE

30. PHYSIKOLYMPIADE DES LANDES THÜRINGEN 2020/2021

LÖSUNGEN 2. Runde – KLASSENSTUFE **9**

Lösung 30.2.09.1 „Einholen“ (10 Punkte)

a) z.B. ein Weg-Zeit-Diagramm oder Weg- Zeit-Strahl ✓✓ 2 BE

b) $t_2 = t_1 + 70s$, $t_3 = t_2 + 3030s = t_1 + 3100s$ ✓✓ 8 BE

$s_A = v_A \cdot 3100s = 62km$ ✓ ✓

$s_{B\ bis\ A} = 15{,}5km - 1{,}75km = 13{,}75km$ ✓

$v_B = (s_A + s_{B\ bis\ A})/3030s = 90km/h$ ✓✓

$62km + 13{,}75km = 75{,}75km$ ✓

Die Geschwindigkeit des Fahrzeugs B beträgt 90km/h.
Die Strecke für das Fahrzeug A ist 62km, die Strecke für das Fahrzeug B ist 75,75km.

Lösung 30.2.09.2 „Regelbar“ (10 BE)

a) Schaltung ✓ 1 BE

b) Glühlampe mit 10Ω✓, Strom berechnen 2A✓, Leistung berechnen 40W✓ 3 BE

c) $1/R_G = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3$ ✓; $R_G = 5{,}45\Omega$✓; $I_G = U/R_G$; $I_G = 3{,}67A$✓; $P = 73{,}3W$✓ 4 BE

d) 2 BE

Gesamtwiderstand $R = R_G + R_{vor} = 105{,}45\Omega$; Gesamtstrom $I = U/R = 0{,}189\Omega$✓; Gesamtleistung der Glühlampen $P = 0{,}195W$✓ aus $U_R = 18{,}96V$ und $U_{Glühlampen} = 1{,}03V$

Lösung 30.2.09.3 „Warm werden“ (10 BE)

✓ ✓ ✓ 3 BE

$$Q_{Auf} = Q_s + Q_W = q_s \cdot m_{Eis} + m_{Wasser} \cdot c \cdot \Delta\vartheta$$

$$= 334\frac{kJ}{kg} \cdot 0{,}5kg + 1kg \cdot 4{,}19\frac{kJ}{kg \cdot K} \cdot 20K = \underline{\underline{250{,}8kJ}}$$ ✓✓ 2 BE

✓ ✓ 2 BE

$$Q_{ab} = m_{WD} \cdot q_V + m_{WD} \cdot c \cdot \Delta\vartheta_{WD}$$

$$m_{WD} = \frac{Q_{ab}}{q_V + c \cdot \Delta\vartheta_{WD}} = \frac{250{,}8kJ \cdot kg}{2260\,kJ + 4{,}19kJ \cdot 80} = \underline{\underline{0{,}097\,kg = 97\,g}}$$ ✓ ✓✓ 3 BE

Lösung 30.2.09.4 „Scharf abbilden“ (10 BE)

Angemessene Skizze ✓ 1 BE

Wenn die Belichtungszeit Δt ist, so ist der Zug in dieser Zeit die Strecke s = v Δt. Diese Strecke entspricht der Gegenstandsgröße G. ✓✓ 2 BE

Es lässt sich die Bildweite b bestimmen mit $b = \frac{g\,.\,f}{g-f} = \frac{50m\,.\,0{,}05m}{50m-0{,}05m} = 0{,}05m.$ ✓✓ 2 BE

Die Bildgröße B ist die auf dem Film abgebildete Fahrstrecke. 4 BE

Für sie gilt $B = \frac{b}{g}.G = \frac{b}{g}.v.\Delta t \leq \frac{1}{30}mm$ ✓✓✓✓

Damit ergibt sich $\Delta t = \frac{1}{750}$ s. ✓ 1 BE

Antwort: Wenn die Belichtungszeit höchstens $\frac{1}{750}$ s beträgt, ist das Foto noch scharf.

30. PHYSIKOLYMPIADE DES LANDES THÜRINGEN 2020/2021
LÖSUNGEN 2. Runde − KLASSENSTUFE **10**

Lösung 30.2.10.1 „Es geht bergab!“ (10 Punkte)

a) Hangabtriebskraft des einen Wagons sorgt für Beschleunigung des anderen bzw. reduziert dessen Hangabtriebskraft, so dass weniger Kraft zur Beschleunigung notwendig ist. Die Höhenenergie des oberen Wagens wird also genutzt, um den anderen Wagon nach oben zu ziehen. ✓ ✓ 2 BE

b) $F_a = F_P - F_G - F_R$ ✓ 6 BE

$= m_P \cdot g \cdot \sin\alpha$ ✓ $- m_G \cdot g \cdot \sin\alpha - (m_P + m_G)$ ✓ $\cdot g \cdot \mu \cdot \cos\alpha$ ✓

$\sin\alpha = \frac{323\ \mathrm{m}}{1387\ \mathrm{m}} = \frac{17}{73} \rightarrow \alpha = 13{,}5\,°$ ✓

$F_a = 59{,}38\ \mathrm{kN} - 57{,}09\ \mathrm{kN} - 0{,}97\ \mathrm{kN} = 1{,}31\ \mathrm{kN}$ ✓

c) $a = \frac{F_a}{m}$ ✓ $= \frac{1{,}31\ \mathrm{kN}}{51\ \mathrm{t}} = 2{,}57 \cdot 10^{-2}\ \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$ ✓ 2 BE

Lösung 30.2.10.2 „Kaffeepause“ (10 Punkte)

a) $q_V \cdot m_D + m_D \cdot c_W \cdot \Delta T_D$ ✓ $= m_G \cdot c_G \cdot \Delta T_G + m_M \cdot c_M \cdot \Delta T_M$ ✓ 5 BE

$m_D = \frac{m_G \cdot c_G \cdot \Delta T_G + \varrho_M \cdot V_M \cdot c_M \cdot \Delta T_M}{q_V + c_W \cdot \Delta T_D}$ ✓

$= \frac{0{,}08\ \mathrm{kg} \cdot 0{,}86\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg \cdot K}} \cdot 60\ \mathrm{K} + 0{,}12\ \mathrm{dm^3} \cdot 1{,}032\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{dm^3}} \cdot 3{,}85\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg \cdot K}} \cdot 60\ \mathrm{K}}{2260\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}} + 4{,}19\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg \cdot K}} \cdot 20\ \mathrm{K}}$

$= 14{,}0\ \mathrm{g}$ ✓ ✓

b) $t = \frac{Q}{\eta \cdot P}$ ✓ $= \frac{q_V \cdot m_D + m_D \cdot c_W \cdot \Delta T_W}{\eta \cdot P}$ ✓ $= \frac{2260\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg}} \cdot 0{,}014\ \mathrm{kg} + 0{,}014\ \mathrm{kg} \cdot 4{,}19\ \frac{\mathrm{kJ}}{\mathrm{kg \cdot K}} \cdot 80\ \mathrm{K}}{0{,}9 \cdot 2500\ \mathrm{W}}$ 3 BE

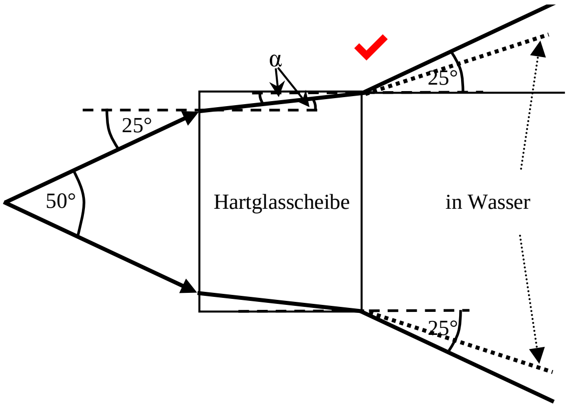
$= 16{,}1\ \mathrm{s}$ ✓

c) 2 BE

- Dampf tritt aus der Milch aus, ohne zu kondensieren und damit ohne seine Wärme abzugeben ✓
- Dampf kondensiert bereits im Schlauch des Milchaufschäumers und gibt Wärme an das Gerät ab ✓

Lösung 30.2.10.3 „Lampe auf Tauchstation“ (10 Punkte)

a)



(1) aus 6 BE

$1{,}5 \cdot \sin\alpha = 1 \cdot \sin(25°)$

erhält man $\alpha \approx 16{,}4°$

(2) aus

$1{,}5 \cdot \sin\alpha = 1{,}333 \cdot \sin\beta$

erhält man mit (1)

$1 \cdot \sin 25° = 1{,}333 \cdot \sin\beta$

das Ergebnis: $\beta \approx 18{,}5°$

Der Öffnungswinkel des Lichtkegels beträgt im Wasser somit

$2 \cdot 18{,}5° = \underline{37°}$

b) Der Öffnungswinkel beträgt wiederum 50°, weil sich der Wert des Produkts aus Brechzahl und Sinus des Winkels im entsprechenden Material bei allen Lichtdurchgängen nicht ändert. Somit ist der Öffnungswinkel so wie vorher in Luft, also 50°. 2 BE

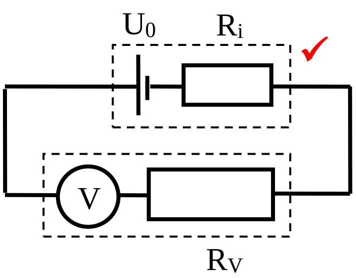
c) z. B.: Die Glasscheibe sollte sphärisch (hohlkugelförmig) gebogen sein, sodass die Strahlen des Leuchtmittels senkrecht auf das Glas eintreffen. 3 BE
Begründung: Der Einfallswinkel ist dann 0°. Dadurch wird Brechung an der Glasfläche komplett vermieden und die Lichtstrahlen ändern ihre Richtung nicht.

Lösung 30.2.10.4 „Batterie leistet Widerstand“ (10 Punkte)

a) Erklärung: 3 BE

Die Urspannung der Batterie teilt sich entsprechend des Maschensatzes auf die beiden vorhandenen Widerstände der Schaltung auf. Der Innenwiderstand der Batterie ist bei beiden Messungen unverändert gleich. Nur die zugeschalteten Voltmeter weisen unterschiedliche Widerstände auf, weshalb die Gesamtstromstärke beim Voltmeter 2 mit dem kleineren Widerstand insgesamt größer ist. Dadurch fällt auch der Spannungsabfall am Innenwiderstand der Batterie mit $U_{i2} = R_i \cdot I_2$ größer aus als bei Voltmeter 1. Der restliche Spannungsanteil für den Widerstand des Voltmeters 2 (U_{V2}) ist somit kleiner, da die Urspannung der Batterie ja gleich ist. (Spannungsteilerregel)

Ersatzschaltbild:



b) laut Maschensatz gilt: $U_0 = U_{R_V} + U_{R_i}$ 7 BE

mit $U_{R_i} = R_i \cdot I$ und $I = I_{R_i} = I_{R_V} = \frac{U_{R_V}}{R_V}$ ergibt sich: $U_0 = U_{R_V} + R_i \cdot \frac{U_{R_V}}{R_V}$

für Voltmeter 1: $U_0 = U_{V1} + R_i \cdot \frac{U_{V1}}{R_{V1}}$	für Voltmeter 2: $U_0 = U_{V2} + R_i \cdot \frac{U_{V2}}{R_{V2}}$

Lösung des Gleichungssystems:

$$U_{V1} + R_i \cdot \frac{U_{V1}}{R_{V1}} = U_{V2} + R_i \cdot \frac{U_{V2}}{R_{V2}}$$

$$R_i \cdot \left(\frac{U_{V1}}{R_{V1}} - \frac{U_{V2}}{R_{V2}}\right) = (U_{V2} - U_{V1})$$

$$R_i = \frac{U_{V2} - U_{V1}}{\frac{U_{V1}}{R_{V1}} - \frac{U_{V2}}{R_{V2}}}$$

$$R_i = \frac{6{,}0V - 6{,}2V}{\frac{6{,}2V}{5000\,\Omega} - \frac{6{,}0V}{1000\,\Omega}}$$

$$\underline{\underline{R_i = 42\ \Omega}}$$

$$U_0 = U_{V1} + R_i \cdot \frac{U_{V1}}{R_{V1}}$$

$$U_0 = 6{,}2V + 42\Omega \cdot \frac{6{,}2V}{5000\,\Omega}$$

$$\underline{\underline{U_0 = 6{,}25\ V}}$$

30. PHYSIKOLYMPIADE DES LANDES THÜRINGEN 2020/2021
LÖSUNGEN 2. Runde − KLASSENSTUFE **11**

Lösung 30.2.11.1 „beschwerliche Kaffeetasse“ (10 BE)

a) $-Q_{ab} = Q_{auf}$ 4 BE

$$-m_W \cdot c_W \cdot (\vartheta_M - \vartheta_W) = (C + m_L \cdot c_L) \cdot (\vartheta_M - \vartheta_0)$$

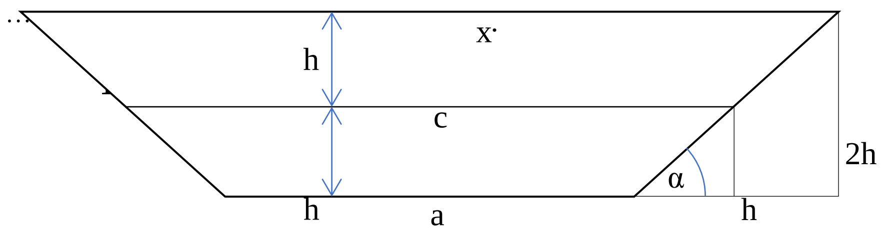
$$\vartheta_M = \frac{m_W \cdot c_W \cdot \vartheta_W + (C + m_L \cdot c_L) \cdot \vartheta_0}{C + m_L \cdot c_L + m_W \cdot c_W}$$

$$\underline{\underline{\vartheta_M = 82\,°C}}$$

b) Skizze eines Graphen: exponentielle Abnahme der Temperatur ab dem Startwert ϑ_M=82°C. 2 BE

c) Skizze eines weiteren Graphen exponentieller Abnahme mit gleichem Startwert ϑ_M =82°C, der ansonsten unterhalb des Graphen von b) verläuft. 2 BE
Annäherung an den Grenzwert 21°C (Raumtemperatur) – nicht auf Null!
Angeben zweier Begründungen, z.B.:
Wärmeabgabe an die Umwelt an der Tee-Oberfläche. Beim Rühren wird Flüssigkeit höherer Temperatur an die Oberfläche
gewirbelt, die Temperatur im Tee wird näherungsweise homogen verteilt.
Außerdem verwirbelt die Luft über der Oberfläche und nimmt Raumtemperatur an.
Ferner wird beim Rühren die Oberfläche vergrößert.
Die Wärmeabgabe dQ/dt ist umso größer, je größer die Temperaturdifferenz zwischen Flüssigkeit an der Oberfläche und der Umgebungsluft ist. Dies führt dazu, dass der Abkühlungsprozess schneller vonstatten-geht. 2 BE

Lösung 30.2.11.2 „Klamm“ (10 BE)



1 BE

a, c – parallele Seiten des Original-Trapezes; (x · c) – um Faktor x vergrößerte Trapezseite bei Hochwasser 1 BE

Für nicht symmetrische Trapeze gilt dasselbe, da die Fläche des Querschnitts und alle Geometrien gleich berechnet werden.

Da: $V_{Hochwasser} = 3 \cdot V_{Original}$

$A_{Hochwasser} \cdot s = 3 \cdot (A_{Original} \cdot s)$ Strecke s kürzbar, da gleich

$$\frac{a + x \cdot c}{2} \cdot 2h = 3 \cdot \frac{a+c}{2} \cdot h$$

$$2a + 2x \cdot c = 3a + 3c$$

$$x \cdot c = 0{,}5a + 1{,}5c$$

4 BE

Aus Skizze: $\tan\alpha = \frac{h}{\left(\frac{c-a}{2}\right)} = \frac{2h}{\left(\frac{xc-a}{2}\right)}$ und daraus

$$\frac{1}{c-a} = \frac{2}{xc-a} \text{ und mit } \qquad x \cdot c = 0{,}5a + 1{,}5c$$

folgt

$$1{,}5c - 0{,}5a = 2c - 2a \qquad \text{und daraus}$$

$$3a = c$$ 3 BE

Nur unter dieser Bedingung gilt die Aussage, sonst nicht.

Bei Lösung nur anhand eines Beispiels werden 3 Pkt abgezogen. 1 BE

Lösung 30.2.11.3 „kräftige Kügelchen“ (10 BE)

a)

$$F_{el} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} \quad mit \;\; Q_1 = Q_2 = Q \qquad \Rightarrow \; F_{el} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{r^2} \qquad (1)$$ 1 BE

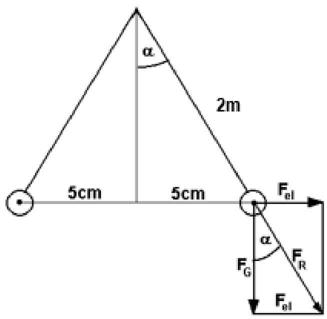
$$\tan\alpha = \frac{F_{el}}{F_G} \;; \sin\alpha = \frac{5cm}{200cm} \rightarrow \underline{\alpha = 1{,}43°} \qquad F_{el} = F_G \cdot \tan\alpha = m \cdot g \cdot \tan\alpha \qquad (2)$$ 1 BE

$$Aus \;\; (1)\, und \;\; (2) \;\Rightarrow\; \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q^2}{r^2} = m \cdot g \cdot \tan\alpha$$ 1 BE

$$Q = \sqrt{4 \cdot \pi \cdot \varepsilon_0 \cdot r^2 \cdot m \cdot g \cdot \tan\alpha}$$

$$Q = \sqrt{4 \cdot \pi \cdot 8{,}85 \cdot 10^{-12} \frac{As}{Vm} \cdot (0{,}1m)^2 \cdot 2 \cdot 10^{-3} kg \cdot 9{,}81 \frac{m}{s^{-2}} \cdot \frac{0{,}05m}{2{,}0m}} = \underline{2{,}34 \cdot 10^{-8} As}$$ 1 BE

$$n = \frac{Q}{e} = \frac{2{,}34 \cdot 10^{-8} As}{1{,}602 \cdot 10^{-19} As} = \underline{1{,}46 \cdot 10^{11}}$$ 1 BE



1 BE

1 BE

b) $\alpha = 90$ °, die Schwerkraft wirkt nicht mehr, damit ändert sich die Coulombkraft auf 2 BE

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = 3{,}07 \cdot 10^{-7} N \qquad \text{mit r = 4m}$$ 1 BE

Lösung 30.2.11.4 „Eine Frage der Schönheit“ (10 BE)

a) $\frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$ mit E = g + (-b) , da b negativ außerdem f = r / 2 (Hohlspiegel) 6 BE

$$\frac{2}{r} = \frac{1}{g-E} + \frac{1}{g} = \frac{g+g-E}{g(g-E)} \;\rightarrow\; g(g-E) = \frac{2g \cdot r}{2} - \frac{E \cdot r}{2} \;\rightarrow\; g^2 - (E+r) \cdot g + \frac{E \cdot r}{2} = 0$$

$$g_{\frac{1}{2}} = \frac{E+r}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{E+r}{2}\right)^2 - \frac{E \cdot r}{2}} = \frac{E+r}{2} \pm \sqrt{\frac{E^2 + 2Er + r^2}{4} - \frac{2E \cdot r}{4}}$$

$$= \frac{1}{2}(E+r) \pm \frac{1}{2}\sqrt{E^2 + r^2} = 10\ cm$$

(g_2 = 60 cm entfällt, da sonst g > E wäre)

b) $V = \frac{B}{G} = \frac{|b|}{g} = \frac{|g-E|}{g} = \frac{20cm}{10cm} = \underline{2}$ 2 BE

c)
- Konstruktion mit Hauptstrahlen 2 BE
- zahlenmäßige Bestätigung des Ergebnisses im Maßstab unter Berücksichtigung
- angemessener Zeichenungenauigkeit

30. PHYSIKOLYMPIADE DES LANDES THÜRINGEN 2020/2021
LÖSUNGEN 2. Runde − KLASSENSTUFE **12**

Lösung 30.2.12.1 „Ballpyramide“ (10 Punkte)

a) Die Bälle stoßen untereinander elastisch und man benötigt für die Berechnung der Geschwindigkeit die einzelnen Massen. Mit $m_{\mathrm{K}i} = \rho \cdot \frac{\pi}{6} \cdot D_i^3$ folgen $m_{\mathrm{K1}} = 46{,}9$ g, $m_{\mathrm{K2}} = 19{,}8$ g und $m_{\mathrm{K3}} = 5{,}9$ g. 1 BE

Für einen elastischen Stoß zwischen zwei Körpern m_1 und m_2 gilt $u_2 = \frac{(m_2-m_1)\cdot v_2+2m_1\cdot v_1}{m_1+m_2}$. Der erste Stoß findet zwischen der Kugel 1 und der Erde statt. Dafür benötigt man die Auftreffgeschwindigkeit v_0 der Bälle auf dem Boden. Diese berechnet man entweder aus dem Energieansatz $m \cdot g \cdot h_0 = \frac{m}{2} v_0^2$ oder über die Gesetze des freien Falls. Es folgt 1 BE

$$v_0 = \sqrt{2 \cdot g \cdot h_0}. \qquad (1)$$

Mit $m_{\mathrm{E}} \gg m_{\mathrm{K1}}$ und $v_{\mathrm{E}} = 0$ folgt $u_{\mathrm{K1}} = -v_0$. Nun stoßen Kugel 1 (m_{K1}; $-v_0$) und Kugel 2 (m_{K2}; $+v_0$) miteinander und man erhält

$$u_{\mathrm{K2}} = \frac{(m_{\mathrm{K2}}-m_{\mathrm{K1}})\cdot v_0+2m_{\mathrm{K1}}\cdot(-v_0)}{m_{\mathrm{K1}}+m_{\mathrm{K2}}} = \frac{(m_{\mathrm{K2}}-3\cdot m_{\mathrm{K1}})\cdot v_0}{m_{\mathrm{K1}}+m_{\mathrm{K2}}} = -8{,}03\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}. \qquad (2)$$ 1 BE

Als nächsten stoßen Kugel 2 (m_{K2}; u_{K2}) und Kugel 3 (m_{K3}; $+v_0$) miteinander und man erhält

$$u_{\mathrm{K3}} = \frac{(m_{\mathrm{K3}}-m_{\mathrm{K2}})\cdot v_0+2m_{\mathrm{K2}}\cdot u_{\mathrm{K2}}}{m_{\mathrm{K2}}+m_{\mathrm{K3}}} = -14{,}80\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}. \qquad (3)$$ 1 BE

Mit der Geschwindigkeit nach dem Stoß kann die kinetische Energie des Balls berechnet werden. Diese ist vollständig in potentielle Energie umgewandelt, wenn der Ball die größte Höhe

$$h_3 = \frac{u_{\mathrm{K3}}^2}{2\cdot g} = 11{,}16\ \mathrm{m} \qquad (4)$$ 1 BE

erreicht hat. Da der dritte Ball nicht direkt mit dem Boden, sondern mit den beiden darunter liegenden Bällen zusammenstößt, startet er nicht bei $h = 0$ m, sondern bei $h = D_1+D_2 = 0{,}07$ m und fliegt somit bis $h_{\max} = 11{,}23$ m. 1 BE

b) Für $m_1 \gg m_2 \gg m_3$ sind die ersten Berechnungsschritte identisch. Gleichungen (2) lässt sich dann weiter vereinfachen zu

$$u_{\mathrm{K2}} = \frac{(m_{\mathrm{K2}}-3\cdot m_{\mathrm{K1}})\cdot v_0}{m_{\mathrm{K1}}+m_{\mathrm{K2}}} \approx \frac{-3\cdot m_{\mathrm{K1}}\cdot v_0}{m_{\mathrm{K1}}} \approx -3 \cdot v_0. \qquad (5)$$ 1 BE

Setzt man dies in Gleichung (3) ein folgt,

$$u_{\mathrm{K3}} = \frac{(m_{\mathrm{K3}}-m_{\mathrm{K2}})\cdot v_0+2m_{\mathrm{K2}}\cdot(-3\cdot v_0)}{m_{\mathrm{K2}}+m_{\mathrm{K3}}} = \frac{m_{\mathrm{K3}}\cdot v_0-7m_{\mathrm{K2}}\cdot v_0}{m_{\mathrm{K2}}+m_{\mathrm{K3}}} \approx \frac{-7\cdot m_{\mathrm{K2}}\cdot v_0}{m_{\mathrm{K2}}} \approx -7 \cdot v_0 \qquad (6)$$ 1 BE

Gleichung (4) liefert dann die gesuchte maximale Endhöhe $h_{\max} = \frac{u_{\mathrm{K3}}^2}{2\cdot g} = \frac{(-7\cdot v_0)^2}{2\cdot g} = \frac{49}{2\cdot g} v_0^2$. 1 BE

Ersetz man v_0 noch mit Gleichung (1) durch die Starthöhe h_0 des drittens Balls, folgt schließlich

$$h_{\max} = \frac{49}{2\cdot g} \cdot 2 \cdot g \cdot h_0 = 49 \cdot h_0 \qquad (7)$$ 1 BE

Im Idealfall fliegt der Ball bis in die 49-fache Starthöhe!

Lösung 30.2.12.2 „Beta-Spektroskopie“ (10 Punkte)

a) Die Richtung der magnetischen Flussdichte senkrecht zur Geschwindigkeitsrichtung der Elektronen steht, wirkt die Lorenzkraft als Radialkraft. Dabei wird nur die Richtung der Elektronen geändert und der Betrag der Geschwindigkeit bleibt gleich. Somit ändert sich die Energie der Elektronen nicht. 1 BE

b) Aus dem Kraftansatz $F_{\mathrm{L}} = F_{\mathrm{R}}$ 2 BE

$$\mathrm{e}\cdot\mathrm{v}\cdot\mathrm{B} = \frac{\mathrm{m}\cdot\mathrm{v}^2}{\mathrm{r}} \text{ folgt}$$

$$\mathrm{r} = \frac{\mathrm{m}\cdot\mathrm{v}}{\mathrm{e}\cdot\mathrm{B}} = \frac{\mathrm{p}}{\mathrm{e}\cdot\mathrm{B}}$$

Der Bahnradius r ist zum Elektronenimpuls p direkt proportional. Entsprechend gibt es für verschiedene Werte von ***d*** auch verschiedene **Impulswerte.**

c) Da die Geschwindigkeit der Elektronen $v = 0{,}87\cdot c$ beträgt, muss relativistisch gerechnet werden.

$$d = 2\cdot r = \frac{2\cdot m\cdot v}{e\cdot B} = \frac{2\cdot m_0\cdot v}{e\cdot B\cdot\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} = \frac{2\cdot 9{,}1\cdot 10^{-31}\cdot kg\cdot 0{,}87\cdot 3\cdot 10^8\frac{m}{s}}{1{,}602\cdot 10^{-19}As\cdot 0{,}081\ T\cdot\sqrt{1-\frac{(0{,}87\cdot 3\cdot 10^8\frac{m}{s})^2}{(3\cdot 10^8\frac{m}{s})^2}}}$$ $\underline{\underline{d = 0{,}074\ m}}$ 3 BE

d) $d_{max} = 14$ cm = 0,14 m, $E_{kin} = 2{,}0$ MeV 4 BE

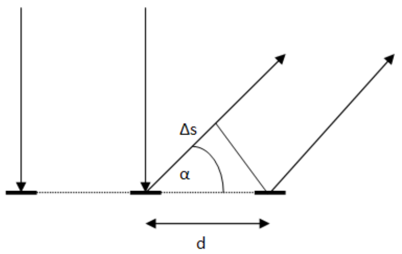
$E_{kin} = (m-m_0)\cdot c^2$

$$\frac{E_{kin}}{c^2\cdot m_0}+1 = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}} \rightarrow v = 2{,}94\cdot 10^8\ \frac{m}{s}$$

$$B = \frac{2\cdot m_0\cdot v}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}\cdot e\cdot d_{max}} \qquad \rightarrow \qquad \underline{\underline{B = 0{,}12\ T}}$$

Lösung 30.2.12.3 „Compactdisc“ (10 Punkte)

a)



d Abstand der Spurrinnen 2 BE

α Reflexionswinkel

$\Delta s = k\cdot\lambda$ Gangunterschied der Wellen, die sich überlagern

Berechnen des Unterschiedes der Ordnungen:

$\cos\alpha_1 = \frac{\Delta s}{d} = \frac{k_1\cdot\lambda}{d}$ $\cos\alpha_2 = \frac{k_2\cdot\lambda}{d}$

$\lambda = \frac{d\cdot\cos\alpha_1}{k_1}$ $\cos\alpha_2 = \frac{k_2\cdot d\cdot\cos\alpha_1}{d\cdot k_1}$

$k_2 = \frac{\cos\alpha_2}{\cos\alpha_1}\cdot k_1 \rightarrow k_2 = 2\cdot k_1$

$d = \frac{1\cdot\lambda}{\cos\alpha_1} = \frac{2\cdot\lambda}{\cos\alpha_2} = 1{,}6\ \mu m$

3 BE

b) Weißes Licht besteht aus vielen Farben, d.h. unterschiedliche Wellenlängen. Das Interferenzbild ist von der Wellenlänge abhängig. So entsteht für jede Farbe das Interferenzbild an einer anderen Stelle. Damit kommt es zu den farbigen Reflexionen. 2 BE

c) $\cos\alpha_3 = \frac{k\cdot\lambda}{d} = \frac{2\cdot 800\ nm}{1{,}6\cdot 10^{-6}\ m} = 1 \rightarrow \alpha = 90°$ 3 BE

→ keine vollständige Abbildung auf dem Schirm

Lösung 30.2.12.4 „Experimentelle Bestimmung der relativen Permittivität von Luft“ (10 Punkte)

a) Ausgangspunkte der Herleitung sind die Thompson’sche Schwingungsgleichung

$$f = \frac{1}{2\pi\cdot\sqrt{L\cdot C}} \qquad (1)$$

sowie die Definition der Kapazität eines Plattenkondensators

$$C = \varepsilon_0\cdot\varepsilon_r\cdot\frac{A}{d} \qquad (2)$$

bzw. der daraus folgende Zusammenhang

$$C_L = \varepsilon_r\cdot C_0 \qquad (3)$$ 1 BE

mit der Kapazität C_0 für Vakuum und C_L für einen mit Luft gefüllten Plattenkondensator.

Aus (1) und (3) folgt

$$f_L = \frac{1}{\sqrt{\varepsilon_L}}\cdot f_0 \qquad (4)$$ 2 BE

und daraus

$$\varepsilon_L = \left(\frac{f_0}{f_L}\right)^2 = \left(\frac{f_0}{f_0-0{,}3\ Hz}\right)^2 = 1{,}0006 \qquad (5)$$ 2 BE

1 BE

Für normale Materiezustände ist $\varepsilon_r > 1$, und aus Gleichung (1) folgt, dass $f_L = f_0 - 0{,}3\ Hz = 999{,}7\ Hz$ ist.

b) Ausgehend von Gleichung (5) $\varepsilon_\mathrm{L} = \left(\frac{f_0}{f_\mathrm{L}}\right)^2$ bzw. $\varepsilon_\mathrm{L} = f_0^2 \cdot f_\mathrm{L}^{-2}$ berechnet man im ersten Schritt die beiden partiellen Ableitungen

$$\frac{\partial \varepsilon_\mathrm{L}}{\partial f_0} = 2 \cdot \frac{f_0}{f_L^2} \qquad (6)$$ 1 BE

und

$$\frac{\partial \varepsilon_\mathrm{L}}{\partial f_L} = -2 \cdot \frac{f_0^2}{f_L^3} \qquad (7)$$ 1 BE

Mit Gleichung $(*)$ folgt dann

$$\Delta\varepsilon_\mathrm{L} = \left|2 \cdot \frac{f_0}{f_L^2}\right| \cdot \Delta f_0 + \left|-2 \cdot \frac{f_0^2}{f_L^3}\right| \cdot \Delta f_\mathrm{L} \qquad (8)$$

Setzt man die angegebenen Messgenauigkeit der Frequenzen $\Delta f = 0{,}1$ Hz, f_0 = 1000 Hz und f_L = 999,7 Hz ein folgt

$$\Delta\varepsilon_\mathrm{L} = |0{,}002001\ \mathrm{Hz}^{-1}| \cdot 0{,}1\ \mathrm{Hz} + |-0{,}002002\ \mathrm{Hz}^{-1}| \cdot 0{,}1\ \mathrm{Hz} = 0{,}0004 \qquad (9)$$ 2 BE

und damit als Ergebnis des Experiments $\varepsilon_\mathrm{L} = 1{,}0006 \pm 0{,}0004$.