Studienkolleg an der RWTH Aachen

AT2 Physik (Kg) **2. Klausur** **17. Juni 2005**

Aufgabe 1:

Ein Kind fährt auf einem Schlitten einen $l = 12\,\mathrm{m}$ langen Hang hinunter. Die Masse des Kindes samt Schlitten beträgt $m = 40\,\mathrm{kg}$ und der Winkel des Hanges mit der Horizontalen ist $\alpha = 10^0$. Die Gleitreibungszahl des Schlittens auf dem Schnee beträgt $\mu = 0{,}1$.
a) Leiten Sie eine allgemeine Formel für die Beschleunigung a auf dem Hang her. Welche Beschleunigung ergibt sich bei den gegebenen Daten? [Zur Kontrolle: $a = 0{,}74\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}$.]
b) Welche Geschwindigkeit erreicht der Schlitten?
c) Vom Endes des Hanges aus gleitet der Schlitten horizontal weiter. In welcher Entfernung vom Fußpunkt des Hanges kommt der Schlitten zum Stehen?

Aufgabe 2:

Ein Körper wird mit der Anfangsgeschwindigkeit $v_0 = 16\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ in $h = 10\,\mathrm{m}$ Höhe waagerecht abgeworfen. In $l = 15\,\mathrm{m}$ Entfernung von der Abwurfstelle befindet sich eine $h_1 = 6\,\mathrm{m}$ hohe Mauer.
a) In welcher Höhe und unter welchem Winkel trifft der Körper auf die Mauer auf?
b) Wie groß muss die Abwurfgeschwindigkeit mindestens sein, damit der Körper über die Mauer fliegt? In welcher horizontalen Entfernung von der Abwurfstelle trifft er dann auf dem Boden auf?

Aufgabe 3:

Ein luftgefüllter Plattenkondensator mit der Kapazität $5 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{F}$ und dem Plattenabstand $2\,\mathrm{mm}$ wird mit einer Spannung von $1000\,\mathrm{V}$ aufgeladen und von der Spannungsquelle abgetrennt.
a) Welche Plattenfläche hat der Kondensator und welche Ladung trägt er?
b) Wie groß ist die Feldstärke und welche Energie ist im Kondensator gespeichert?
c) Es wird eine $2\,\mathrm{mm}$ dicke Plexiglasplatte (Dielektrizitätskonstante $\varepsilon_r = 3$) zwischen die Kondensatorplatten geschoben. Erläutern Sie die physikalischen Vorgänge im Innern der Glasplatte. Welche Spannung besteht nun zwischen den Kondensatorplatten? Welche Auswirkung hat die Glasplatte auf den Energieinhalt des Kondensators?

Aufgabe 4:

In einer Braunschen Röhre sei die Beschleunigungsspannung $U_a = 1500\,\mathrm{V}$, der Ablenkkondensator habe einen Plattenabstand von $d = 5\,\mathrm{mm}$ sowie in Flugrichtung der Elektronen eine Länge von $l = 3\,\mathrm{cm}$.

a) Mit welcher Geschwindigkeit treten die Elektronen in den Ablenkkondensator ein?
b) Die Elektronen treten genau in der Mitte zwischen den Kondensatorplatten im rechten Winkel in das elektrische Feld ein. Wie groß darf die Spannung U zwischen den Platten des Ablenkkondensators maximal sein, damit die Elektronen den Kondensator verlassen und einen Bildpunkt auf dem Bildschirm erzeugen können?
c) Warum ist eine Braunsche Röhre prinzipiell zur Messung von Spannungen geeignet? Welche Bedeutung hat das Ergebnis von b) für dieses ‘Messgerät’? Was ist zu tun, um ohne Umbauten höhere Spannungen als die in b) bestimmte zu messen?

Daten: Elementarladung $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}$
elektrische Feldkonstante $\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\mathrm{C/Vm}$
Masse des Elektrons $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}$

2. Klausur — Lösungen

1) a) Die Hangabtriebskraft des Schlittens beträgt $F_\mathrm{H} = mg \cdot \sin\alpha$. Die Reibungskraft ergibt sich aus der Normalkraft: $F_\mathrm{R} = \mu F_\mathrm{N} = \mu mg \cdot \cos\alpha$. Die beschleunigende Kraft ist also

$$F = F_\mathrm{H} - F_\mathrm{R} = mg\sin\alpha - \mu mg\cos\alpha$$

und die Beschleunigung daher

$$a = \frac{F}{m} = (\sin\alpha - \mu\cos\alpha) \cdot g\,.$$

Hier ergibt sich konkret

$$a = (\sin 10^0 - 0{,}1\cos 10^0) \cdot g = 0{,}075 \cdot g = 0{,}74\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\,.$$

b) Für die 12 m benötigt der Schlitten die Zeit t:

$$\frac{1}{2}at^2 = l \iff t = \sqrt{\frac{2l}{a}} = \sqrt{\frac{24\,\mathrm{m}}{0{,}74\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}} = 5{,}71\,\mathrm{s}\,.$$

Dabei erreicht der Schlitten die Geschwindigkeit

$$v = at = 0{,}74\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 5{,}71\,\mathrm{s} = 4{,}21\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\,.$$

Alternativ:

$$2al = v^2 - v_0^2 = v^2 \iff v = \sqrt{2al} = \sqrt{2 \cdot 0{,}74\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 12\,\mathrm{m}} = 4{,}21\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\,.$$

c) Die Bremskraft in der Ebene ist die Gleitreibungskraft

$$F = F_\mathrm{R} = \mu F_\mathrm{G} = \mu mg\,,$$

die Bremsverzögerung beträgt hier daher

$$a_2 = \frac{F}{m} = \mu g = 0{,}98\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}\,.$$

Der Bremsweg s_2 von der Geschwindigkeit v bis zum Stillstand ergibt sich dann aus

$$2a_2 s_2 = v^2 - v_0^2 = v^2 \iff s_2 = \frac{v^2}{2a_2} = \frac{(4{,}21\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}})^2}{2 \cdot 0{,}98\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}} = 9{,}02\,\mathrm{m}\,.$$

2) a) Die horizontale Bewegung des Körpers ist gleichförmig mit der Geschwindigkeit v_0. Also erreicht der Körper die Mauer nach der Zeit t mit

$$l = v_0 \cdot t \iff t = \frac{l}{v_0} = \frac{15\,\mathrm{m}}{16\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}} = 0{,}94\,\mathrm{s}\,.$$

In dieser Zeit ist der Körper in vertikaler Richtung um die Strecke

$$y = \frac{1}{2}gt^2 = \frac{9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}{2} \cdot 0{,}94^2\,\mathrm{s}^2 = 4{,}31\,\mathrm{m}$$

gefallen. Der Körper befindet sich dann also in der Höhe $h - y = (10 - 4{,}31)\,\mathrm{m} = 5{,}69\,\mathrm{m}$ und trifft auf somit in dieser Höhe auf die 6 m hohe Mauer.
Zu diesem Zeitpunkt beträgt die vertikale Geschwindigkeit des Körper

$$v_y = gt = 9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2} \cdot 0{,}94\,\mathrm{s} = 9{,}2\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\,.$$

Die Richtung des Aufpralls ist die Richtung der Momentangeschwindigkeit $\vec{v}$ beim Aufprall; deren Winkel α mit der *vertikalen* Mauer ergibt sich aus

$$\tan\alpha = \frac{v_0}{v_y} \iff \alpha = \arctan\frac{16}{9{,}2} \approx 60{,}11^0\,.$$

b) Es sei t die Zeit, die der Körper benötigt, um den Höhenunterschied zwischen Abwurfhöhe und Oberkante Mauer zu durchfallen, also

$$h - h_1 = 4\,\mathrm{m} = \frac{1}{2}gt^2 \iff t = \sqrt{\frac{2 \cdot 4\,\mathrm{m}}{9{,}81}} = 0{,}9\,\mathrm{s}\,.$$

Zu diesem Zeitpunkt muss der Körper in horizontaler Richtung die Position der Mauer erreicht haben. Für die gesuchte neue Abwurfgeschwindigkeit v_1 muss also gelten:

$$v_1 = \frac{l}{t} = \frac{15\,\mathrm{m}}{0{,}9\,\mathrm{s}} = 16{,}61\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}\,.$$

Die Geschwindigkeit beim Abschuss muss also mindestens $v_1 = 16{,}61\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}$ betragen.
Für die Flugzeit t_2 bis zum Aufschlag auf dem Boden erhält man

$$h = \frac{1}{2}gt_2^2 \iff t_2 = \sqrt{\frac{2h}{g}} = \sqrt{\frac{2 \cdot 10\,\mathrm{m}}{9{,}81\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}}} = 1{,}43\,\mathrm{s}\,.$$

Bei der Abwurfgeschwindigkeit v_1 ergibt sich somit eine Wurfweite

$$w = v_1 t_2 = 16{,}61\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}} \cdot 1{,}43\,\mathrm{s} = 23{,}72\,\mathrm{m}\,.$$

3) a) Aufgrund der Definition der Kapazität eines Kondensators erhält man

$$Q = CU = 5 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{F} \cdot 1000\,\mathrm{V} = 50 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{C} = 50\,\mathrm{nC}\,.$$

Aufgrund der elektrischen Feldgleichung für Vakuum (bzw. Luft) ergibt sich

$$C = \varepsilon_0 \frac{A}{d} \iff A = \frac{Cd}{\varepsilon_0} = \frac{5 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{F} \cdot 0{,}002\,\mathrm{m}}{8{,}85 \cdot 10^{-12}\,\frac{\mathrm{C}}{\mathrm{Vm}}} = 1{,}13 \cdot 10^{-2}\,\mathrm{m}^2 = 113\,\mathrm{cm}^2\,.$$

b) Für die Feldstärke des homogenen Feldes gilt

$$E = \frac{U}{d} = \frac{1000\,\mathrm{V}}{0{,}002\,\mathrm{m}} = 500\,\frac{\mathrm{kV}}{\mathrm{m}}$$

und der Energieinhalt des Kondensators ist

$$W = \frac{1}{2}CU^2 = 2{,}5 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{F} \cdot 10^6\,\mathrm{V}^2 = 25\,10^{-6}\,\mathrm{J}\,.$$

c) Im Innern des Dielektrikums erfolgt eine Ladungsverschiebung (Polarisation), wodurch das elektrische Feld und die Spannung abgeschwächt werden, während die Kapazität erhöht wird. Die Dielektrizitätskonstante gibt den Faktor an, mit dem die Kapazität vervielfacht wird.
Es gilt $C_r = \varepsilon_r \cdot C = 3 \cdot 5 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{F} = 15 \cdot 10^{-11}\,\mathrm{F}$. Da die Ladung auf den Kondensatorplatten konstant ist, sinkt die Spannung auf

$$U_r = \frac{Q}{C_r} = \frac{1}{3} \cdot \frac{Q}{C} = \frac{1}{3}U \approx 333\,\mathrm{V}\,.$$

Für den Energieinhalt bedeutet dies

$$W_r = \frac{1}{2C_r}Q^2 == \frac{1}{\varepsilon_r} \cdot \frac{Q^2}{2C} = \frac{W}{\varepsilon_r} = \frac{25}{3}\,\mu\mathrm{J} = 8{,}3\,\mu\mathrm{J}\,.$$

4) a) Das Elektron nimmt aus dem elektrischen Feld die Energie $W = Ue$ auf. Diese wird in kinetische Energie $\frac{1}{2}m_e v^2$ umgesetzt. Also

$$Ue = \frac{1}{2}m_e v^2 \iff v^2 = \frac{2Ue}{m_e} \iff v = \sqrt{\frac{3000\,\mathrm{V} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C}}{9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}}} = 22967\,\frac{\mathrm{km}}{\mathrm{s}}\,.$$

b) Zur Durchquerung des Ablenkkondensators benötigt das Elektron bei dieser Geschwindigkeit die Zeit t:

$$l = v \cdot t \iff t = \frac{l}{v} = \frac{0{,}03\,\mathrm{m}}{22{,}97 \cdot 10^6\,\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}} = 1{,}31 \cdot 10^{-9}\,\mathrm{s}\,.$$

In dieser Zeit darf das Elektron senkrecht zu den Platten maximal $\frac{d}{2} = 2{,}5\,\mathrm{mm}$ abgelenkt werden. In dieser Richtung wird das Elektron konstant beschleunigt mit der Beschleunigung

$$a = \frac{F}{m_e} = \frac{Ee}{m_e} = \frac{Ue}{dm_e}\,.$$

Also ist die Spannung U gesucht mit

$$\frac{d}{2} = \frac{1}{2}at^2 = \frac{Ue}{2dm_e}t^2 \iff U = \frac{d^2 m_e}{et^2} = \frac{25 \cdot 10^{-6}\,\mathrm{m}^2 \cdot 9{,}1 \cdot 10^{-31}\,\mathrm{kg}}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,\mathrm{C} \cdot 1{,}31^2 \cdot 10^{-18}\,\mathrm{s}^2} = 83{,}33\,\mathrm{V}\,.$$

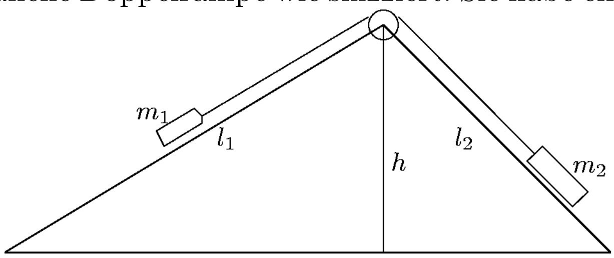
c) Die Ablenkung des Elektronenstrahls ist proportional zur Spannung am Ablenkkondensator. Die Spannung in b) gibt den Messbereich der genannten Braunschen Röhre (bei fester Beschleunigungsspannung U_a) an. Will man höhere Spannungen messen, muss man die Beschleunigungsspannung U_a erhöhen: Dann durchquert das Elektron den Kondensator in kürzerer Zeit und die Ablenkung ist bei gleicher Ablenkspannung geringer.

Studienkolleg an der RWTH Aachen

AT2 Physik (Kg) **1. Klausur** **9. April 2005**

Aufgabe 1:

Gegeben ist eine metallene Doppelrampe wie skizziert. Sie habe eine Höhe von $h = 2{,}4\,\mathrm{m}$



und Längen $l_1 = 4\,\mathrm{m}$ sowie $l_2 = 3\,\mathrm{m}$. Auf ihr liegen zwei Metallquader von $m_1 = 700\,\mathrm{g}$ und $m_2 = 600\,\mathrm{g}$ Masse, die durch ein Seil über eine Rolle miteinander verbunden sind. Die Reibung der Rolle kann vernachlässigt werden, nicht jedoch die auf der schiefen Ebene.

a) Bestimmen Sie die auf die einzelnen Körper wirkenden Hangabtriebskräfte und die mögliche Bewegungsrichtung.

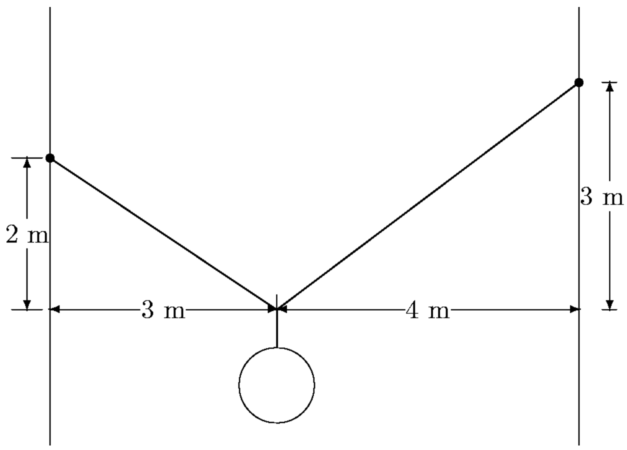
b) Erläutern Sie in wenigen Sätzen einige grundlegende Fakten über Reibung.

c) Setzen sich die beiden verbundenen Massen in Bewegung? In welche Richtung?

d) Wieviel Energie ist durch die Gleitreibung als Wärme 'verloren' gegangen, wenn die Blöcke sich $2\,\mathrm{m}$ bewegt haben?

Aufgabe 2:

a) Eine Straßenlampe hängt an zwei Seilen wie skizziert zwischen zwei Hauswänden. Die Belastung des linken Seils beträgt $F_l = 400\,\mathrm{N}$.



a) Welche Masse hat die Lampe?

b) Wie stark wird das rechte Seil belastet?

c) Wie groß sind die horizontalen Belastungen der Hauswände in den Aufhängepunkten?

– bitte wenden –

Aufgabe 3:

Ein Fön (Haartrockner) erwärmt Luft und wandelt dabei die gesamte elektrische Energie in Wärme um.

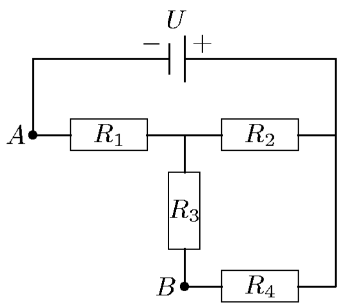
a) Der Fön soll pro Sekunde 10 l Luft von Zimmertemperatur 20^0 C auf 75^0 C erhitzen. Wie groß muss die Leistung des Föns mindestens sein?
b) Welchen Widerstand hat der Heizdraht des Föns während des Betriebes?
c) Der Heizdraht (Material Konstantan) hat eine Länge von 1,5 m. Wie groß ist sein Durchmesser?

Aufgabe 4:

Gegeben ist die nachstehend skizzierte Schaltung mit den Widerständen

$$R_1 = 150\,\Omega\,, \quad R_2 = 50\,\Omega\,, \quad R_3 = 30\,\Omega\,, \quad R_4 = 120\,\Omega\,.$$

Diese wird an eine Spannungsquelle mit $U = 30$ V angeschlossen.



a) Bestimmen Sie
   i) den Gesamtwiderstand der Schaltung,
   ii) die Stärke des Stromes durch den Widerstand R_1,
   iii) die Leistung der Spannungsquelle,
   iv) sowie die Spannung zwischen den Punkten A und B.
b) Nun werden die Punkte A und B durch einen Widerstand R_5 verbunden. Wie groß muss dieser sein, damit durch R_3 kein Strom fließt?

Reibungskoeffizienten Metall auf Metall: $\mu_{\text{Gleit}} = 0{,}25$, $\mu_{\text{Haft}} = 0{,}35$.

Dichte von Luft: $\rho_L = 1{,}2\,\frac{\text{g}}{\text{l}}$

spezifische Wärmekapazität von Luft: $c_L = 1\,\frac{\text{J}}{\text{gK}}$

spezifischer Widerstand von Konstantan: $\rho_K = 0{,}5\,\frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}}$

1. Klausur — Lösungen

1) a) Die Hangabtriebskräfte sind

$$F_{1\mathrm{H}} = \frac{h}{l_1} \cdot F_{1\mathrm{G}} = \frac{h}{l_1} \cdot m_1 g = \frac{2{,}4}{4} \cdot 0{,}7\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} = 4{,}12\,\mathrm{N}\,,$$
$$F_{2\mathrm{H}} = \frac{h}{l_2} \cdot F_{2\mathrm{G}} = \frac{h}{l_2} \cdot m_2 g = \frac{2{,}4}{3} \cdot 0{,}6\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} = 4{,}71\,\mathrm{N}\,.$$

Die resultierende Kraft ist die Differenz

$$F = F_{2\mathrm{H}} - F_{1\mathrm{H}} = 4{,}71\,\mathrm{N} - 4{,}12\,\mathrm{N} = 0{,}59\,\mathrm{N}\,,$$

sie wirkt in Richtung der Masse m_2.
b) - Reibung ist eine Kraft, die bei Bewegung zweier sich berührender Körper (oder dem Versuch, sie in Bewegung zu setzen) auftritt.
- Je nach Art der Berührung unterscheidet man Haft-, Gleit- oder Rollreibung.
- Die Richtung der Reibungskraft ist stets der Bewegungsrichtung entgegengesetzt.
- Die Reibungskraft ist zur Normalkraft proportional.
- Der Proportionalitätsfaktor ist von der Art der Reibung (haften, gleiten, rollen) und Material sowie Oberflächenbeschaffenheit abhängig.
c) Ob sich das Gespann in Bewegung setzt, hängt davon ab, ob die resultierende Kraft größer ist als die (maximale) Haftreibungskraft. Diese ist die Summe der beiden einzelnen Haftreibungskräfte ($\mu_H = \mu_{\mathrm{Haft}}$)

$$F_{1\mathrm{RH}} = \mu_{\mathrm{H}} \cdot F_{1\mathrm{N}} = \mu_{\mathrm{H}} \cdot m_1 g \cdot \sqrt{1 - (\frac{h}{l_1})^2} = 0{,}35 \cdot 0{,}7\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot \sqrt{0{,}64} = 1{,}92\,\mathrm{N}\,,$$
$$F_{2\mathrm{RH}} = \mu_{\mathrm{H}} \cdot F_{2\mathrm{N}} = \mu_{\mathrm{H}} \cdot F_{2\mathrm{G}} \cdot \sqrt{1 - (\frac{h}{l_2})^2} = 0{,}35 \cdot 0{,}6\,\mathrm{kg} \cdot 9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}} \cdot \sqrt{0{,}36} = 1{,}24\,\mathrm{N}\,.$$

Da die resultierende, nach rechts ziehende Kraft kleiner ist als die Summe der Haftreibungskräfte, setzt sich das Gespann nicht in Bewegung.
d) Bei einer Bewegung wird durch die (Gleit-)Reibung Energie in Wärme umgewandelt. Die Gleitreibungskraft berechnet man exakt wie die Haftreibungskraft, nur der Reibungskoeffizient ist ein anderer; die Gleitreibung ist daher proportional zur Haftreibung mit dem Faktor

$$\frac{\mu_{\mathrm{Gleit}}}{\mu_{\mathrm{Haft}}} = \frac{0{,}25}{0{,}35} = 0{,}71\,.$$

Die Gleitreibungskraft beträgt also 71% der Haftreibungskraft:

$$F_{\mathrm{Gleit}} = 0{,}71 \cdot (1{,}92 + 1{,}24)\,\mathrm{N} = 2{,}26\,\mathrm{N}\,.$$

Bei einer Gleitstrecke von 2 m geht also

$$W = 2{,}26\,\mathrm{N} \cdot 2\,\mathrm{m} = 4{,}51\,\mathrm{J}$$

als Wärme 'verloren'.

2) a) Die Gewichtskraft belastet die Seile und erzeugt in ihnen zwei Kräfte $\vec{F_l}$ (links) und $\vec{F_r}$ (rechts). Da die Gewichtskraft vertikal wirkt, also keine Horizontalkomponente hat, müssen sich die Horizontalkomponenten der Seilkräfte gegenseitig aufheben:

$$F_{lx} = F_{rx}\,.$$

Da die Seilkräfte $\vec{F_l}$, $\vec{F_r}$ die Richtung des jeweiligen Seils haben, erhält man (durch Vergleich mit den geometrischen Daten der Skizze)

$$\frac{F_{ly}}{F_{lx}} = \frac{2}{3} \quad \text{und} \quad \frac{F_{ry}}{F_{rx}} = \frac{3}{4}\,.$$

Die Summe der Vertikalkomponenten der Seilkräfte ist gerade gleich der Gewichtskraft, also gilt für die Masse m der Lampe

$$mg = F_G = F_{ly} + F_{ry} = (\frac{2}{3} + \frac{3}{4})F_{lx} = \frac{17}{12}F_{lx}\,.$$

Die Horizontalkomponente F_{lx} erhält man aus

$$F_l^2 = F_{lx}^2 + F_{ly}^2 = (1 + (\frac{2}{3})^2)F_{lx}^2 \iff F_{lx} = \frac{3}{\sqrt{13}}F_l\,.$$

Dies ergibt

$$m = \frac{1}{g} \cdot \frac{17}{12} \cdot \frac{3}{\sqrt{13}} \cdot F_l = \frac{1}{9{,}81\,\frac{\mathrm{N}}{\mathrm{kg}}} \cdot \frac{17}{4\sqrt{13}} \cdot 400\,\mathrm{N} = 48{,}06\,\mathrm{kg}$$

b) Die Belastung des rechten Seils ist

$$\begin{aligned} F_r &= \sqrt{F_{rx}^2 + F_{ry}^2} = \sqrt{F_{rx}^2 + (\frac{3}{4})^2 F_{rx}^2} = \sqrt{1 + \frac{9}{16}} \cdot F_{rx} \\ &= \frac{5}{4}F_{rx} = \frac{5}{4} \cdot F_{lx} = \frac{15}{4\sqrt{13}} \cdot F_l = \frac{15}{4\sqrt{13}} \cdot 400\,\mathrm{N} = 416{,}03\,\mathrm{N}\,. \end{aligned}$$

c) Die horizontalen Belastungen der Hauswände sind die Horizontalkomponenten der beiden Seilkräfte, also gleich, und betragen

$$F_{rx} = F_{lx} = \frac{3}{\sqrt{13}} \cdot 400\,\mathrm{N} = 332{,}82\,\mathrm{N}\,.$$

3) a) Die benötigte Energie pro Sekunde ist

$$W = c_L \cdot m \cdot \Delta T = c_L \cdot \rho_L \cdot V \cdot \Delta T = 1\,\frac{\mathrm{J}}{\mathrm{gK}} \cdot 1{,}2\,\frac{\mathrm{g}}{\mathrm{l}} \cdot 10\,\mathrm{l} \cdot (75 - 20)\,\mathrm{K} = 660\,\mathrm{J}$$

und damit die Mindestleistung des Föns

$$P = \frac{W}{t} = \frac{660\,\mathrm{J}}{1\,\mathrm{s}} = 660\,\mathrm{W}\,.$$

b) Aus $P = UI = U \cdot \frac{U}{R} = \frac{U^2}{R}$ ergibt sich

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2\,\mathrm{V}^2}{660\,\mathrm{W}} = 73{,}33\,\Omega\,.$$

c) Für den Widerstand eines Konstantan-Drahtes der Länge l und mit dem Durchmesser d gilt

$$R = \rho_K \cdot \frac{l}{A} = \rho_K \cdot \frac{l}{\pi(\frac{d}{2})^2} \iff d = 2\sqrt{\frac{\rho_K \cdot l}{\pi R}} = 2\sqrt{\frac{0{,}5\,\frac{\Omega\mathrm{mm}^2}{\mathrm{m}} \cdot 1{,}5\,\mathrm{m}}{\pi \cdot 73{,}33\,\Omega}} = 0{,}11\,\mathrm{mm}\,.$$

4) a) R_3 und R_4 sind in Reihe geschaltet, also ist der Ersatzwiderstand $R_{34} = R_3 + R_4 = 150\,\Omega$. R_{34} ist parallel zu R_2 geschaltet, also gilt für den Ersatzwiderstand R_{234}:

$$\frac{1}{R_{234}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_{34}} = \frac{1}{50\,\Omega} + \frac{1}{150\,\Omega} = \frac{2}{75\,\Omega} \iff R_{234} = 37{,}5\,\Omega\,.$$

Schließlich ist R_{234} wieder in Reihe mit R_1 geschaltet, so dass der Gesamtwiderstand

$$R_g = R_1 + R_{234} = 187{,}5\,\Omega$$

beträgt.
ii) Die Stromstärke I_1 durch R_1 ist gleich der Gesamtstromstärke I_g, also nach dem Ohmschen Gesetz

$$I_1 = I_g = \frac{U}{R_g} = \frac{30\,\mathrm{V}}{187{,}5\,\Omega} = 0{,}16\,\mathrm{A}\,.$$

iii) Die Leistung der Spannungsquelle beträgt

$$P = U \cdot I = 30\,\mathrm{V} \cdot 0{,}16\,\mathrm{A} = 4{,}8\,\mathrm{W}\,.$$

iv) Die gesuchte Spannung ist $U_{AB} = U_1 + U_3$. Der Spannungsabfall am Widerstand R_1 ist

$$U_1 = R_1 \cdot I_1 = 150\,\Omega \cdot 0{,}16\,\mathrm{A} = 24\,\mathrm{V}\,.$$

Damit beträgt der Spannungsabfall an R_{34}

$$U_{34} = U - U_1 = 30\,\mathrm{V} - 24\,\mathrm{V} = 6\,\mathrm{V}\,.$$

Dieser Spannungsabfall teilt sich gemäß der Spannungsteilerregel entsprechend dem Verhältnis der Widerstände R_3 und R_4 auf:

$$\frac{U_3}{U_4} = \frac{R_3}{R_4} = \frac{30}{120} = \frac{1}{4}\,.$$

Damit ergibt sich

$$U_3 = \frac{1}{5} U_{34} = 1{,}2\,\mathrm{V}\,.$$

$$U_{AB} = U_1 + U_3 = 24\,\mathrm{V} + 1{,}2\,\mathrm{V} = 25{,}2\,\mathrm{V}\,.$$

b) Schaltet man zwischen A und B einen Widerstand R_5, so erhält man die Wheatstone-Schaltung. Ist dann zusätzlich der Strom $I_3 = 0$, so hat man die sog. Wheatstone-Brücke zur stromlosen Bestimmung von Widerständen. Für diese gilt dann

$$\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_5}{R_4} \iff R_5 = \frac{R_1}{R_2} \cdot R_4 = 3 \cdot 120\,\Omega = 360\,\Omega\,.$$