

ETH Aufnahmeprüfung - Schriftliche Prüfung Physik

Melis, Daniel, Tim, Katja, Stuti, F, ...

AP 2026

Kurzes Vorwort

Heyy!! Falls ihr gerade zum ersten Mal über eines unserer Dokumente stolpert: Ich bin Melis und habe nach der ETH-Aufnahmeprüfung gemeinsam mit anderen Prüfungsteilnehmenden unsere Erfahrungen, Erinnerungen und Prüfungsfragen gesammelt und daraus diese vierteilige Dokumentenreihe zusammengestellt, um zukünftigen Prüfungsteilnehmenden die Vorbereitung etwas zu erleichtern. Dieses Dokument enthält den Teil zur schriftlichen Physikprüfung und basiert auf den Aufgaben, an die wir uns nach der Prüfung noch erinnern konnten. Für allgemeine Informationen zur Aufnahmeprüfung sowie Tipps, Ressourcen und weitere Hinweise zur Vorbereitung schaut am besten auch in unser Dokument zu den mündlichen Prüfungen. Vergesst natürlich auch nicht, euch die übrigen Dokumente der Reihe anzuschauen! Schon jetzt ganz viel Erfolg bei der Prüfung :D

Die Aufgaben in diesem Dokument wurden möglichst prüfungsnah gestaltet, sodass dieses Dokument direkt als Probeprüfung verwendet werden kann. Die am Ende des Dokuments aufgeführten Lösungen dienen lediglich als Orientierung und sind möglicherweise nicht in allen Punkten zu 100% korrekt, da sowohl die Aufgaben als auch die Lösungen auf unseren Erinnerungen an die Prüfung basieren :)

Die Reihenfolge der Aufgaben kann natürlich abweichen. Bei Aufgaben, deren exakte Zahlenwerte wir nicht mehr vollständig rekonstruieren konnten, haben wir fehlende Komponenten so ergänzt, dass Lösungsweg, Methodik und Fragestellung identisch bleiben. Der Lösungsschlüssel wurde entsprechend angepasst.

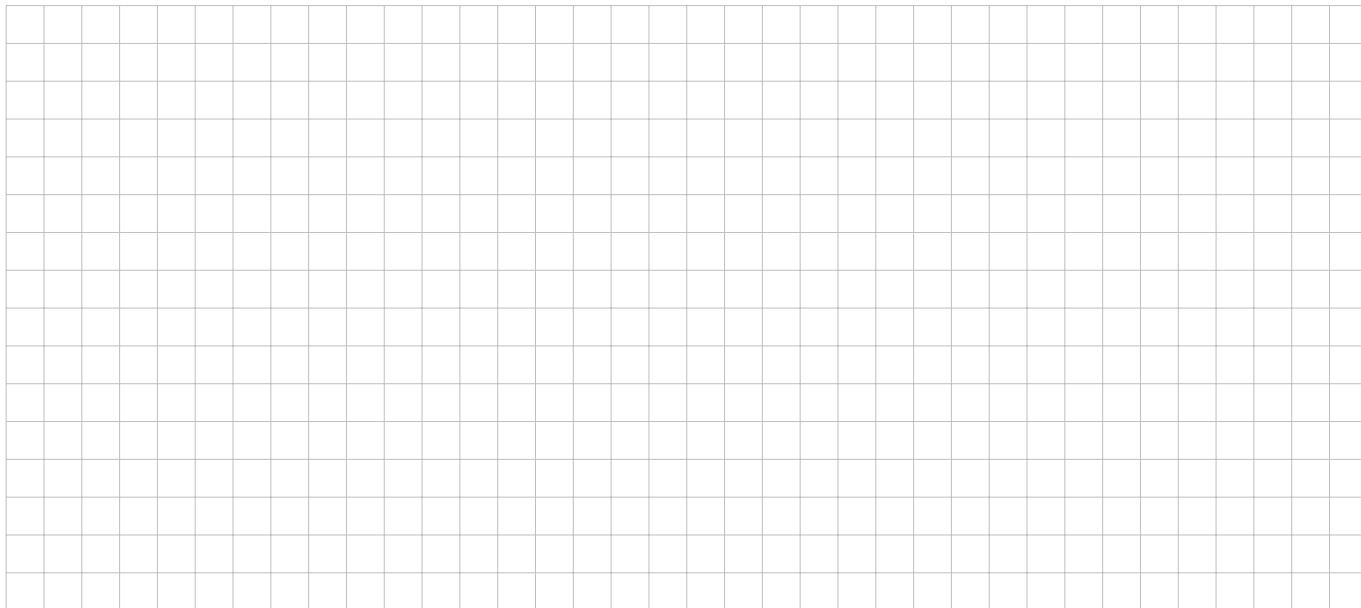
Die gesamte Physikprüfung umfasste 78 Punkte, davon etwa 30 Punkte im Kurzaufgabenteil. Da dieser Teil aus sehr vielen einzelnen Fragen bestand, konnten wir leider nicht alle Aufgaben und auch nicht deren exakte Anzahl rekonstruieren. Die hier zusammengestellte Prüfung ist daher etwas kürzer als die tatsächliche Prüfung. Wenn ihr sie unter realistischen Zeitbedingungen bearbeiten möchtet, empfehlen wir euch entsprechend, eine etwas kürzere Bearbeitungszeit als die offiziellen 3 Stunden anzusetzen.

In der offiziellen Physikprüfung von 2024 gab es neben den Kurzaufgaben vier längere Aufgaben. In unserer Prüfung gab es dagegen mehrere längere Aufgaben, wodurch die Zeit deutlich knapper war. Lasst euch daher nicht entmutigen, wenn ihr die Aufgaben zu Hause zunächst deutlich langsamer löst. Ihr solltet euch jedoch als Ziel setzen, alle Physikprüfungen in weniger als den offiziellen 3 Stunden zu schaffen, da die 3 Stunden unter realen Prüfungsbedingungen und Prüfungsstress oft gerade so ausreichen.

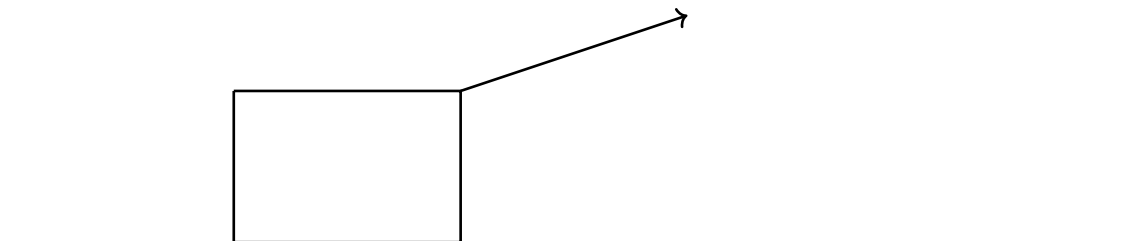
Hinweis: Diese Dokumentenreihe ist ein privates, von Prüfungsteilnehmenden erstelltes Projekt und steht in keiner offiziellen Verbindung zur ETH Zürich. Die Inhalte wurden weder von der ETH Zürich erstellt noch überprüft oder bestätigt. Alle Angaben, Prüfungsfragen, Erfahrungen, Tipps und Ressourcen basieren auf persönlichen Erinnerungen und Berichten und können daher unvollständig oder ungenau sein. Für verbindliche Informationen zu Prüfungsstoff, Ablauf, Reglementen und Anforderungen gelten ausschließlich die offiziellen Angaben der ETH Zürich.

Kurzaufgaben

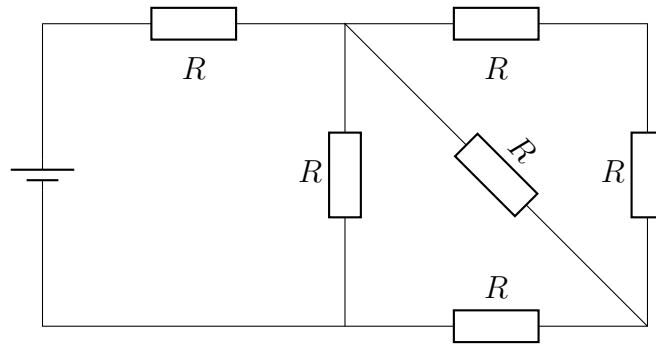
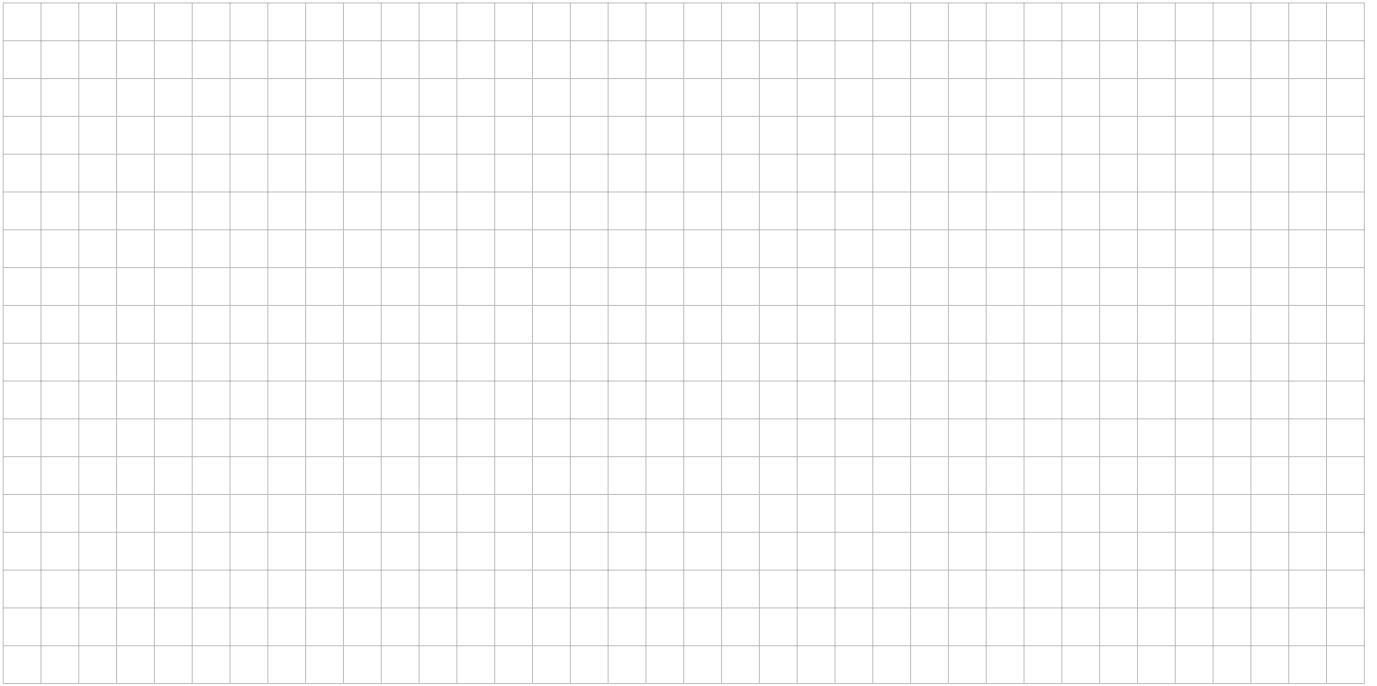
1. Ein Auto beschleunigt aus dem Stillstand von $0 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ auf $20 \frac{\text{m}}{\text{s}}$ und legt dabei in der Zeit t die Strecke s zurück. Ein zweites Auto beschleunigt ebenfalls aus dem Stillstand auf dieselbe Endgeschwindigkeit, benötigt dafür jedoch die doppelte Zeit. Welche Strecke legt das zweite Auto zurück?



2. Auf eine Kiste der Masse 5kg wirkt eine Zugkraft von 10N , die unter einem Winkel von 37° zur Horizontalen ansetzt. Die Kiste bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit über eine raue horizontale Fläche. Berechnen Sie den Gleitreibungskoeffizienten.



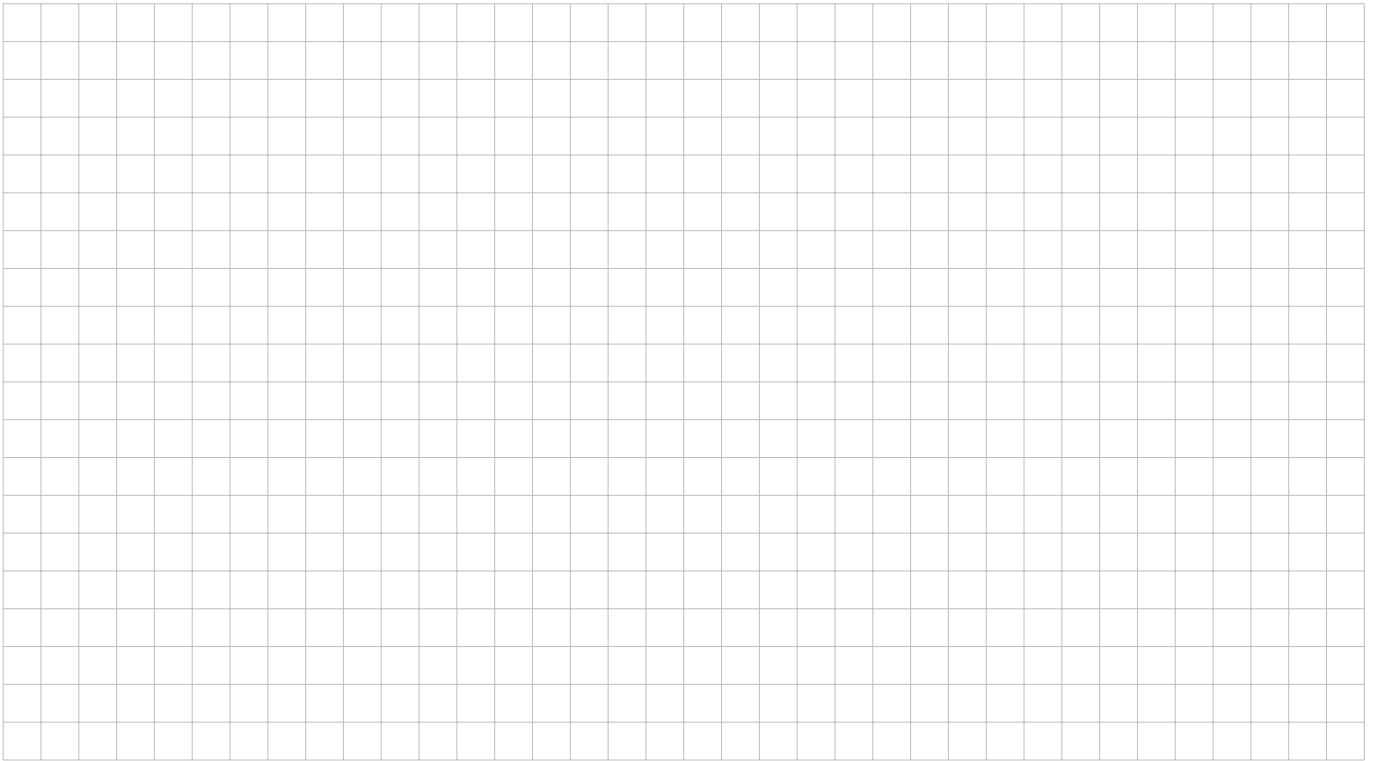
3. Berechnen Sie den Gesamtwiderstand dieser Schaltung. Alle Widerstände sind gleich groß.



4. Monochromatisches Licht der Wellenlänge $\lambda = 500\text{nm}$ fällt senkrecht auf ein Beugungsgitter mit einer Gitterkonstante von 1000 Linien pro Millimeter. Es wird ein Schirm hinter dem Gitter aufgestellt. Bestimmen Sie den Winkel, unter dem das erste Maximum auf dem Schirm erscheint.



5. Ein Objekt bewegt sich durch einen vertikalen Looping. Wie groß muss die Geschwindigkeit des Objekts am höchsten Punkt des Loopings mindestens sein, damit es nicht den Kontakt zur Bahn verliert?



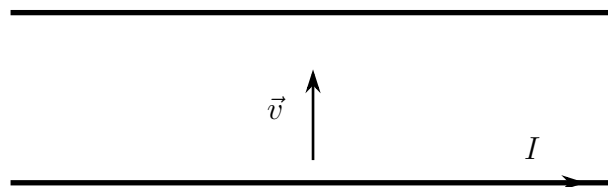
6. Eine dünne Sammellinse mit der Brennweite f bildet einen Gegenstand scharf auf einem Schirm ab. Der Abbildungsmaßstab beträgt $1 : 2$ (Gegenstand : Bild). Bestimmen Sie die Lage von Linse und Schirm relativ zum Gegenstand, sodass ein scharfes Bild entsteht.



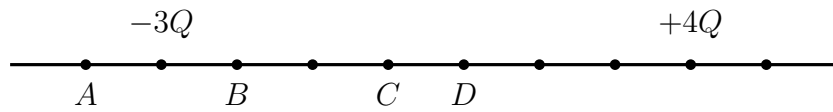
7. Ein negativ geladenes Teilchen bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit parallel zu einem langen, geraden, stromdurchflossenen Leiter. Der Leiter führt einen konstanten elektrischen Strom. Beschreiben und begründen Sie qualitativ, wie sich die Bewegung des Teilchens verändert. Gehen Sie dabei insbesondere auf die wirkenden Kräfte und deren Richtung ein.



8. Ein langer, gerader Leiter, durch den ein konstanter Strom fließt, bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit senkrecht auf einen zweiten, ruhenden Leiter zu. In dem ruhenden Leiter wird dadurch eine elektrische Spannung induziert. Erklären Sie, warum es zu dieser Induktion kommt, und geben Sie an, in welche Richtung der induzierte Strom fließt. Begründen Sie Ihre Antwort mithilfe der zugrunde liegenden physikalischen Gesetze.



9. Zwei Punktladungen befinden sich auf einer gemeinsamen Geraden. Die linke Ladung besitzt die Ladung $-3Q$, die rechte Ladung die Ladung $+4Q$. Die Verbindungsgerade der beiden Ladungen ist in mehrere gleich lange Abschnitte unterteilt. An welchem dieser Punkte ist der Betrag der elektrischen Feldstärke am größten? Begründen Sie Ihre Antwort, indem Sie die Beiträge der beiden Punktladungen qualitativ vergleichen.



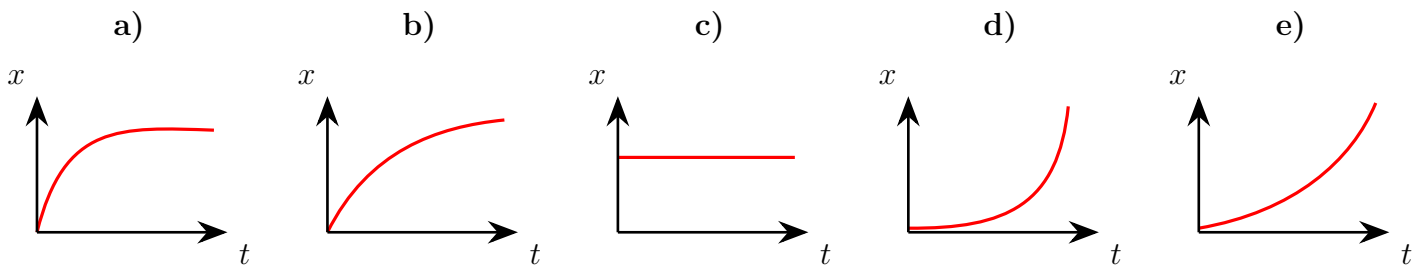
10. Ein Planet hat die doppelte Dichte der Erde und einen halb so großen Radius wie die Erde. Berechnen Sie die Fallbeschleunigung an der Oberfläche dieses Planeten. Vergleichen Sie Ihr Ergebnis mit der Fallbeschleunigung auf der Erde.



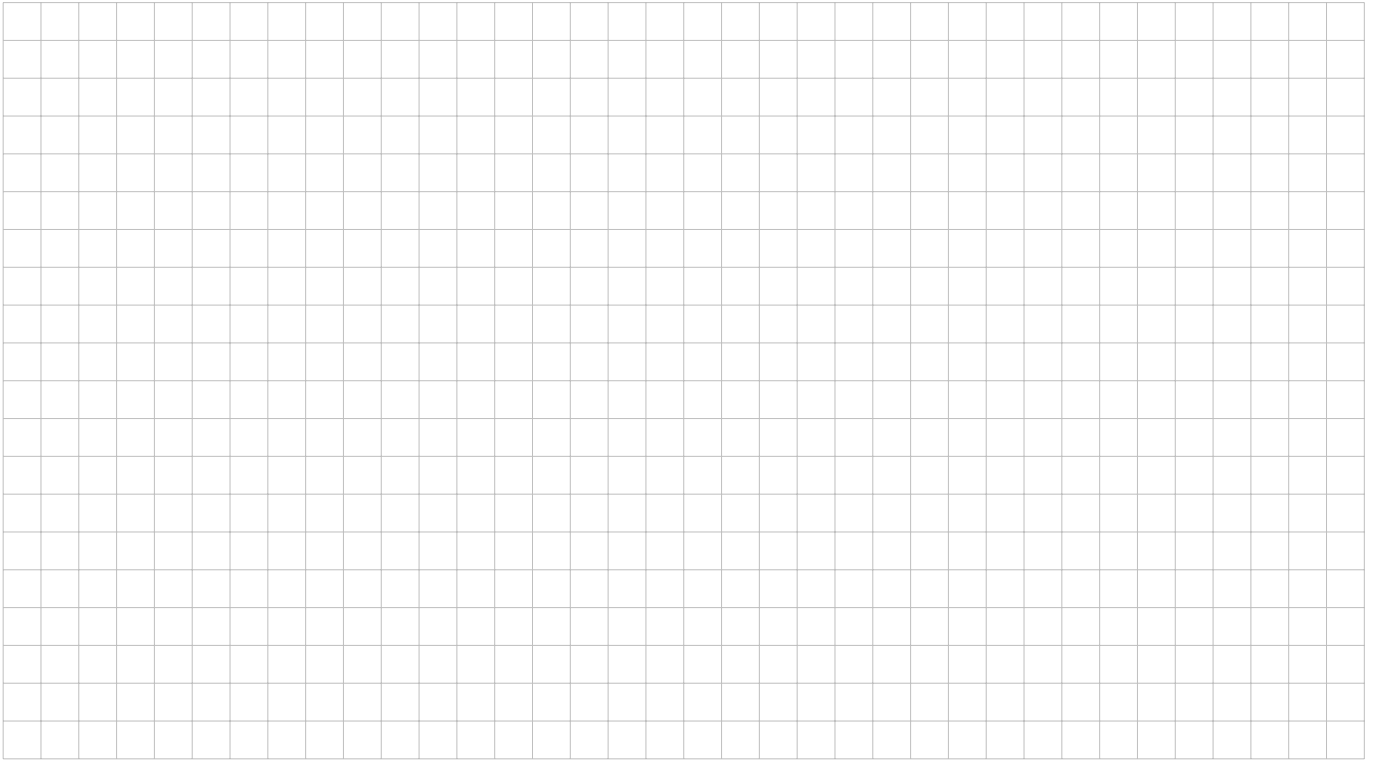
11. Ein Röntgengerät beschleunigt Elektronen durch eine Spannung von 0,6kV. Bestimmen Sie die Geschwindigkeit der Elektronen und geben Sie diese als Vielfaches der Lichtgeschwindigkeit an.



12. Ein Bleistift wird mit einer Steinschleuder abgeschossen. Das Gummiband der Schleuder ist ideal elastisch und wird vor dem Abschuss gespannt. Betrachtet wird die Bewegung vom Loslassen ($t = 0$) bis zum Verlassen des Gummibandes durch den Bleistift. Welches der folgenden Weg-Zeit-Diagramme beschreibt die Bewegung des Bleistifts in diesem Zeitraum am besten?



13. Ein Elektroauto besitzt eine Batterie mit 100% Wirkungsgrad. Reibung und Luftwiderstand dürfen nicht vernachlässigt werden. Das Auto fährt mit konstanter Geschwindigkeit von $100 \frac{\text{km}}{\text{h}}$. Die gesamte entgegenwirkende Kraft beträgt 650 N. Bestimmen Sie die erforderliche Batterieleistung.



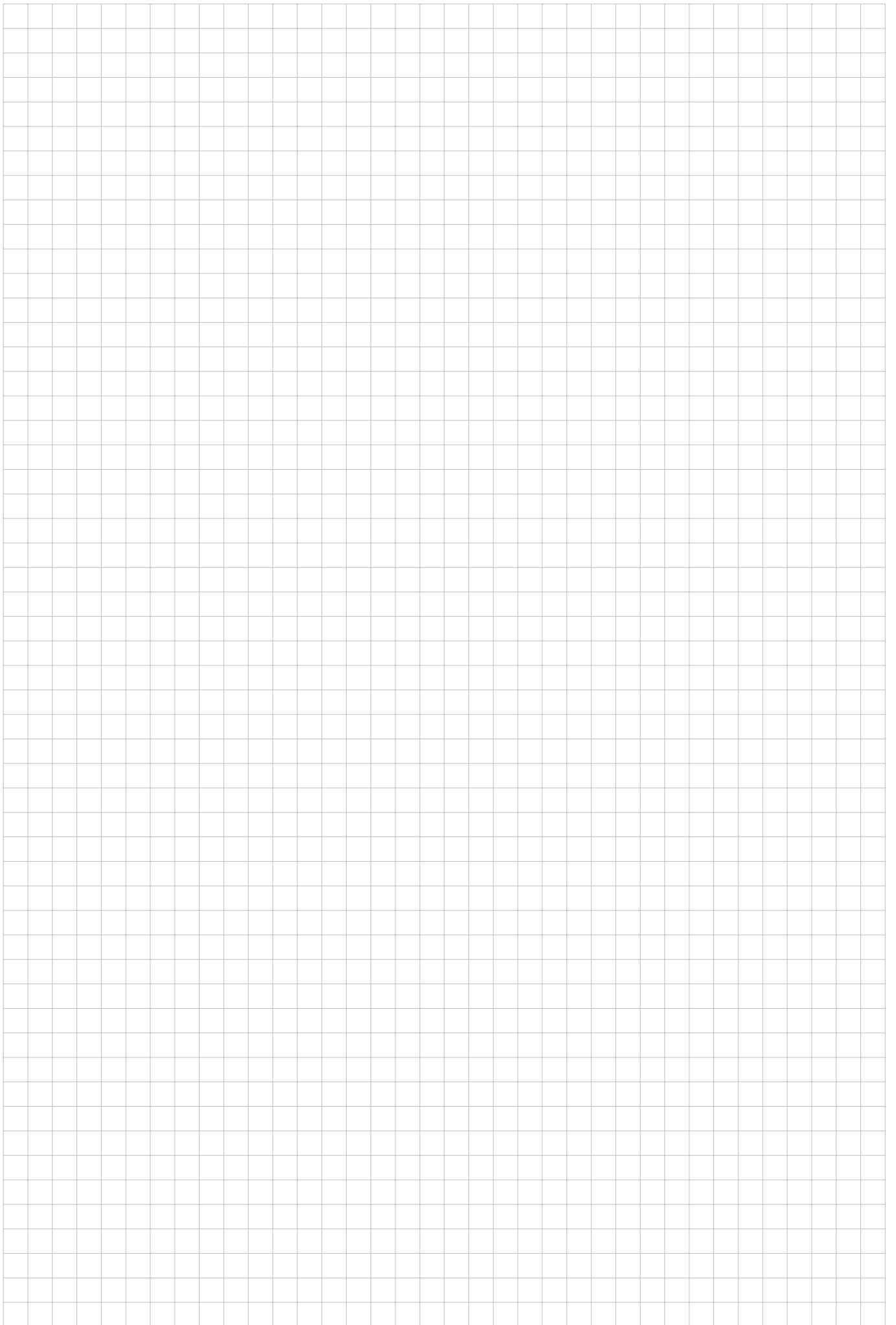
14. Eine Saite mit zwei festen Enden besitzt die Länge $L = 0,33 \text{ m}$. Die Ausbreitungsgeschwindigkeit der Welle auf der Saite beträgt $v = 700 \frac{\text{m}}{\text{s}}$. Bestimmen Sie die ersten zwei hörbaren Frequenzen.



Längere Aufgaben

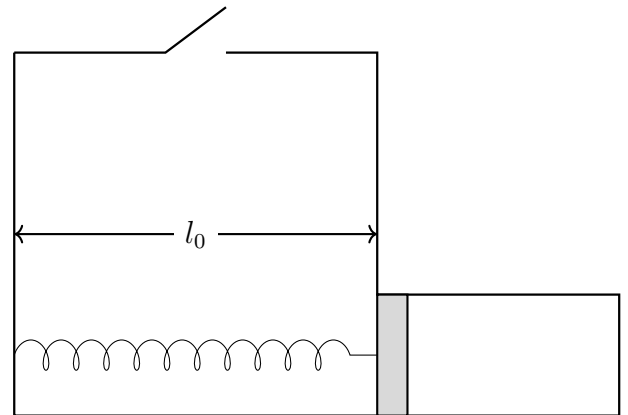
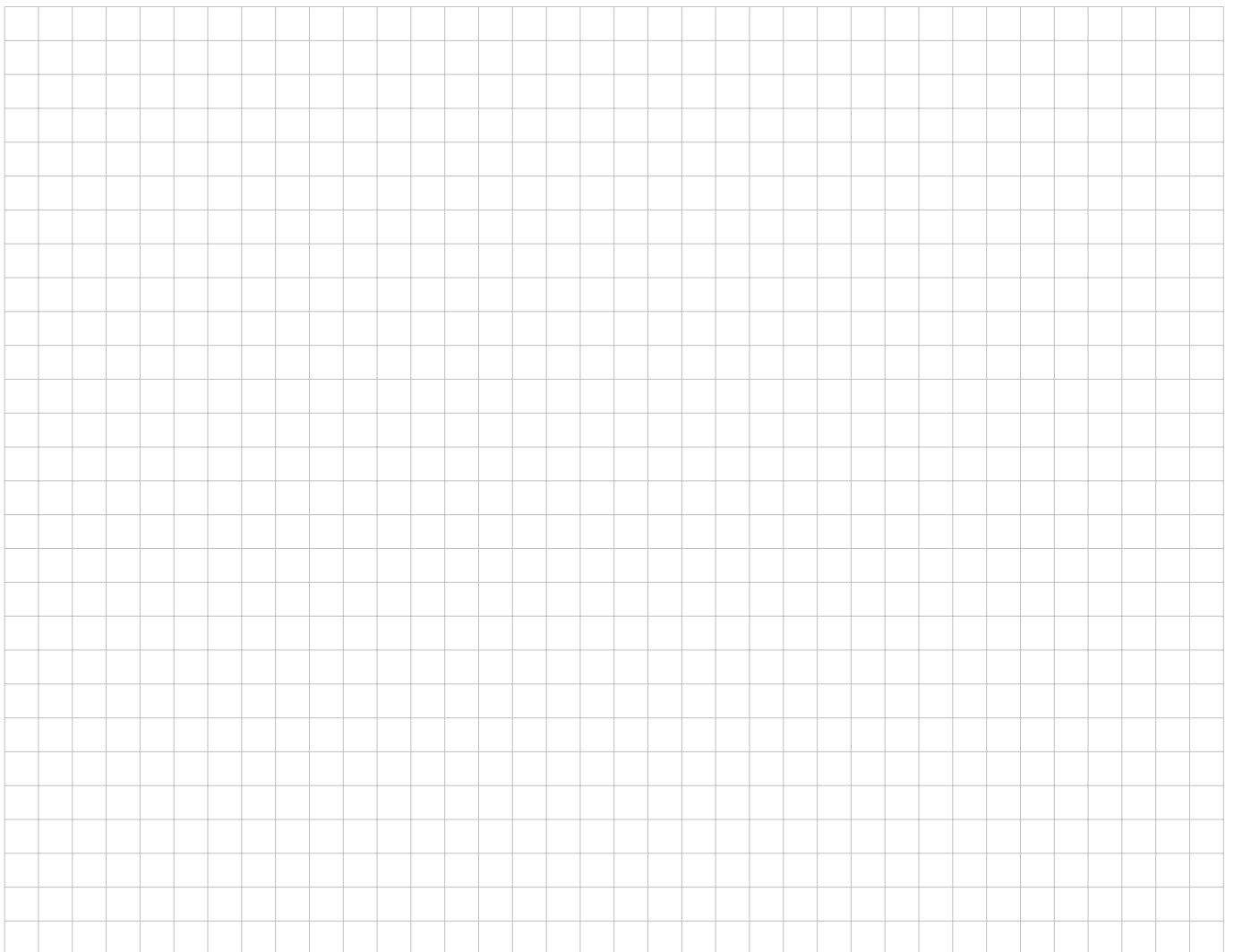
1. Ein Gewehr der Masse 3,8 kg schießt ein Geschoss der Masse 2,55 g aus einem Lauf der Länge 425 mm. Beim Verlassen des Laufs besitzt das Geschoss eine Geschwindigkeit von $175 \frac{\text{m}}{\text{s}}$
 - (a) Berechnen Sie die kinetische Energie des Geschosses unmittelbar nach dem Verlassen des Gewehrs.
 - (b) Bestimmen Sie, um wie viele Millimeter das Geschoss während des Fluges absinkt, bevor es eine in 50 m Entfernung befindliche Zielscheibe trifft. Der Luftwiderstand kann vernachlässigt werden.
 - (c) Das Geschoss trifft anschließend einen Holzblock der Masse 2,4 kg, der an einem 150 cm langen Seil an einem festen Punkt aufgehängt ist. Bestimmen Sie die maximale Höhe, bis zu der sich der Holzblock nach dem Treffer bewegt. Der Luftwiderstand kann vernachlässigt werden.

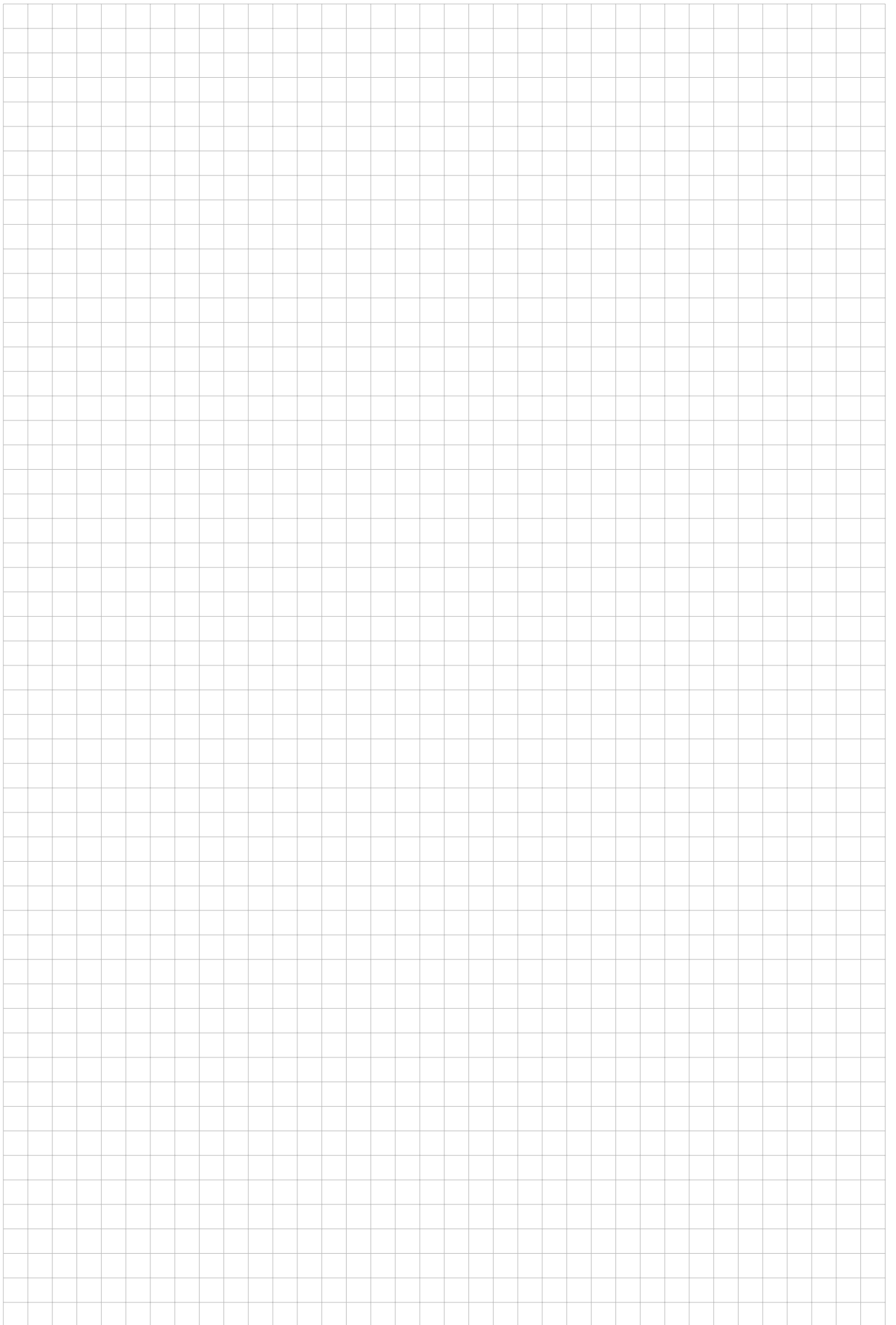




2. Ein Zylinder enthält ein ideales Gas und ist mit einem reibungsfrei beweglichen Kolben verschlossen. Der Kolben ist über eine Feder mit der linken Wand des Zylinders verbunden. Die obere Klappe des Zylinders kann geöffnet oder geschlossen werden. Anfangs ist die obere Klappe geöffnet. Die Feder besitzt die Federkonstante $D = 4 \frac{\text{N}}{\text{cm}}$. Die Querschnittsfläche des Kolbens beträgt $A = 1,5 \text{ cm}^2$. Der Umgebungsdruck beträgt $p = 10^5 \text{ Pa}$. Das Gas hat zunächst ein Volumen von 5 L und eine Temperatur von 30°C .

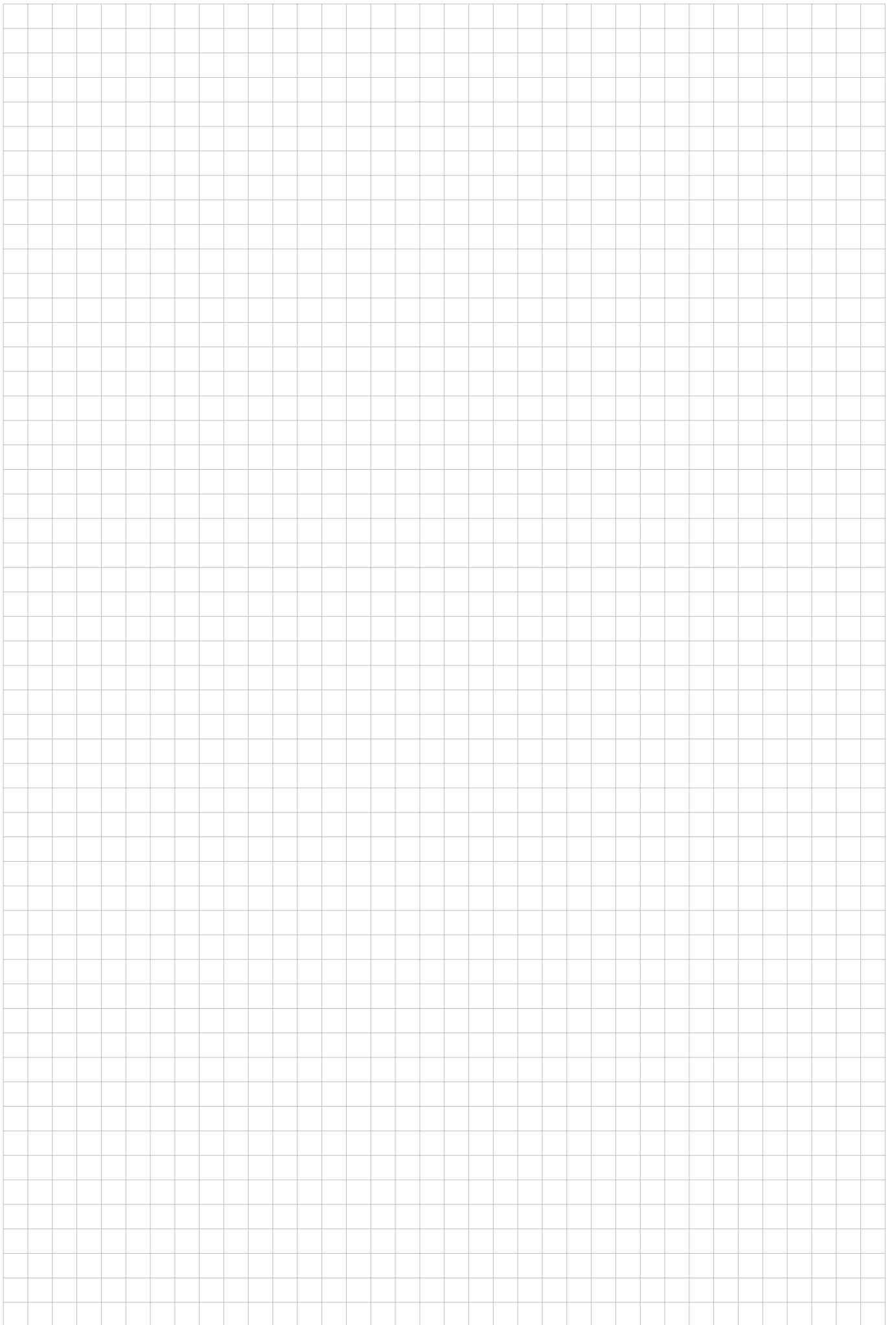
- (a) Bestimmen Sie die Stoffmenge des Gases.
- (b) Anschließend wird die Klappe geschlossen. Das Gas wird erwärmt, wodurch sich der Kolben um 15 cm nach rechts bewegt. Bestimmen Sie die Temperaturänderung des Gases.



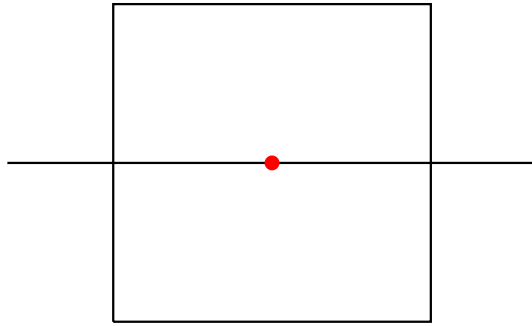
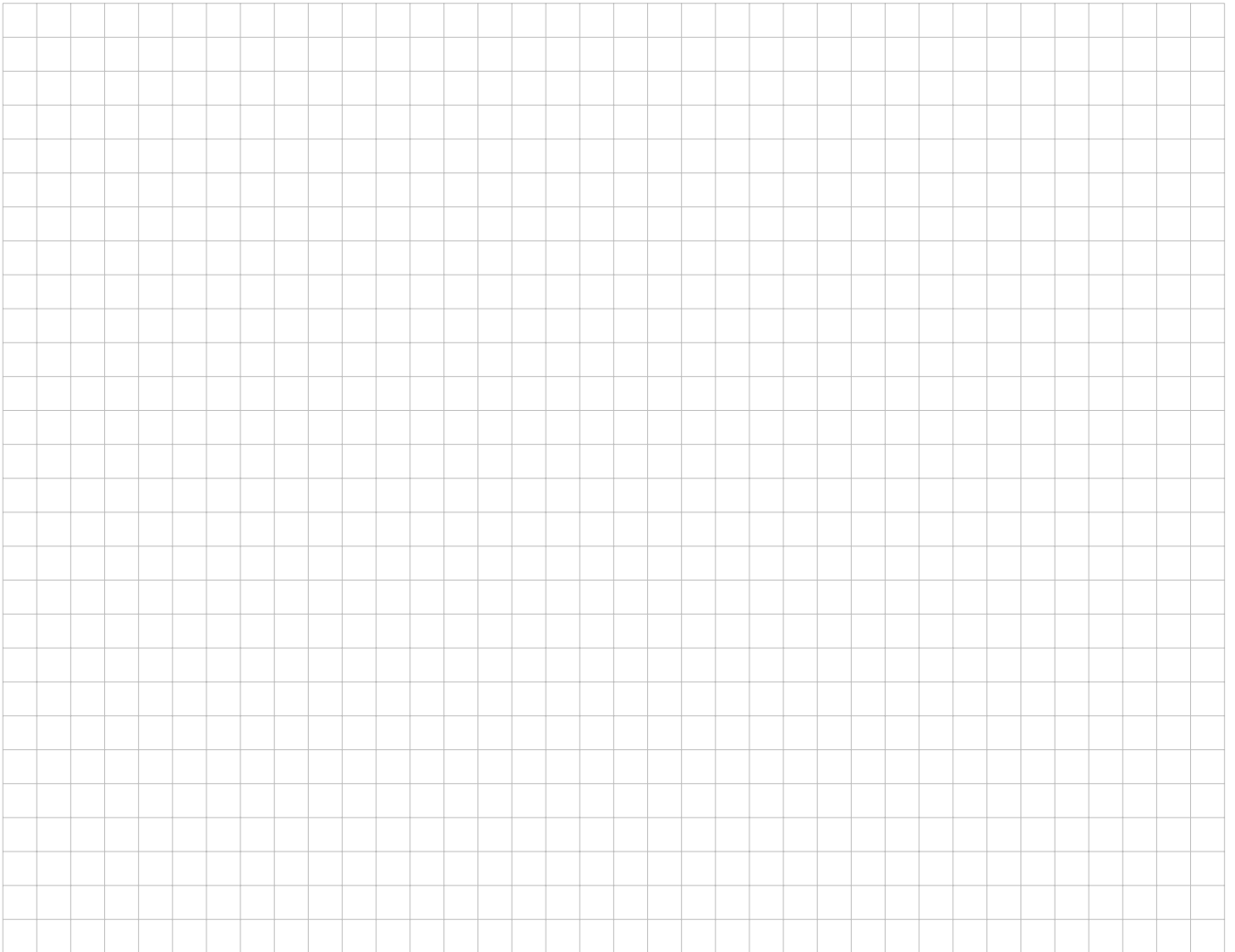


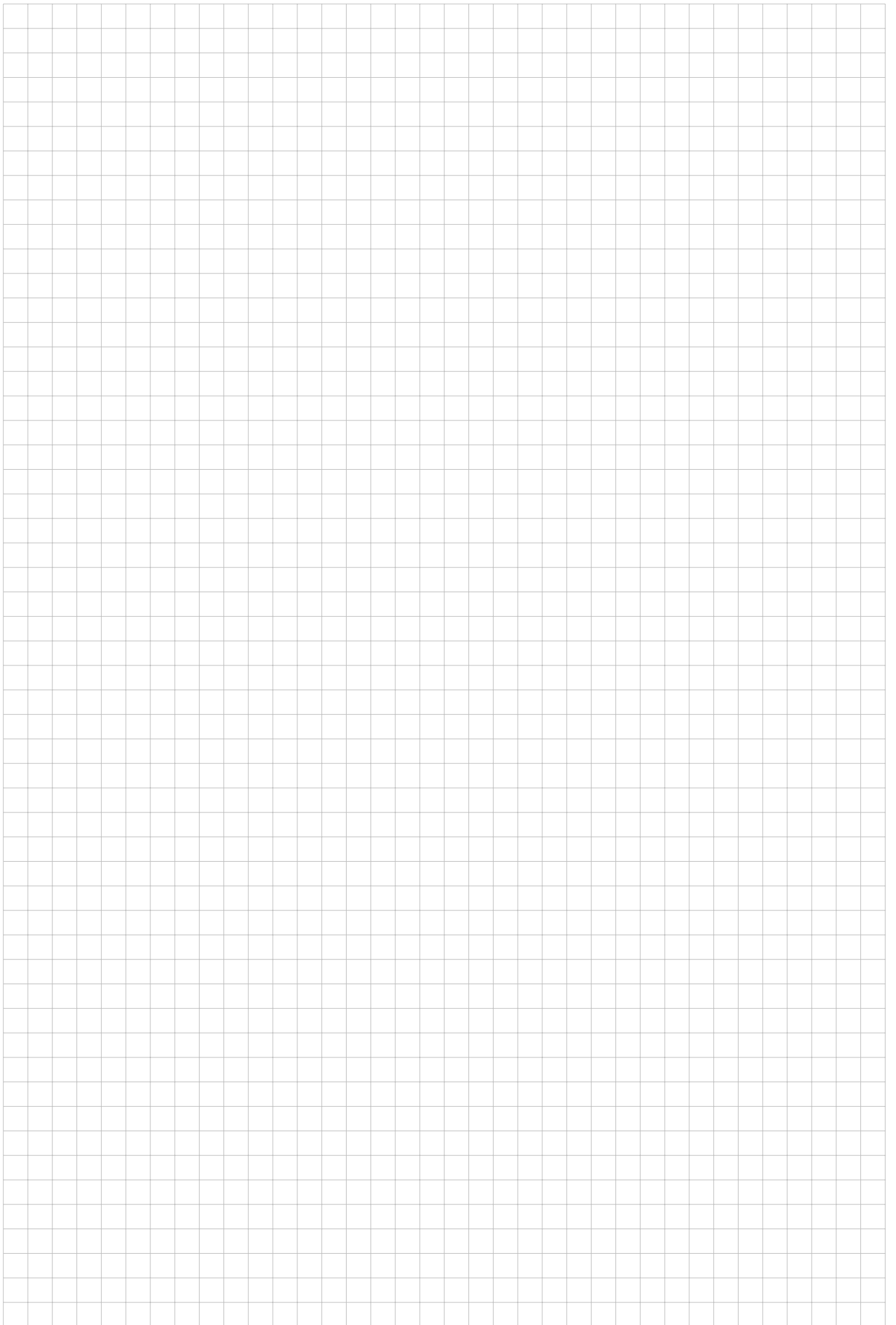
3. Ein elektrisches Bügeleisen enthält einen Heizdraht aus Konstantan. Dieser Draht hat eine konstante Querschnittsfläche von $A = 0,50\text{mm}^2$ und besitzt einen spezifischen elektrischen Widerstand von $\rho = 4,9 \cdot 10^{-7}\Omega\text{m}$. Das Bügeleisen wird an eine Netzspannung von $U = 230\text{V}$ angeschlossen und soll eine elektrische Leistung von $P = 1500\text{W}$ abgeben. Der Heizdraht kann als ohmscher Widerstand betrachtet werden. Der zu erwärmende Metallkörper des Bügeleisens besitzt eine Masse von $m = 0,80\text{kg}$ und eine spezifische Wärmekapazität von $c = 460\frac{\text{J}}{\text{kgK}}$. Das Bügeleisen wird von einer Anfangstemperatur von 20°C auf 200°C erhitzt. Es sei anzunehmen, dass die gesamte elektrische Leistung in Wärme umgesetzt wird und keine Wärmeverluste auftreten.
- Bestimmen Sie zunächst den elektrischen Widerstand des Heizdrahtes, der erforderlich ist, damit bei einer Spannung von 230V eine Leistung von 1500W umgesetzt wird
 - Berechnen Sie anschließend die Länge L des Heizdrahtes.
 - Nun wird das Bügeleisen statt an 230V nur an eine Spannung von 150V angeschlossen. Welche Eigenschaft des Heizdrahtes müsste dafür verändert werden? Bestimmen Sie den dafür erforderlichen neuen Wert.
 - Wie lange dauert es, bis der Metallkörper von der Anfangstemperatur auf die gewünschte Temperatur erwärmt ist?





4. Ein würfelförmiger Block aus homogenem Glas mit der Kantenlänge $a = 10\text{cm}$ befindet sich in Luft. Für das Glas gilt der Brechungsindex $n = 1,5$. Im Mittelpunkt des Würfels befindet sich eine kleine eingeschlossene Fliege. Sie darf in den folgenden Überlegungen als punktförmiges Objekt behandelt werden.
- (a) Bestimmen Sie den Einfallswinkel im Glas, bei dem der gebrochene Strahl gerade entlang der Grenzfläche verläuft.
- (b) Welche Oberflächenteile des Würfels müssen von außen bedeckt werden, damit die Fliege von keinem Blickwinkel aus gesehen werden kann? Begründen Sie Ihre Antwort geometrisch.

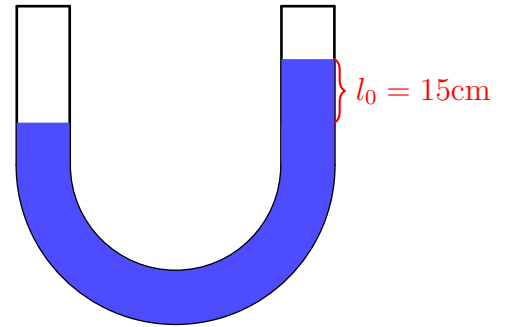




5. Ein U-förmig gebogenes Rohr ist mit Wasser gefüllt. Die gesamte Länge der zusammenhängenden Flüssigkeitssäule beträgt $L = 50\text{cm}$. Das Rohr besitzt einen konstanten Durchmesser von $d = 4\text{cm}$. Die Wassersäule wird aus ihrer Gleichgewichtslage ausgelenkt und anschließend losgelassen. Dabei beträgt der Höhenunterschied zwischen den beiden Wasserspiegeln zu Beginn 15cm . Reibung und sonstige Energieverluste werden vernachlässigt.

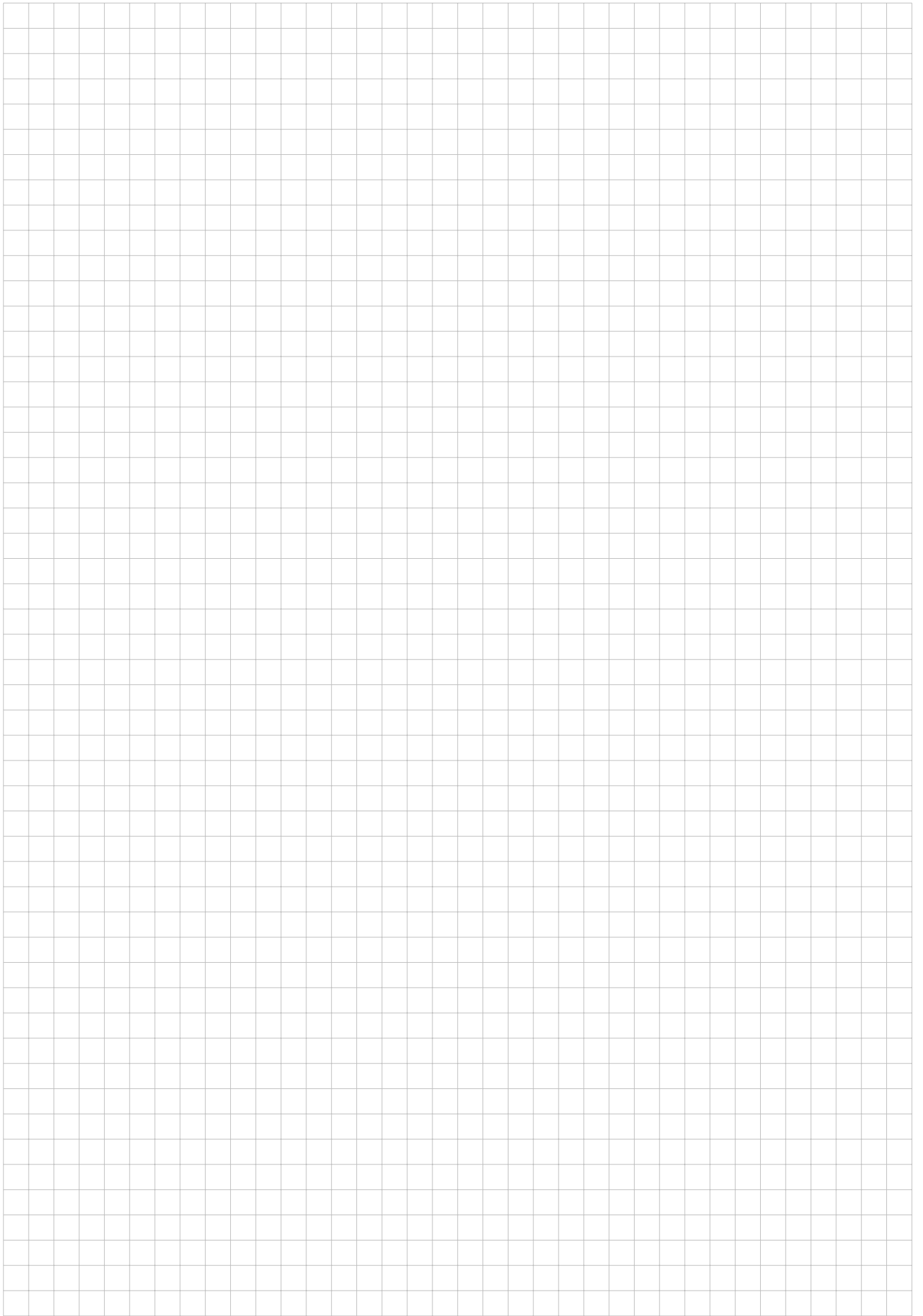
Für die Schwingungsdauer gilt:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{2g}}$$



- Berechnen Sie der Frequenz der schwingenden Flüssigkeitssäule und zeigen Sie dass die Schwingung harmonisch ist
- Was ist die maximale Geschwindigkeit, die bei dieser Schwingung erreicht wird und bei welcher Auslenkung geschieht sie?
- Leiten Sie die obere Formel für T bei einer harmonischen Schwingung her.





Lösungen

Kurzaufgaben

1. Da beide Autos gleichmäßig beschleunigen und aus dem Stillstand starten, gilt für die Geschwindigkeit

$$v = a \cdot t \quad \Rightarrow \quad a = \frac{v}{t}$$

Erstes Auto:

$$a_1 = \frac{20}{t}$$

Die zurückgelegte Strecke bei gleichmäßiger Beschleunigung aus dem Stillstand ist:

$$s_1 = \frac{1}{2} a_1 t^2$$

Einsetzen von a_1 :

$$s_1 = \frac{1}{2} \cdot \frac{20}{t} \cdot t^2 = 10t$$

Zweites Auto:

Dieses benötigt die Zeit $2t$, daher ist die Beschleunigung:

$$a_2 = \frac{20}{2t} = \frac{10}{t}$$

Die Strecke ergibt sich zu:

$$s_2 = \frac{1}{2} a_2 (2t)^2$$

Einsetzen von a_2 :

$$s_2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{10}{t} \cdot (2t)^2 = \frac{1}{2} \cdot \frac{10}{t} \cdot 4t^2 = 20t$$

$$\underline{s_2 = 2s_1}$$

2. Die Kiste bewegt sich mit konstanter Geschwindigkeit $\Rightarrow a = 0$

Da die Geschwindigkeit konstant ist, gilt in beide Richtungen Kräftegleichgewicht, also $\sum F_x = 0$ und $\sum F_y = 0$

Die Zugkraft könnte in eine horizontale und eine vertikale Komponente zerlegt:

$$F_x = F \cos \alpha, \quad F_y = F \sin \alpha.$$

In vertikaler Richtung wirken Gewichtskraft mg nach unten, und Normalkraft N sowie F_y nach oben.

$$N + F \sin \alpha = mg$$

$$N = mg - F \sin \alpha$$

Da konstante Geschwindigkeit vorliegt wird in der horizontalen Richtung ist $F \cos \alpha = F_R$

Mit der Gleitreibung ist $F_R = \mu N$. Jetzt setzen wir $(mg - F \sin \alpha)$ in N ein:

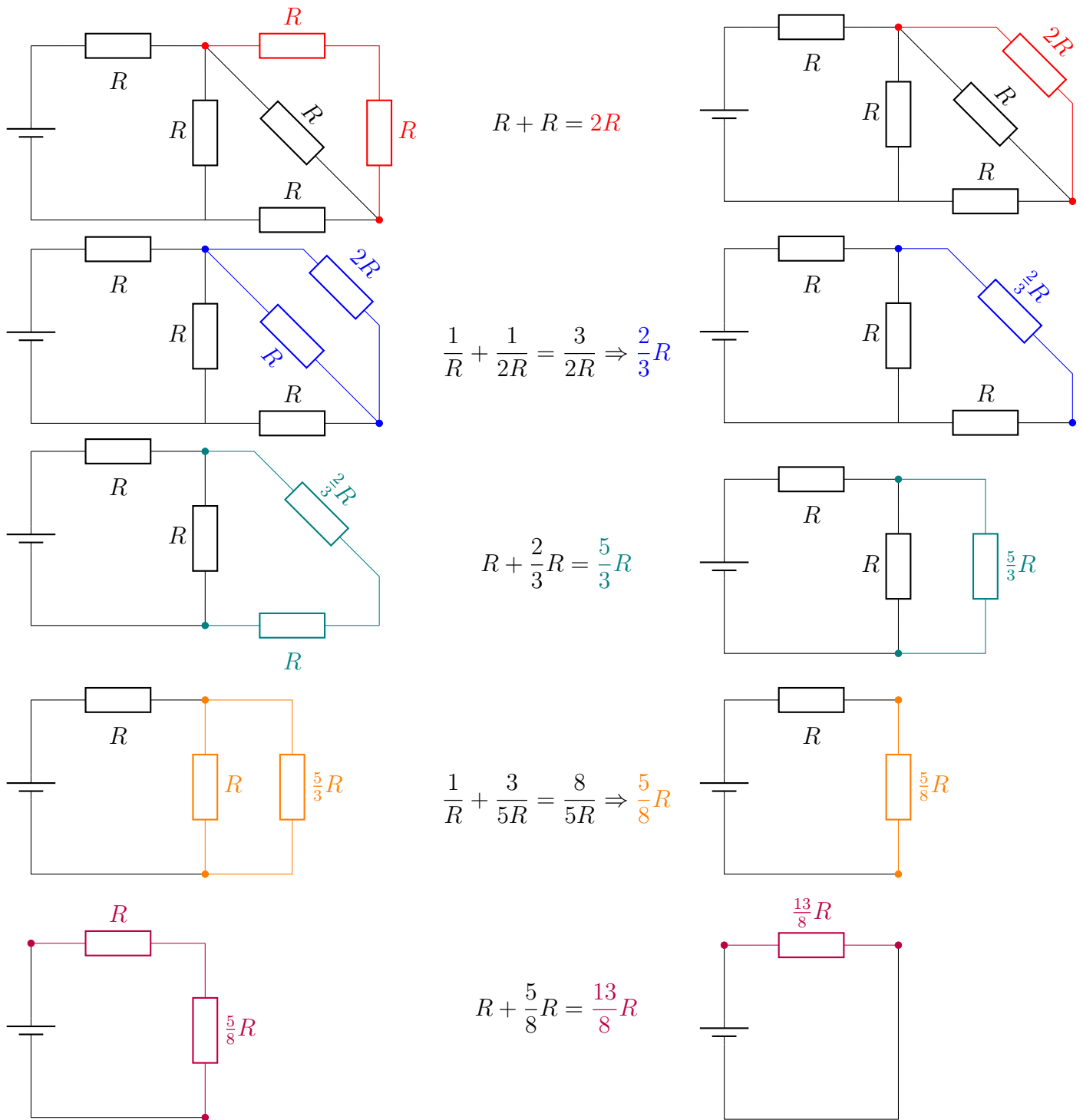
$$F \cos \alpha = \mu (mg - F \sin \alpha)$$

$$\mu = \frac{F \cos \alpha}{mg - F \sin \alpha}$$

$$\mu = \frac{10 \cos 37^\circ}{5 \cdot 9,81 - 10 \sin 37^\circ}$$

$$\mu = 0,1855917... \approx \underline{0,186}$$

3.



4. Zunächst wird die Gitterkonstante d bestimmt:

$$d = \frac{1}{1000 \text{ mm}^{-1}} = \frac{1}{10^6 \text{ m}^{-1}} = 10^{-6} \text{ m}$$

Für ein Beugungsgitter gilt die Gittergleichung $d \sin \theta = m \lambda$. Für das erste Maximum ($m = 1$) ist das $d \sin \theta = \lambda$

$$\sin \theta = \frac{\lambda}{d}$$

$$\sin = \frac{5 \cdot 10^{-7}}{1 \cdot 10^{-6}} = 0,5$$

Daraus folgt $\theta = \arcsin(0,5) = \underline{30^\circ}$

5. Am höchsten Punkt des Loopings wirken die Gewichtskraft mg und die Normalkraft N beide zum Kreismittelpunkt, also

$$\frac{mv^2}{r} = mg + N$$

Damit das Objekt gerade noch Kontakt zur Bahn hält, ist die Normalkraft minimal ($N = 0$). Somit ergibt sich:

$$\frac{mv^2}{r} = mg$$

$$\frac{v^2}{r} = g$$

$$v = \underline{\sqrt{gr}}$$

6. Gegeben ist $\frac{G}{B} = \frac{1}{2}$. Da $\frac{B}{G} = \frac{b}{g}$ und daher $\frac{b}{g} = 2$, können wir sagen, dass $b = 2g$

Einsetzen von $b = 2g$ in die Linsengleichung:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{g} + \frac{1}{2g}$$

$$\frac{1}{f} = \frac{3}{2g}$$

$$g = \frac{3}{2}f$$

Damit gilt:

$$b = 2g = 2 \cdot \frac{3}{2}f = 3f$$

Der Abstand zwischen Gegenstand und Schirm beträgt daher:

$$g + b = \frac{3}{2}f + 3f = \frac{9}{2}f$$

Die Linse muss also im Abstand $\frac{3}{2}f$ vom Gegenstand stehen, und der Schirm muss im Abstand $3f$ hinter der Linse stehen.

7. Da der Leiter einen konstanten elektrischen Strom führt, entsteht um den Leiter ein Magnetfeld. Die Magnetfeldlinien verlaufen kreisförmig um den Leiter. Die Richtung des Magnetfeldes ergibt sich aus der Rechten-Hand-Regel. Auf das bewegte geladene Teilchen wirkt die magnetische Lorentzkraft:

$$\vec{F}_L = q \vec{v} \times \vec{B}$$

Da das Teilchen negativ geladen ist, zeigt die Kraft in die entgegengesetzte Richtung wie bei einem positiv geladenen Teilchen. Die Lorentzkraft steht immer senkrecht zur Geschwindigkeit

des Teilchens. Daher verändert sich nicht der Betrag der Geschwindigkeit, sondern nur die Richtung der Bewegung. Das Teilchen wird also seitlich abgelenkt

Fall 1: Der Strom fließt im Leiter nach oben

Links vom Leiter zeigt das Magnetfeld nach der Rechten-Hand-Regel aus der Bildebene heraus. Für ein positiv geladenes Teilchen würde die Lorentzkraft zum Leiter hin zeigen. Da das Teilchen negativ geladen ist, zeigt die Kraft in die entgegengesetzte Richtung, also vom Leiter weg. Das Teilchen wird daher nach links abgelenkt und entfernt sich vom Leiter.

Fall 2: Der Strom fließt im Leiter nach unten

Links vom Leiter zeigt das Magnetfeld nach der Rechten-Hand-Regel in die Bildebene hinein. Für ein positiv geladenes Teilchen würde die Lorentzkraft vom Leiter weg zeigen. Da das Teilchen negativ geladen ist, zeigt die Kraft in die entgegengesetzte Richtung, also zum Leiter hin. Das Teilchen wird daher nach rechts abgelenkt und bewegt sich auf den Leiter zu.

8. Der untere Leiter erzeugt aufgrund des Stroms I ein Magnetfeld. Nach der Rechte-Hand-Regel zeigt das Magnetfeld am Ort des oberen Leiters aus der Zeichenebene heraus.

Da sich der untere Leiter auf den oberen Leiter zubewegt, wird der Abstand kleiner und die magnetische Feldstärke nimmt zu. Dadurch vergrößert sich der magnetische Fluss.

Nach dem Faradayschen Induktionsgesetz $U_{\text{ind}} = -\frac{d\Phi}{dt}$, wird daher eine Spannung induziert.

Nach der Lenzschen Regel muss der induzierte Strom dieser Flusszunahme entgegenwirken. Das induzierte Magnetfeld muss deshalb in die Zeichenebene hinein zeigen.

Mit der Rechte-Hand-Regel folgt, dass der Strom im oberen Leiter nach links fließen muss.

9. Wir setzen den Abstand zwischen zwei benachbarten Markierungen gleich d . Außerdem wählen wir die **positive Richtung nach rechts**.

Die elektrische Feldstärke einer Punktladung ist

$$E = k \frac{|Q|}{r^2}.$$

Die Abstände der Punkte zu den Ladungen:

Punkt	r_1 (zu $-3Q$)	r_2 (zu $+4Q$)
A	d (links)	$8d$
B	d (rechts)	$6d$
C	$3d$	$4d$
D	$4d$	$3d$

Da die elektrische Feldstärke eine vektorielle Größe ist, müssen die Feldstärken der beiden Ladungen unter Berücksichtigung ihrer Richtung vektoriell addiert werden.

Punkt A

Bei A zeigt das Feld von $-3Q$ nach rechts, das Feld von $+4Q$ nach links.

$$E_A = k \frac{3Q}{d^2} - k \frac{4Q}{(8d)^2}$$

$$E_A = \frac{kQ}{d^2} \left(3 - \frac{4}{64} \right) = \frac{kQ}{d^2} \cdot \frac{188}{64} = \frac{47}{16} \frac{kQ}{d^2}$$

$$|E_A| = \frac{47}{16} \frac{kQ}{d^2}$$

Punkt B

Bei B zeigen beide Felder nach links.

$$E_B = -k \frac{3Q}{d^2} - k \frac{4Q}{(6d)^2}$$

$$E_B = -\frac{kQ}{d^2} \left(3 + \frac{4}{36} \right) = -\frac{kQ}{d^2} \cdot \frac{112}{36} = -\frac{28}{9} \frac{kQ}{d^2}$$

$$|E_B| = \frac{28}{9} \frac{kQ}{d^2}$$

Punkt C

Bei C zeigen beide Felder nach links.

$$E_C = -k \frac{3Q}{(3d)^2} - k \frac{4Q}{(4d)^2}$$

$$E_C = -\frac{kQ}{d^2} \left(\frac{3}{9} + \frac{4}{16} \right) = -\frac{kQ}{d^2} \left(\frac{1}{3} + \frac{1}{4} \right) = -\frac{7}{12} \frac{kQ}{d^2}$$

$$|E_C| = \frac{7}{12} \frac{kQ}{d^2}$$

Punkt D

Bei D zeigen beide Felder nach links.

$$E_D = -k \frac{3Q}{(4d)^2} - k \frac{4Q}{(3d)^2}$$

$$E_D = -\frac{kQ}{d^2} \left(\frac{3}{16} + \frac{4}{9} \right) = -\frac{kQ}{d^2} \cdot \frac{91}{144}$$

$$|E_D| = \frac{91}{144} \frac{kQ}{d^2}$$

$$|E_A| = \frac{47}{16} \frac{kQ}{d^2} \approx 2,94 \frac{kQ}{d^2}$$

$$|E_B| = \frac{28}{9} \frac{kQ}{d^2} \approx 3,11 \frac{kQ}{d^2}$$

$$|E_C| = \frac{7}{12} \frac{kQ}{d^2} \approx 0,58 \frac{kQ}{d^2}$$

$$|E_D| = \frac{91}{144} \frac{kQ}{d^2} \approx 0,63 \frac{kQ}{d^2}$$

Da $\frac{28}{9} > \frac{47}{16} > \frac{91}{144} > \frac{7}{12}$ gilt, ist der Betrag der elektrischen Feldstärke **bei Punkt B am größten**

10. Die Fallbeschleunigung an der Oberfläche eines Planeten ist gegeben durch $g = \frac{GM}{R^2}$

Unter der Annahme, dass die Erde eine Kugel ist, kann die Masse mithilfe der Dichte ρ wie folgt ausgedrückt werden:

$$\begin{aligned} M &= \rho V \\ M &= \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3 \end{aligned}$$

Einsetzen in die Gleichung für g :

$$g = \frac{G \cdot \rho \cdot \frac{4}{3}\pi R^3}{R^2} = \frac{4}{3}\pi G \rho R$$

Berechnung für diesen Planeten:

$$g_P = \frac{4}{3}\pi G \rho_P R_P$$

$$g_P = \frac{4}{3}\pi G (2\rho) \left(\frac{R}{2}\right)$$

$$g_P = \frac{4}{3}\pi G \rho R = g_E$$

$g_E = g_P \Rightarrow$ Die Fallbeschleunigung auf diesem Planeten ist gleich groß wie auf der Erde

11. Die elektrische Energie wird in kinetische Energie umgewandelt:

$$E_P = E_K$$

$$q \cdot U = \frac{1}{2}mv^2$$

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot (1,602 \cdot 10^{-19}) \cdot 600}{9,11 \cdot 10^{-31}}}$$

$$v = 1,45265 \dots \cdot 10^7 \approx 1,45 \cdot 10^7 \text{ m/s}$$

Vergleich mit der Lichtgeschwindigkeit $c \approx 3,0 \cdot 10^8 \text{ m/s}$:

$$\frac{v}{c} \approx \frac{1,45 \cdot 10^7}{3,0 \cdot 10^8} \approx 0,048$$

12. Vom Zeitpunkt $t = 0$ bis zum Zeitpunkt $t = T$ (bis der Bleistift das Gummiband verlässt) nimmt die Geschwindigkeit des Bleistifts ständig zu. Es wirkt also eine Beschleunigung in Bewegungsrichtung. Das bedeutet, dass das Weg-Zeit-Diagramm eine positive zweite Ableitung haben muss. Der Graph muss also nach oben gekrümmt sein. Damit bleiben nur die Diagramme d) und e) übrig.

Der wichtigste Unterschied zwischen d) und e) ist die Steigung bei $t = 0$. Die Steigung im Weg-Zeit-Diagramm entspricht der Geschwindigkeit des Bleistifts. Zu Beginn ist das Gummiband maximal gespannt. Die Energie liegt zu diesem Zeitpunkt noch als elastische Energie im Gummiband vor. Erst danach wird sie in kinetische Energie des Bleistifts umgewandelt. Daher ist die kinetische Energie bei $t = 0$ noch null, also gilt auch $v(0) = 0$

Wenn die Geschwindigkeit bei $t = 0$ null ist, muss auch die Anfangssteigung des x - t -Diagramms null sein. Bei Diagramm d) ist die Anfangssteigung null. Bei Diagramm e) ist sie dagegen schon positiv, was bedeuten würde, dass der Bleistift bereits am Anfang eine Geschwindigkeit hat.

Daher ist Diagramm d) richtig.

13. Da die Geschwindigkeit konstant ist, wird keine kinetische Energie aufgebaut. Die Batterieleistung wird nur benötigt, um die entgegenwirkende Kraft auszugleichen. Für die Leistung gilt $P = Fv$. Die Geschwindigkeit wird zunächst umgerechnet:

$$100 \frac{\text{km}}{\text{h}} = 100 \cdot \frac{1000}{3600} \frac{\text{m}}{\text{s}} = \frac{250}{9} \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned} P &= 650 \cdot \frac{250}{9} \\ P &= 18055,555 \dots \approx \underline{18,1 \text{ kW}} \end{aligned}$$

14. Bei einer Saite mit zwei festen Enden gilt für die erlaubten Frequenzen:

$$f_n = n \frac{v}{2L}$$

Die Grundfrequenz ist daher:

$$f_1 = \frac{v}{2L}$$

Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned} f_1 &= \frac{700}{2 \cdot 0,33} \\ f_1 &= \frac{700}{0,66} \\ f_1 &= 1060,60606 \dots \approx \underline{1,06 \cdot 10^3 \text{ Hz}} \end{aligned}$$

Die zweite hörbare Frequenz ist die zweite Harmonische:

$$f_2 = 2f_1$$

Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned}f_2 &= 2 \cdot \frac{700}{0,66} \\f_2 &= 2121,2121 \dots \approx \underline{2,12 \cdot 10^3 \text{ Hz}}\end{aligned}$$

Längere Aufgaben

1. Das Gewehr schießt ein Geschoss.

(a) Die kinetische Energie des Geschosses ist gegeben durch $E_{\text{kin}} = \frac{1}{2}mv^2$

Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned}E_{\text{kin}} &= \frac{1}{2} \cdot 2,55 \cdot 10^{-3} \cdot 175^2 \\E_{\text{kin}} &= 39,046 \dots \approx \underline{39,1 \text{ J}}\end{aligned}$$

(b) Für die horizontale Bewegung gilt $s = v_x t$

Nach t umstellen:

$$t = \frac{s}{v_x}$$

Einsetzen:

$$\begin{aligned}t &= \frac{50}{175} \\t &= 0,28571 \dots \approx 0,286 \text{ s}\end{aligned}$$

Da in vertikaler Richtung ein freier Fall vorliegt, gilt $y = \frac{1}{2}gt^2$

Einsetzen:

$$\begin{aligned}y &= \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot (0,286)^2 \\y &= 0,4012 \dots \approx \underline{0,400 \text{ m}}\end{aligned}$$

(c) Da das Geschoss im Holzblock stecken bleibt, handelt es sich um einen vollständig inelastischen Stoß.

Es gilt die Impulserhaltung:

$$mv = (M + m)u$$

Nach u umstellen:

$$u = \frac{mv}{M + m}$$

Einsetzen:

$$\begin{aligned}u &= \frac{2,55 \cdot 10^{-3} \cdot 175}{2,4 + 2,55 \cdot 10^{-3}} \\u &= 0,18574 \dots \approx 0,186 \frac{\text{m}}{\text{s}}\end{aligned}$$

Nach dem Stoß wird die kinetische Energie vollständig in potentielle Energie umgewandelt:

$$\frac{1}{2}(M+m)u^2 = (M+m)gh$$

Die Masse kürzt sich heraus:

$$\frac{1}{2}u^2 = gh$$

Nach h umstellen:

$$h = \frac{u^2}{2g}$$

Einsetzen:

$$h = \frac{(0,186)^2}{2 \cdot 9,81}$$

$$h = 1,7633 \dots \cdot 10^{-3} \text{ m} \approx \underline{1,76 \text{ mm}}$$

2. Ein Zylinder enthält ein ideales Gas und ist mit einem reibungsfrei beweglichen Kolben verschlossen.

(a) Da die Klappe anfangs geöffnet ist, gilt für den Gasdruck $p = 10^5 \text{ Pa}$.

Für ein ideales Gas gilt $pV = nRT$.

Nach n umstellen:

$$n = \frac{pV}{RT}$$

Die gegebenen Größen sind:

$$V = 5,00 \text{ L} = 5,00 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$$

$$T = 30^\circ\text{C} = 303 \text{ K}$$

Einsetzen liefert:

$$n = \frac{10^5 \cdot 5,00 \cdot 10^{-3}}{8,314 \cdot 303}$$

$$n = 0,19848 \dots \approx \underline{0,199 \text{ mol}}$$

(b) Nach dem Schließen der Klappe wird das Gas erwärmt. Dadurch bewegt sich der Kolben um

$$x = 15,0 \text{ cm} = 0,150 \text{ m}$$

nach rechts.

Die Federkonstante beträgt:

$$D = 4 \frac{\text{N}}{\text{cm}} = 400 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

Die Querschnittsfläche beträgt:

$$A = 1,5 \text{ cm}^2 = 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

Die zusätzliche Federkraft ist:

$$F_{\text{Feder}} = Dx$$

Der dadurch zusätzlich notwendige Druck ist:

$$\Delta p = \frac{F_{\text{Feder}}}{A} = \frac{Dx}{A}$$

Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned}\Delta p &= \frac{400 \cdot 0,150}{1,5 \cdot 10^{-4}} \\ \Delta p &= 4,00 \cdot 10^5 \text{ Pa}\end{aligned}$$

Der Enddruck beträgt daher:

$$\begin{aligned}p_2 &= p_0 + \Delta p \\ p_2 &= 10^5 + 4,00 \cdot 10^5 \\ p_2 &= 5,00 \cdot 10^5 \text{ Pa}\end{aligned}$$

Das neue Volumen ist:

$$V_2 = V_1 + Ax$$

Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned}V_2 &= 5,00 \cdot 10^{-3} + 1,5 \cdot 10^{-4} \cdot 0,150 \\ V_2 &= 5,0225 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3\end{aligned}$$

Mit dem idealen Gasgesetz gilt:

$$T_2 = \frac{p_2 V_2}{nR}$$

Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned}T_2 &= \frac{5,00 \cdot 10^5 \cdot 5,0225 \cdot 10^{-3}}{0,1985 \cdot 8,314} \\ T_2 &= 1521,6662 \dots \approx 1522 \text{ K}\end{aligned}$$

Die Temperaturänderung ist:

$$\begin{aligned}\Delta T &= T_2 - T_1 \\ \Delta T &= 1522 - 303 \\ \Delta T &= 1219 \text{ K} \approx \underline{\underline{1,22 \cdot 10^3 \text{ K}}}\end{aligned}$$

3. Ein elektrisches Bügeleisen enthält einen Heizdraht aus Konstantan.

- (a) Für einen ohmschen Widerstand gilt $P = \frac{U^2}{R}$.

Nach R umstellen:

$$R = \frac{U^2}{P}$$

Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned} R &= \frac{230^2}{1500} \\ R &= 35,266 \dots \approx \underline{35,3 \Omega} \end{aligned}$$

- (b) Für den Widerstand eines Drahtes gilt $R = \rho \frac{L}{A}$.

Nach L umstellen:

$$L = \frac{RA}{\rho}$$

Die Querschnittsfläche ist:

$$A = 0,50 \text{ mm}^2 = 0,50 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2$$

Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned} L &= \frac{35,2667 \cdot 0,50 \cdot 10^{-6}}{4,9 \cdot 10^{-7}} \\ L &= 35,9864 \dots \approx \underline{36,0 \text{ m}} \end{aligned}$$

- (c) Bei einer Spannung von 150 V soll weiterhin die Leistung $P = 1500 \text{ W}$ umgesetzt werden. Dafür muss der Widerstand kleiner werden.

Der neue Widerstand ist:

$$R_{\text{neu}} = \frac{U_{\text{neu}}^2}{P}$$

Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned} R_{\text{neu}} &= \frac{150^2}{1500} \\ R_{\text{neu}} &= 15,0 \Omega \end{aligned}$$

Da $R = \rho \frac{L}{A}$ gilt und Material sowie Querschnittsfläche gleich bleiben, muss die Länge des Heizdrahtes verändert werden.

$$L_{\text{neu}} = \frac{R_{\text{neu}} A}{\rho}$$

Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned} L_{\text{neu}} &= \frac{15,0 \cdot 0,50 \cdot 10^{-6}}{4,9 \cdot 10^{-7}} \\ L_{\text{neu}} &= 15,3061 \dots \approx \underline{15,3 \text{ m}} \end{aligned}$$

- (d) Die benötigte Wärmeenergie ist gegeben durch $Q = mc\Delta T$.

Die Temperaturänderung beträgt:

$$\Delta T = 200^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C} = 180\text{ K}$$

Einsetzen liefert:

$$Q = 0,80 \cdot 460 \cdot 180$$

$$Q = 66240\text{ J}$$

Da $P = \frac{Q}{t}$ gilt, folgt:

$$t = \frac{Q}{P}$$

Einsetzen liefert:

$$t = \frac{66240}{1500}$$

$$t = 44,16 \approx \underline{44,2\text{ s}}$$

4.

- (a) Gesucht ist der Grenzwinkel der Totalreflexion. Nach dem Snelliusschen Brechungsgesetz gilt:

$$n_{\text{Glas}} \sin(\alpha_{\text{G}}) = n_{\text{Luft}} \sin(\alpha_{\text{L}})$$

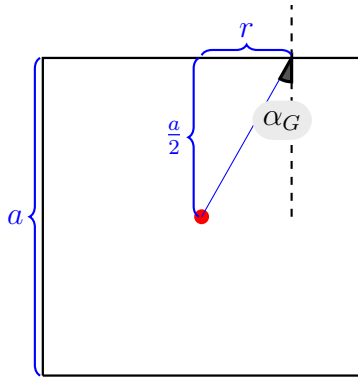
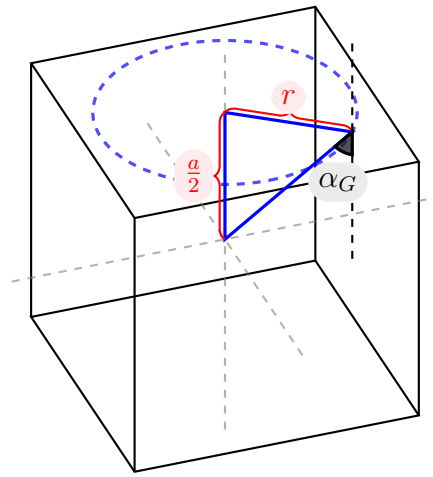
Am Grenzwinkel gilt $\alpha_{\text{L}} = 90^\circ$, also $\sin(90^\circ) = 1$.

$$1,5 \cdot \sin(\alpha_{\text{G}}) = 1 \cdot 1$$

$$\sin(\alpha_{\text{G}}) = \frac{1}{1,5} = \frac{2}{3}$$

$$\alpha_{\text{G}} = \arcsin\left(\frac{2}{3}\right) = 41,8103\dots^\circ \approx \underline{41,8^\circ}$$

- (b) Die Fliege kann nur durch solche Punkte der Oberfläche gesehen werden, bei denen der Lichtstrahl mit einem Einfallswinkel kleiner oder gleich dem Grenzwinkel auf die Glas-Luft-Grenzfläche trifft. Wir betrachten eine Würfelfläche. Der Abstand der Fliege vom Mittelpunkt dieser Fläche beträgt $\frac{a}{2} = 5,00\text{ cm}$



Sei r der Abstand eines Punktes auf der Oberfläche vom Mittelpunkt der betrachteten Würfelfläche. Dann gilt geometrisch:

$$\tan(\alpha_G) = \frac{r}{a/2}$$

Damit ist:

$$r = \frac{a}{2} \tan(\alpha_G)$$

Aus Teil (a) gilt $\sin(\alpha_G) = \frac{2}{3}$. Damit ist:

$$\cos(\alpha_G) = \sqrt{1 - \sin^2(\alpha_G)}$$

$$\cos(\alpha_G) = \sqrt{1 - \frac{4}{9}} = \frac{\sqrt{5}}{3}$$

Also:

$$\tan(\alpha_G) = \frac{\sin(\alpha_G)}{\cos(\alpha_G)} = \frac{2}{\sqrt{5}}$$

Damit ergibt sich für den Radius des sichtbaren Bereichs auf jeder Würfelfläche:

$$r = 5,00 \cdot \frac{2}{\sqrt{5}}$$

$$r = 4,4721 \dots \approx 4,47 \text{ cm}$$

Auf jeder Würfelfläche muss also ein Kreis um den Mittelpunkt der Fläche mit Radius 4,47 cm bedeckt werden. Die Fläche eines solchen Kreises ist $A_{\text{Kreis}} = \pi r^2$

Einsetzen liefert:

$$A_{\text{Kreis}} = \pi \cdot (4,47)^2$$

$$A_{\text{Kreis}} = 62,7718 \dots \approx 62,8 \text{ cm}^2$$

Da der Würfel sechs Flächen besitzt, gilt:

$$A_{\text{gesamt}} = 6 \cdot 62,8$$

$$A_{\text{gesamt}} = 376,8 \approx \underline{377 \text{ cm}^2}$$

5. Ein U-förmiges Rohr ist mit Wasser gefüllt.

(a) Die gesamte Länge der Flüssigkeitssäule beträgt $L = 50 \text{ cm} = 0,50 \text{ m}$.

Für die Schwingungsdauer gilt $f = \frac{1}{T}$, also ist f :

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2g}{L}}$$

Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned} f &= \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81}{0,5}} \\ f &= 0,996975 \dots \approx \underline{0,997 \text{ Hz}} \end{aligned}$$

Die Schwingung ist harmonisch, weil die rücktreibende Kraft proportional zur Auslenkung ist. Wird die Flüssigkeit um x ausgelenkt, so beträgt der Höhenunterschied der beiden Flüssigkeitsspiegel $2x$. Dadurch entsteht die Druckdifferenz

$$\Delta p = \rho g \cdot 2x$$

Damit wirkt auf die Flüssigkeitssäule die rücktreibende Kraft

$$F = -\Delta p \cdot A = -2\rho g A x$$

Da $F \propto -x$ gilt, handelt es sich um eine harmonische Schwingung.

(b) Die maximale Geschwindigkeit wird **in der Gleichgewichtslage erreicht**, also bei $x = 0$.

Der anfängliche Höhenunterschied der beiden Wasserspiegel beträgt 15 cm. Da der eine Wasserspiegel um $x_{\max}$ steigt und der andere um $x_{\max}$ sinkt, gilt $2x_{\max} = 15 \text{ cm}$ und damit ist $x = 0,075 \text{ m}$

Für eine harmonische Schwingung gilt allgemein $T = \frac{2\pi}{\omega}$. Aus der in der Aufgabe gegebenen Formel folgt für die Kreisfrequenz:

$$\omega = \sqrt{\frac{2g}{L}}$$

Außerdem gilt:

$$v_{\max} = \omega x_{\max} \quad \Rightarrow \quad v_{\max} = x_{\max} \cdot \sqrt{\frac{2g}{L}}$$

Einsetzen liefert:

$$\begin{aligned} v_{\max} &= 0,075 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81}{0,50}} \\ v_{\max} &= 0,4698 \dots \approx \underline{0,470 \frac{\text{m}}{\text{s}}} \end{aligned}$$

- (c) Wird die Flüssigkeitssäule um x aus ihrer Gleichgewichtslage ausgelenkt, so steigt der eine Flüssigkeitsspiegel um x und der andere sinkt um x . Der Höhenunterschied beträgt daher

$$\Delta h = 2x$$

Dadurch entsteht die Druckdifferenz

$$\Delta p = \rho g \Delta h = 2\rho g x$$

Die dadurch wirkende rücktreibende Kraft ist

$$F = -\Delta p \cdot A = -2\rho g x A$$

Die Masse der gesamten Flüssigkeitssäule ist

$$m = \rho V$$

$$m = \rho A L$$

Mit dem zweiten Newtonschen Gesetz $F = ma$ folgt:

$$F = \rho A L a = -2\rho g x A$$

$$L a = -2g x$$

$$a = -\frac{2g}{L} x$$

Nun vergleichen wir dies mit der Gleichung einer harmonischen Schwingung $a = -\omega^2 x$:

$$\omega^2 = \frac{2g}{L}$$

$$\omega = \sqrt{\frac{2g}{L}}$$

Da für die Schwingungsdauer gilt $T = \frac{2\pi}{\omega}$, folgt:

$$T = \frac{2\pi}{\sqrt{\frac{2g}{L}}}$$

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{2g}}$$