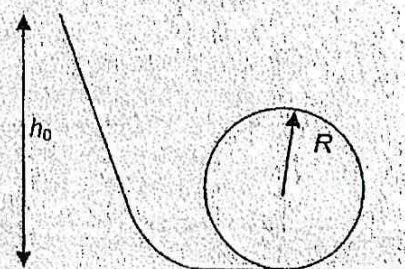


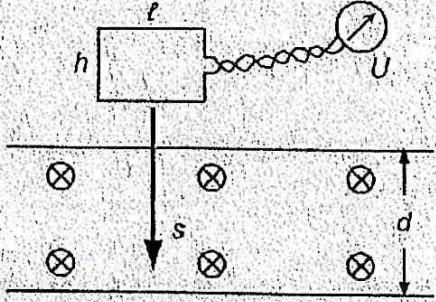
1. Ein Stein wird in der Höhe h über dem Erdboden mit der Anfangsgeschwindigkeit v_0
- senkrecht nach oben
 - senkrecht nach unten
 - waagrecht nach vorne
- geworfen. Von Luftreibung werde abgesehen. Nach welcher Zeit erreicht er jeweils den Erdboden und wie groß sind die Endgeschwindigkeiten? Wie groß ist in c) die Wurfweite?
- Zahlenwerte: $h = 15 \text{ m}$; $v_0 = 10 \text{ m/s}$.
2. Ein Sandsack der Masse M hängt an einem masselosen Faden der Länge l . Ein Geschoss der Masse m trifft mit der Geschwindigkeit v auf den Sandsack und bleibt in ihm stecken.
- Mit welcher Geschwindigkeit v' bewegt sich der Sandsack aus der Ruhelage?
 - Bis zu welchem Winkel $\varphi_{\max}$ schwingt der Sandsack nach der Auslenkung aus der Ruhelage?
 - Welcher relative Anteil der kinetischen Energie des Geschosses wird beim Eindringen in den Sandsack in Wärme umgewandelt?
 - Mit welcher Frequenz schwingt der Sandsack?
- Zahlenwerte: $M = 25 \text{ kg}$; $l = 5 \text{ m}$; $m = 10 \text{ g}$; $v = 500 \text{ m/s}$.
3. Gefährliche Achterbahn?
- Aus welcher Höhe h_0 muss ein besetzter Achterbahnwagen der Masse m mindestens starten, um einen Looping (vertikale Kreisbahn mit Radius R) durchfahren zu können, ohne den Kontakt mit den Schienen zu verlieren?
 - Welche Maximalgeschwindigkeit erreicht der Wagen?
 - Eine Feder der Federkonstante D bremst den Wagen am Ende der Bahn (Endhöhe $h_e = 0$) ab. Um welche Länge ℓ wird sie maximal komprimiert?
 - Überstehen die Passagiere das Abbremsen mit der Feder unbeschadet, wenn diese kurzzeitig Beschleunigungen bis ca. $10 g_E$ vertragen?
 - Auf welche Höhe h_s muss die Ausstiegsstation mindestens verlegt werden, wenn nur eine maximale Bremsbeschleunigung von $2 g_E$ zugelassen wird?
- Zahlenwerte: $m = 2000 \text{ kg}$; $R = 10 \text{ m}$; $D = 100 \text{ kN/m}$.
4. Ein halbseitig offenes Glasrohr der Länge $l = 1 \text{ m}$ lässt sich auf beliebige Höhe h mit Wasser füllen. Eine Stimmgabel der Frequenz $\nu = 680 \text{ Hz}$ werde über das offene Rohrende gehalten.
- Wie groß ist die Wellenlänge der von der Stimmgabel erzeugten Schallwelle?
 - Bei welchen Füllhöhen tritt Resonanz auf? Zeichnen Sie zunächst maßstabsgetreu die Knoten und Bäuche der Schwingungsamplituden für diese Fälle.
- Zahlenwerte: $c_{\text{Schall, Luft}} = 340 \text{ m/s}$.
5. Ein Eisblock der Masse m und der Temperatur T_1 wird aus dem Gefrierfach entnommen und in einem Mikrowellenherd der Leistung P vom Zeitpunkt t_0 an erwärmt.
- Skizzieren Sie den Temperaturverlauf in einem $T(t)$ -Diagramm.
 - Nach welcher Zeit ist das ganze Eis geschmolzen?
 - Welche Energie wird für die Erwärmung von T_1 auf T_2 benötigt? Die Wärmekapazität des Gefäßes werde vernachlässigt.
 - Um wieviel Grad erwärmt sich Wasser, wenn es einen 10 Meter hohen Wasserfall herunterstürzt und seine potentielle Energie vollständig in Wärmeenergie umgewandelt wird?
- Spezifische Wärme von Eis: $c_E = 2,1 \text{ J/gK}$, spezifische Wärme von Wasser: $c_W = 4,2 \text{ J/gK}$,
Schmelzwärme von Eis: $c_s = 330 \text{ J/g}$.
- Zahlenwerte: $m = 120 \text{ g}$; $T_1 = -25^\circ\text{C}$; $T_2 = 5^\circ\text{C}$; $P = 500 \text{ W}$.
6. Carnotscher Kreisprozess.
- Skizzieren Sie den Carnot-Prozess im pV -Diagramm. Benennen Sie die vier Teilprozesse und zeichnen Sie mit Pfeilen den Umlaufsinn ein für den Fall, dass die Carnot-Maschine als Wärmekraftmaschine arbeitet.
 - Wie ist der Wirkungsgrad η einer Wärmekraftmaschine allgemein definiert?
 - Drücken Sie den (idealen) Wirkungsgrad η_{Carnot} der reversibel arbeitenden Carnot-Maschine durch die Temperaturen T_1 und T_2 des wärmeren bzw. kälteren Reservoirs aus.
 - Bei der Umkehrung des Umlaufsinn der Carnot-Wärmemaschine erhält man eine Wärmepumpe bzw. eine Kältemaschine. Wie ist der Wirkungsgrad η in diesen Fällen jeweils definiert?



7. Ein luftgefüllter Plattenkondensator mit der Plattenfläche A und dem Plattenabstand d_0 werde auf eine Spannung U_0 aufgeladen. Der Kondensator wird anschließend von der Spannungsquelle getrennt.
- a) Berechnen Sie die Kapazität C_0 des Kondensators. Wie groß ist die Ladung Q_0 auf den Platten und die in dem Kondensator gespeicherte elektrische Energie W_0 ?
 - b) Der Plattenabstand werde nun auf $2 \cdot d_0$ vergrößert. Wie ändert sich die Ladung Q auf den Platten sowie das elektrische Feld E und die Spannung U zwischen den Platten? Wie ändert sich Kapazität und gespeicherte elektrische Energie?
 - c) Berechnen Sie die mechanische Arbeit, die erforderlich ist, um die Platten auseinanderzuziehen.
 - d) Danach werde eine Metallplatte der Dicke d_0 zwischen die Platten des Kondensators geschoben. Wie groß ist nun die Spannung über dem Kondensator?
 - e) Anschließend werde ein Kondensator der Kapazität $2C_0$ parallel geschaltet. Welche Spannung kann über dem Kondensator gemessen werden?

Zahlenwerte: $A = 300 \text{ cm}^2$; $d_0 = 10 \text{ mm}$; $U_0 = 12 \text{ V}$.

8. Eine rechteckige Drahtschleife der Länge ℓ und der Höhe h wird mit konstanter Geschwindigkeit v in vertikaler Richtung durch ein örtlich begrenztes, homogenes Magnetfeld B der räumlichen Ausdehnung d geführt, wobei die Ebene der Schleife senkrecht zur Feldrichtung steht. Es sei $h < d$.



- a) Skizzieren Sie in einem Diagramm die mit dem Voltmeter gemessene Spannung U in Abhängigkeit vom Weg s .
- b) Wie groß ist der Betrag der induzierten Spannung U während des Eintauchens in den Feldbereich?
- c) Das Voltmeter werde entfernt und die Schleife in sich kurzgeschlossen. Der Widerstand der Drahtschleife sei R . Wie groß ist die Stromstärke in der Schleife bei gleicher Bewegung wie zuvor? Welche Kraft F_m wirkt hierbei der Bewegung entgegen?

Zahlenwerte: $B = 1 \text{ T}$; $\ell = 5 \text{ cm}$; $v = 10 \text{ cm/s}$; $R = 3 \text{ m}\Omega$.

9. Die Oberfläche einer Linse mit dem Brechungsindex n_L wird mit einem Material vom Brechungsindex $n < n_L$ beschichtet (Schichtdicke d).
- a) Berechnen Sie den Gangunterschied Δ für die Reflexion zweier senkrecht einfallender Teilstrahlen, die an der Ober- bzw. an der Unterseite der Vergütungsschicht reflektiert werden?
 - b) Welches ist die kleinstmögliche Dicke $d_{\min}$ der Vergütungsschicht, damit senkrecht einfallendes, grünes Licht der Wellenlänge λ_0 bei der Reflexion ausgelöscht wird?

Zahlenwerte: $n = 1,2$; $\lambda_0 = 550 \text{ nm}$.

- 10.a) Wie lauten im Bohr'schen Atommodell die Bedingungen für die erlaubten Bahnen der Elektronen im Wasserstoffatom?
- b) Berechnen Sie den Radius r_n der n -ten Bohr'schen Bahn sowie die Geschwindigkeit v_n eines Elektrons auf dieser Bahn.
 - c) Berechnen Sie die Gesamtenergie eines Elektrons auf der n -ten Bohr'schen Bahn.

Erdbeschleunigung	$g_E = 9,81 \text{ m/s}^2$
Dielektrizitätskonstante	$\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$
Planck'sches Wirkungsquantum	$h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ Js}$
Ruhemasse des Elektrons	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$
Elementarladung	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Punkte	3	4	4	4	4	4	5	4	4	4

Aufgabe 1: Senkrechter und waagerechter Wurf

a) $z(t) = h + v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \stackrel{!}{=} 0 \Rightarrow t_E = \frac{1}{g} (v_0 \pm \sqrt{v_0^2 + 2hg}) = 3,0 \text{ s}$

$$v_E = |v_z| = |v_0 - g t_E| \Rightarrow v_E = \left| v_0 - (v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2hg}) \right| = \sqrt{v_0^2 + 2hg} = 19,86 \text{ m/s}$$

b) $z(t) = h - v_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \stackrel{!}{=} 0 \Rightarrow t_E = \frac{1}{g} (-v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2hg}) = 1,0 \text{ s}$

$$v_E = |v_z| = |-v_0 - g t_E| \Rightarrow v_E = \left| -v_0 - (-v_0 + \sqrt{v_0^2 + 2hg}) \right| = \sqrt{v_0^2 + 2hg} = 19,86 \text{ m/s}$$

c) $z(t) = h - \frac{1}{2} g t^2 \stackrel{!}{=} 0 \Rightarrow t_E = \pm \sqrt{\frac{2h}{g}} = 1,7 \text{ s}$

$$v_E = \sqrt{v_x^2 + v_z^2} \text{ mit } v_x = v_0 \text{ und } v_z = -g t_E \Rightarrow v_E = \sqrt{v_0^2 + 2hg} = 19,86 \text{ m/s}$$

$$\text{Wurfweite } s = v_0 t_E = v_0 \sqrt{\frac{2h}{g}} = 17,5 \text{ m}$$

Aufgabe 2: Sandsack

a) Impulserhaltung: $m \cdot v = (m + M) v' \Rightarrow \boxed{v' = \frac{m}{m + M} v}$

mit: $m = 10 \text{ g} = 0,01 \text{ kg}$

$$M = 25 \text{ kg}$$

$$v = 500 \text{ m/s}$$

folgt: $v' = \frac{0,01 \text{ kg}}{25,01 \text{ kg}} \cdot 500 \text{ m/s} = 0,20 \text{ m/s}$

b)

Energieerhaltung: $\underbrace{E_{\text{kin, vorher}}}_{\text{Winkel } = 0^\circ} = \underbrace{E_{\text{pot, nachher}}}_{\text{max. Winkel } \varphi_{\text{max}}}$

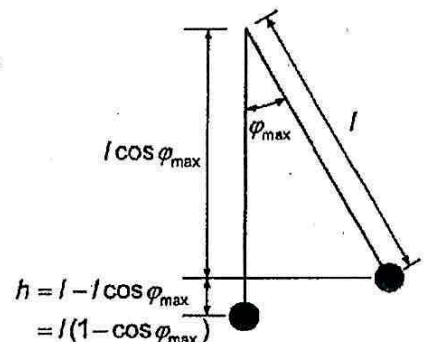
$$\frac{(m + M)}{2} v'^2 = (m + M) g h = (m + M) g l (1 - \cos \varphi_{\text{max}})$$

$$\Rightarrow 1 - \cos \varphi_{\text{max}} = \frac{v'^2}{2gl}$$

$$\Rightarrow \boxed{\cos \varphi_{\text{max}} = 1 - \frac{v'^2}{2gl}}$$

mit $l = 5 \text{ m}$, und $v' = 0,2 \text{ m/s}$:

$$\cos \varphi_{\text{max}} = 1 - \frac{(0,2 \text{ m/s})^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 5 \text{ m}} = 0,9996 \Rightarrow \varphi_{\text{max}} = 1,64^\circ$$



$$\begin{aligned}
 \text{c) } \frac{\Delta E}{E} &= \frac{E - E'}{E} = \frac{\frac{m}{2}v^2 - \frac{m+M}{2}v'^2}{\frac{m}{2}v^2} \\
 &= \frac{v'^2 \frac{m}{m+M}}{v^2} \quad \text{aus Aufgabe 1) } mv^2 - (m+M)\frac{m^2}{(m+M)}v^2 = \frac{m - \frac{m^2}{m+M}}{m} = 1 - \frac{m}{m+M} \\
 &= \frac{M}{M+m}
 \end{aligned}$$

mit $M = 25 \text{ kg}$ und $M + m = 25,01 \text{ kg}$: $\frac{\Delta E}{E} = 0,9996$

Somit werden beim Aufprall 99,96 % der kinetischen Energie des Geschosses in Wärmeenergie umgewandelt. Nur 0,04 % verbleiben als kinetische Energie

$$\text{d) } f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{g}{l}} \Rightarrow f = 0,2 \text{ Hz}$$

Aufgabe 3: Achterbahn

$$\text{a) Kräftegleichgewicht: } F_z = G \Rightarrow \frac{m}{R}v^2 = mg \Rightarrow v^2 = gR$$

$$\text{Energieerhaltung: } E_{\text{pot},a} = E_{\text{kin},e} + E_{\text{pot},e} \Rightarrow mgh_0 = \frac{1}{2}mv^2 + mg2R$$

$$\Rightarrow h_0 = \frac{1}{mg} \left(\frac{1}{2}mgR + mg2R \right) = \frac{5}{2}R = 25 \text{ m}$$

$$\text{b) } mgh_0 = \frac{1}{2}mv_{\text{max}}^2 \Rightarrow v_{\text{max}} = \sqrt{2gh_0} = 22,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\text{c) } mgh_0 = \frac{1}{2}D\ell^2 \Rightarrow \ell = \sqrt{\frac{2mgh_0}{D}} = 3,13 \text{ m}$$

$$\text{d) } F_{\text{max}} = ma = D\ell \Rightarrow a = \frac{D\ell}{m} = 157 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} \approx 16g$$

Die Beschleunigung ist zu groß.

$$\text{e) } mg(h_0 - h_e) = \frac{1}{2}D\ell'^2 \text{ wobei mit } F_{\text{max}} = ma_{\text{max}} = D\ell' \Rightarrow \ell' = \frac{ma_{\text{max}}}{D}$$

$$\Rightarrow h_e = h_0 - \frac{1}{2mg}D\ell'^2 = h_0 - \frac{1}{2mg} \frac{(ma_{\text{max}})^2}{D} = h_0 - \frac{1}{2g} \frac{ma_{\text{max}}^2}{D} = 24,6 \text{ m}$$

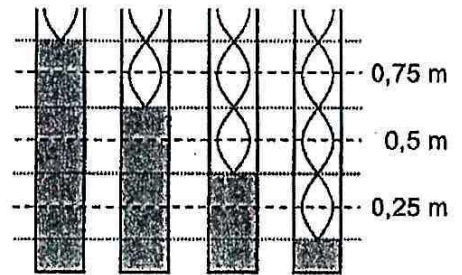
Aufgabe 4: Stimmgabel

a) $c = \lambda \nu \Rightarrow \lambda = \frac{c}{\nu} = 0,5 \text{ m}$

- b) Offenes Ende des halboffenen Glasrohrs: Bewegungsbauch;
geschlossenes Ende: Bewegungsknoten (hinsichtlich der
Druckschwankungen verhält es sich genau umgekehrt: max.
Amplitude am geschlossenen Ende)

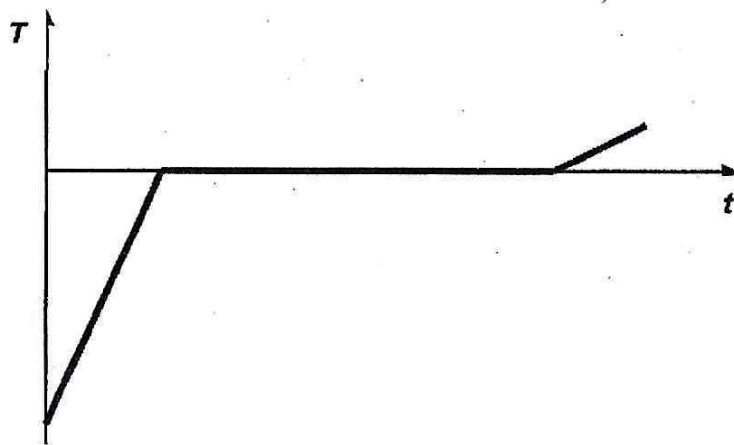
$$\ell - h = \frac{\lambda}{4} + n \frac{\lambda}{2} = (2n+1) \frac{\lambda}{4}; \quad n = 0, 1, 2, 3, \dots$$

$$h = \ell - (2n+1) \frac{\lambda}{4} \quad h = 0,875 \text{ m}; 0,625 \text{ m}; 0,375 \text{ m}; 0,125 \text{ m}.$$



Aufgabe 5: Eisblock

a)



$$dQ = P dt \quad \text{Steigungen: } dT = \frac{dQ}{C} = \frac{P dt}{c m} \Rightarrow \frac{dT}{dt} \propto \frac{1}{c}$$

b) $\Delta t = \frac{\Delta Q}{P} = \frac{1}{P} (c_E m \Delta T_E + m c_s) = 91,8 \text{ s} \approx 92 \text{ s}$

c) $\Delta Q = c_E m \Delta T_E + m c_s + c_W m \Delta T_W = 48,4 \text{ kJ}$

d) $\Delta Q = c_W m \Delta T; \quad \Delta E_{\text{pot}} = mgh$

$$\Delta T = \frac{hg}{c_W} = 0,023 \text{ K}$$

Aufgabe 6: Carnotscher Kreisprozess

a) Carnot-Prozess:

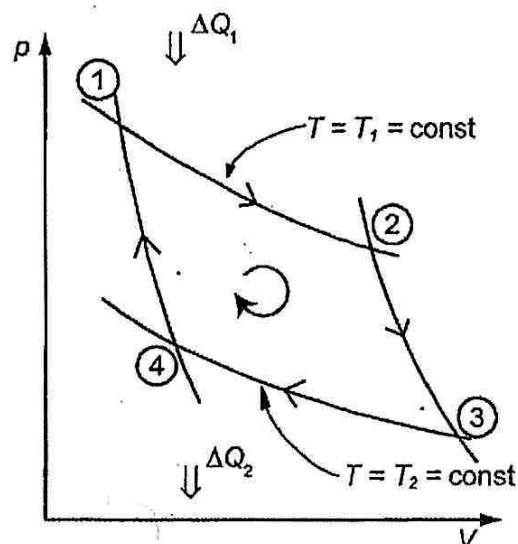
Prozess aus 2 Isothermen und 2 Adiabaten

1 → 2: isotherme Expansion

2 → 3: adiabatische Expansion

3 → 4: isotherme Kompression

4 → 1: adiabatische Kompression



b) Wirkungsgrad einer Wärmekraftmaschine:

$$\eta_{\max} = \frac{\text{pro Zyklus vom System verrichtete Arbeit}}{\text{pro Zyklus dem warmen Reservoir entnommenes } |\Delta Q_1|} = \frac{|\Delta W_{\text{gesamt}}|}{|\Delta Q_1|}$$

c) Carnot-Wirkungsgrad:

$$\eta_{\text{Carnot}} = \frac{R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}}{R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}} = \boxed{\frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1}} < 1$$

d) Wärmepumpe:

$$\eta_{\text{WP}} = \frac{|\Delta Q_1|}{|\Delta W_{\text{ges}}|} = \left(\frac{R T_1 \ln \frac{V_2}{V_1}}{R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{1}{\eta_{\text{Carnot}}} > 1 \right)$$

Kältemaschine:

$$\eta_{\text{K}} = \frac{|\Delta Q_2|}{|\Delta W_{\text{ges}}|} = \left(\frac{R T_2 \ln \frac{V_2}{V_1}}{R(T_1 - T_2) \ln \frac{V_2}{V_1}} = \frac{T_2}{T_1 - T_2} \right)$$

Aufgabe 7: Plattenkondensator

a) $C_0 = \frac{Q}{U} = \epsilon_0 \frac{A}{d_0} = 2,67 \cdot 10^{-11} \text{ Farad} = 26,7 \text{ pF}$ (*) Herleitung über Gauß: $Q = \epsilon_0 E A = \epsilon_0 \frac{U}{d} A$

$$Q_0 = C_0 \cdot U_0 = \epsilon_0 \frac{A}{d_0} U_0 = 3,20 \cdot 10^{-10} \text{ C}$$

$$W_0 = \frac{1}{2} C_0 U_0^2 = 1,92 \cdot 10^{-9} \text{ J}$$

- b) Spannungsquelle getrennt: Q auf Platten konstant: $Q = Q_0$

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0} = \frac{Q/A}{\epsilon_0} = E_0; \quad U = Ed = 2U_0 = 24 \text{ V}; \quad C = \frac{Q}{U} = \frac{C_0}{2} = 13,1 \text{ pF};$$

oder mit Hilfe der Kapazität:

$$C = \epsilon_0 \frac{A}{d} = \frac{C_0}{2}; \quad U = \frac{Q}{C} = 2U_0; \quad E = \frac{U}{d} = \frac{2U_0}{2d_0} = E_0;$$

$$W = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} = 2W_0 = 3,84 \cdot 10^{-9} \text{ J}$$

- c) Die Zunahme der Feldenergie wird durch Verrichtung mechanischer Arbeit beim Auseinanderziehen der Platten gegen die elektrostatische Anziehungskraft erzielt. Nach dem EES ist:

$$W_{\text{mech}} = \Delta W_{\text{el}} = W_0 = \frac{1}{2} C_0 U_0^2 = 1,91 \cdot 10^{-9} \text{ J}$$

$$(\text{Test: } W_{\text{mech}} = \int_{d_0}^{2d_0} F dd = \int_{d_0}^{2d_0} \frac{E_0}{2} Q_0 dd = \frac{1}{2} E_0 Q_0 d_0 = \frac{1}{2} U_0 Q_0 = \frac{1}{2} C_0 U_0^2)$$

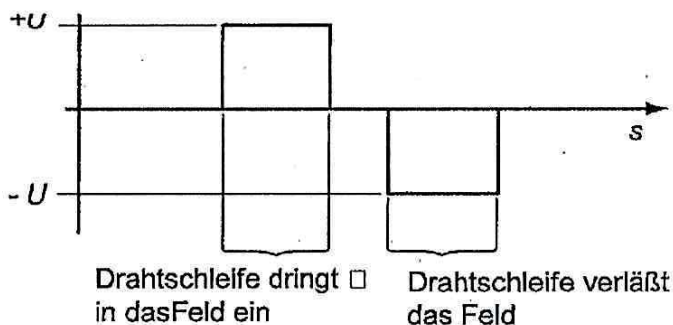
- d) Die Metallplatte ist feldfrei, das Potential ist dort konstant. Zwischen den Platten wirkt ein Feld der Stärke E_0

$$U = E_0 (2d_0 - d_0) = U_0 = 12 \text{ V}$$

- e) $C = C_0 + 2C_0 = 3C_0 \quad U = \frac{Q_0}{C} = \frac{Q_0}{3C_0} = \frac{1}{3} U_0 = 4 \text{ V}$

Aufgabe 8: Drahtschleife

- a) Skizze



- b) $|U| = |\dot{Q}| = B \frac{dA}{dt} = B \ell v$

$$|U| = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \cdot 0,05 \text{ m} \cdot 0,1 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 5 \text{ mV}$$

- c) $I = \frac{U}{R} = \frac{B \ell v}{R} = \frac{5 \text{ mV}}{3 \text{ m}\Omega} = 1,67 \text{ A}$

$$F_m = B I \ell = 1 \frac{\text{Vs}}{\text{m}^2} \cdot 1,67 \text{ A} \cdot 0,05 \text{ m} = 0,083 \text{ N}$$

Aufgabe 9: Linse

- a) Unterschied im optischen Weg: $\Delta = 2nd$.

(Hinweis: bei beiden Teilstrahlen tritt ein Phasensprung um π auf wegen der Reflexion am dichteren Medium.)

- b) Bedingung für destruktive Interferenz: $\Delta = 2nd = \frac{\lambda_g}{2} \Rightarrow d = \frac{\lambda_g}{4n} = 115 \text{ nm}$.

Aufgabe 10: Bohrsches Atommodell

- a) Gleichgewichtsbedingung (Coulombkraft wirkt als Zentralkraft):

$$\frac{mv^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n^2} \quad (1)$$

Quantisierungsbedingung:

$$mvr_n = n\hbar, \quad n \in \mathbb{N} \quad (2)$$

b) (2) in (1):
$$\frac{mv^2}{r_n} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{\frac{n^2\hbar^2}{m^2v^2}} \Rightarrow \boxed{r_n = 4\pi\epsilon_0 \frac{n^2\hbar^2}{me^2}}$$

$$mv^2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{\frac{n\hbar}{mv}} \Rightarrow \boxed{v_n = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{n\hbar}}$$

$$\text{mit } \hbar = \frac{h}{2\pi}$$

Zahlenwerte eingesetzt:

$$r_1 = 0,52 \cdot 10^{-10} \text{ m} = 0,52 \text{ \AA}$$

$$r_n = 0,52 \text{ \AA } n^2$$

$$v_n = 2,17 \cdot 10^6 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

- c) Gesamtenergie des Elektrons auf der n-ten Bohrschen Bahn = Summe aus kinetischer und potentieller Energie:

$$\begin{aligned} E_n &= E_{\text{kin}} + E_{\text{pot}} = \frac{m}{2} v^2 - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{r_n} \\ &\stackrel{(1)/(2)}{=} \frac{m}{2} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{e^2}{n\hbar} \right)^2 - \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0} \frac{me^2}{n^2\hbar^2} \\ &= \boxed{-\frac{1}{2} \left(\frac{1}{4\pi\epsilon_0} \right)^2 \frac{me^4}{n^2\hbar^2}} \end{aligned}$$

Zahlenwerte eingesetzt:

$$E_n = -\frac{1}{n^2} 13,6 \text{ eV}$$